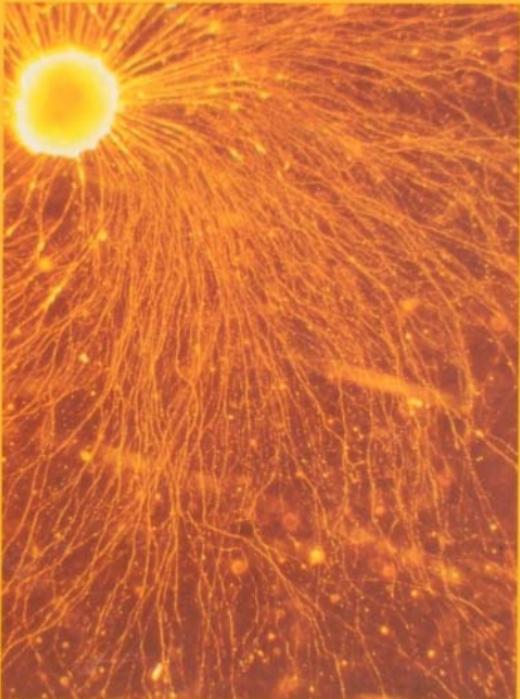


* *gli Adelphi* *

FRITJOF CAPRA

Il Tao della fisica

D@ike



gli Adelphi

4

Il fisico americano Fritjof Capra ha consacrato la sua attività al campo delle alte energie. Oltre che per le sue numerose pubblicazioni di carattere tecnico, è noto per i suoi studi sulle implicazioni filosofiche della scienza moderna.

FRITJOF CAPRA

Il Tao della fisica

D@ike



ADELPHI EDIZIONI

TITOLO ORIGINALE:

The Tao of Physics

Traduzione di Giovanni Salio

© 1975 BY FRITJOF CAPRA. ALL RIGHTS RESERVED

© 1982 ADELPHI EDIZIONI S.P.A. MILANO
I edizione *gli Adelphi*: giugno 1989 XII edizione
gli Adelphi: giugno 1999

ISBN 88-459-0689-2

INDICE

Prefazione	11
I. LA VIA DELLA FISICA	15
1. La fisica moderna: una via con un cuore?	17
2. Conoscere e vedere	29
3. Al di là del linguaggio	53
4. La nuova fisica	62
II. LA VIA DEL MISTICISMO ORIENTALE	99
5. L'Induismo	101
6. IL Buddhismo	110
7. IL pensiero cinese	119
8. IL Taoismo	131
9. Lo Zen	138
III. LE CORRISPONDENZE	145
LO. L'unità di tutte le cose	147

11. Al di là del mondo degli opposti	165
12. Lo spazio-tempo	186
13. L'universo dinamico	219
14. Vuoto e forma	239
15. La danza cosmica	259
16. Simmetrie di quark: un nuovo koan?	285
17. Le configurazioni del mutamento	300
18. Compenetrazione	328
 EPILOGO	 351
 BIBLIOGRAFIA	 361
 INDICE ANALITICO	 367

IL TAO DELLA FISICA

È probabilmente vero in linea di massima che della storia del pensiero umano gli sviluppi più fruttuosi si verificano spesso ai punti d'interferenza tra due diverse linee di pensiero. Queste linee possono avere le loro radici in parti assolutamente diverse della cultura umana, in tempi diversi e in ambienti culturali diversi o di diverse tradizioni religiose; perciò, se esse realmente s'incontrano, cioè, se vengono a trovarsi in rapporti sufficientemente stretti da dare origine a un'effettiva interazione, si può allora sperare che possano seguirne nuovi e interessanti sviluppi.

WERNER HEISENBERG

Dedico questo libro a
Ali Akbar Khan
Carlos Castaneda
Geoffrey Chew John
Coltrane Werner
Heisenberg
Krishnamurti
Liu Hsiu Ch'i
Phiroz Mehta
Jerry Shesko
Bobby Smith Maria
Teuffenbach
Alan Watts
che mi hanno aiutato a trovare la mia strada e
a Jacqueline
che su questa strada
ha viaggiato con me
per quasi tutto il tempo.

PREFAZIONE

Cinque anni fa ebbi una magnifica esperienza che mi avviò sulla strada che doveva condurmi a scrivere questo libro. In un pomeriggio di fine estate, seduto in riva all'oceano, osservavo il moto delle onde e sentivo il ritmo del mio respiro, quando all'improvviso ebbi la consapevolezza che tutto intorno a me prendeva parte a una gigantesca danza cosmica. Essendo un fisico, sapevo che la sabbia, le rocce, l'acqua e l'aria che mi circondavano erano composte da molecole e da atomi in vibrazione, e che questi a loro volta erano costituiti da particelle che interagivano tra loro creando e distruggendo altre particelle. Sapevo anche che l'atmosfera della Terra era continuamente bombardata da una pioggia di « raggi cosmici », particelle di alta energia sottoposte a urti molteplici quando penetrano nell'atmosfera. Tutto questo mi era noto dalle mie ricerche nella fisica delle alte energie, ma fino a quel momento ne avevo avuto esperienza solo attraverso grafici, diagrammi e teorie matematiche. Sedendo su quella spiaggia, le mie esperienze precedenti presero vita; « vidi » scendere dallo spazio esterno cascate di energia, nelle quali si creavano e si distruggevano particelle con ritmi pulsanti; « vidi »

gli atomi degli elementi e quelli del mio corpo partecipare a questa danza cosmica di energia; percepii il suo ritmo e ne « sentii » la musica; e in quel momento *seppi* che questa era la danza di Siva, il Dio dei Danzatori adorato dagli Indù.

Per lungo tempo avevo studiato la fisica teorica e per parecchi anni mi ero occupato di ricerca. Contemporaneamente, mi ero anche interessato molto del misticismo orientale e avevo cominciato a vederne le analogie con la fisica moderna. Ero particolarmente attratto dagli aspetti sconcertanti dello Zen che mi ricordavano gli enigmi della meccanica quantistica. Dapprima, tuttavia, il tentativo di metterli in relazione tra loro era stato un esercizio puramente intellettuale. Superare la frattura che c'è tra il pensiero razionale, analitico, e l'esperienza meditativa della verità mistica fu per me molto difficile, e lo è tuttora.

All'inizio sono stato aiutato sulla mia via dalle « piante del potere », che mi hanno mostrato come la mente possa fluire liberamente, come le intuizioni spirituali possano nascere spontaneamente, senza alcuno sforzo, emergendo dal profondo della coscienza. Ricordo la prima di tali esperienze. Verificandosi dopo anni di approfondite riflessioni analitiche, fu talmente travolgente che scoppiai in lacrime, mentre — non diversamente da Castaneda — annotavo le mie impressioni su un pezzo di carta.

In seguito provai l'esperienza della Danza di Siva. Questa esperienza fu seguita da numerose altre, dello stesso tipo, le quali mi aiutarono a rendermi conto a poco a poco che dalla fisica moderna sta iniziando a emergere una visione coerente del mondo che si trova in armonia con la saggezza dell'antico Oriente. Durante tutti questi anni ho preso numerosi appunti e ho scritto qualche articolo sulle corrispondenze che andavo scoprendo, finché decisi di riassumere le mie esperienze in questo libro.

Esso si rivolge al lettore genericamente interessato al misticismo orientale al quale non è strettamente richie-

sto che sappia qualcosa di fisica. Ho cercato di presentare i principali concetti e le principali teorie della fisica moderna senza servirmi della matematica e con un linguaggio non tecnico, sebbene a un profano qualche paragrafo potrà ancora sembrare difficile a una prima lettura. Tutti i termini tecnici che non ho potuto fare a meno di introdurre sono definiti quando compaiono per la prima volta e sono elencati nell'indice analitico alla fine del libro.

Mi auguro anche di trovare tra i miei lettori molti fisici interessati agli aspetti filosofici della loro disciplina, i quali non siano ancora entrati in contatto con le filosofie religiose dell'Oriente. Essi scopriranno che il misticismo orientale fornisce una struttura filosofica bella e coerente in cui possono trovare posto le nostre più avanzate teorie del mondo fisico.

Per quanto riguarda il contenuto di questo libro, il lettore può avere l'impressione di un certo squilibrio tra la presentazione del pensiero scientifico e quella del pensiero mistico. Procedendo nella lettura la sua comprensione della fisica dovrebbe aumentare costantemente, mentre può non verificarsi un analogo progresso nella comprensione del misticismo orientale. Ciò sembra inevitabile, poiché il misticismo è soprattutto un'esperienza che non si può apprendere dai libri. Si sente di aver raggiunto una comprensione più profonda di una qualsiasi tradizione mistica solo quando ci si decide a lasciarsi coinvolgere attivamente in essa. Tutto ciò che mi posso augurare è di generare la sensazione che questo coinvolgimento potrebbe essere di grande soddisfazione.

Durante la stesura, la mia comprensione del pensiero orientale si è grandemente approfondita. Per questo ringrazio due uomini venuti dall'Oriente: sono profondamente grato a Phiroz Mehta per avermi aiutato a vedere numerosi aspetti del misticismo indiano e a Liu Hsiu Ch'i, mio maestro di *T'ai Chi*, per avermi iniziato al Taoismo contemporaneo.

E impossibile ricordare i nomi di tutti coloro i quali —

scienziati, artisti, studenti e amici – mi hanno aiutato a esprimere con chiarezza le mie idee attraverso stimolanti discussioni. Sento tuttavia di dover ringraziare in modo particolare Graham Alexander, Jonathan Ashmore, Stratford Caldecott, Lyn Gambles, Sonia Newby, Ray Rivers, Joel Scherk, George Sudarshan e – ultimo, ma solo in ordine alfabetico – Ryan Thomas.

Sono infine grato alla signora Pauly Bauer-Ynnhof di Vienna per il suo generoso sostegno finanziario in un momento in cui ne avevo estremo bisogno.

Londra, dicembre 1974

I
LA VIA DELLA FISICA

1. LA FISICA MODERNA: UNA VIA CON UN CUORE?

Qualsiasi via è solo una via, e non c'è nessun affronto, a se stessi o agli altri, nell'abbandonarla, se questo è ciò che il tuo cuore ti dice di fare... Esamina ogni via con accuratezza e ponderazione. Provala tutte le volte che lo ritieni necessario. Quindi poni a te stesso, e a te stesso soltanto, una domanda... Questa via ha un cuore? Se lo ha, la via è buona. Se non lo ha, non serve a niente.

Carlos Castaneda, *The Teachings of Don Juan*

La fisica moderna ha avuto una profonda influenza su quasi tutti gli aspetti della società umana. Essa è diventata la base della scienza della natura e questa, insieme con la scienza applicata, ha mutato in modo sostanziale le condizioni di vita sul nostro pianeta, sia in senso positivo sia in senso negativo. Attualmente è difficile trovare un'industria che non si serva dei risultati della fisica atomica, ed è ben nota l'influenza che questi hanno avuto sulla struttura politica del mondo attraverso la loro applicazione agli armamenti atomici. Tuttavia l'influenza della fisica moderna va al di là della tecnologia; si estende all'ambito del pensiero e della cultura, dove ha determinato una profonda revisione della concezione che l'uomo ha dell'universo e del proprio rapporto con esso. Nel Novecento, l'esplorazione del mondo atomico e subatomico ha rivelato un inaspettato limite delle concezioni classiche e ha reso necessaria una revisione radicale di molti dei nostri concetti fondamentali. Per esempio, il concetto di materia nella fisica subatomica è completamente diverso dall'idea tradizionale di sostanza materiale della fisica classica. La stessa cosa vale per concetti quali spazio e tempo, o causa ed

effetto. Questi concetti, tuttavia, sono fondamentali per l'immagine che ci formiamo del mondo circostante e con la loro radicale trasformazione è cominciata a cambiare tutta la nostra visione del mondo.

Questi cambiamenti, determinati dalla fisica moderna, sono stati ampiamente discussi dai fisici e dai filosofi negli ultimi decenni, ma ben di rado ci si è resi conto che essi sembrano condurre tutti nella stessa direzione, verso una visione del mondo che somiglia molto alle concezioni del misticismo orientale. I concetti della fisica moderna presentano spesso sorprendenti corrispondenze con le idee espresse nelle filosofie religiose dell'Estremo Oriente. Sebbene queste corrispondenze non siano state finora discusse esaurientemente, esse furono rilevate da alcuni dei grandi fisici del nostro secolo quando vennero in contatto con la cultura dell'Estremo Oriente nei loro giri di conferenze in India, Cina e Giappone. Le tre citazioni seguenti possono servire come esempi:

« I concetti generali sul pensiero umano... messi in evidenza dalle scoperte della fisica atomica, non sono nel numero delle cose completamente nuove, che non si conoscono affatto e di cui non si è mai sentito parlare. Hanno una loro storia anche nella nostra cultura, e un posto più importante e centrale nel pensiero buddhista e indù. Ciò che troveremo sarà un'esemplificazione, una conferma, una versione più raffinata della saggezza antica ».¹

« Per trovare qualcosa che corrisponda alla lezione offertaci dalla teoria atomica [dobbiamo rivolgerci] a quel tipo di problemi epistemologici che già pensatori come Buddha e Lao-tzu hanno affrontato nel tentativo di armonizzare la nostra posizione di spettatori e attori a un tempo del grande dramma dell'esistenza ».²

1. J.R. Oppenheimer, *Science and the Common Understanding*, Oxford University Press, New York 1954, pp. 8-9 [trad. it. *Scienza e pensiero comune*, Boringhieri, Torino 1965, pp. 119-120].

2. N. Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge*, John Wiley & Sons, New York 1958, p. 20 [trad. it. *Teoria dell'atomo e conoscenza umana*, Boringhieri, Torino 1961, p. 395].

« Il grande contributo scientifico alla fisica teorica venuto dal Giappone dopo l'ultima guerra può essere un indice dell'esistenza d'un certo rapporto fra le idee filosofiche presenti nella tradizione dell'Estremo Oriente e la sostanza filosofica della teoria dei quanti ».¹

Lo scopo di questo libro è di esplorare tale rapporto tra i concetti della fisica moderna e le idee fondamentali delle tradizioni filosofiche e religiose dell'Estremo Oriente. Vedremo come le due teorie fondamentali della fisica del ventesimo secolo – la meccanica quantistica e la teoria della relatività – ci obblighino entrambe a considerare il mondo in un modo molto simile a quello degli Indù, dei Buddisti e dei Taoisti, e come tale somiglianza risulti più marcata quando si osservano i recenti tentativi di unificare queste due teorie al fine di descrivere i fenomeni del mondo submicroscopico, cioè le proprietà e le interazioni delle particelle subatomiche dalle quali è costituita tutta la materia. Qui le corrispondenze tra la fisica moderna e il misticismo orientale si fanno addirittura sorprendenti: incontreremo spesso affermazioni per le quali è quasi impossibile stabilire se siano state formulate da fisici o da mistici orientali.

Quando parlo di « misticismo orientale », intendo le filosofie religiose dell'Induismo, del Buddhismo e del Taoismo. Nonostante che esse comprendano un gran numero di discipline spirituali e di sistemi filosofici sottilmente intrecciati, le caratteristiche fondamentali della loro concezione del mondo sono le stesse. Questa concezione non è limitata all'Oriente, ma si può ritrovare in una certa misura in tutte le filosofie con un orientamento mistico. Si potrebbe quindi riformulare in modo più generale il tema di questo libro dicendo che la fisica moderna ci porta a una concezione del mondo che è molto simile a quella dei mistici di tutti i tempi e di tutte le tradizioni. Tradizioni mistiche sono presenti in

I. W. Heisenberg, *Physics and Philosophy*, Harper Torchbooks, New York 1958, p. 202 [trad. it. *Fisica e filosofia*, Il Saggiatore, Milano 1961, p. 198].

tutte le religioni ed elementi mistici si possono trovare in molte scuole della filosofia occidentale. Le corrispondenze con la fisica moderna non si riscontrano soltanto nei *Veda* dell'Induismo, nell'*I King*, o nei *Sūtra* buddhisti, ma anche nei frammenti di Eraclito, nel Sufismo di Ibn Arabi, o negli insegnamenti di Don Juan, lo stregone yaqui. La differenza tra il misticismo orientale e quello occidentale è che in Occidente le scuole mistiche hanno sempre avuto una funzione marginale, mentre costituiscono il filone principale del pensiero filosofico e religioso orientale. Perciò, per amore di semplicità, parlerò di « concezione orientale del mondo » e solo in qualche caso accennerò ad altre fonti di pensiero mistico.

Se la fisica ci porta oggi a una concezione del mondo che è sostanzialmente mistica, in qualche modo essa ritorna alle sue origini, a duemilacinquecento anni fa. E interessante seguire l'evoluzione della scienza occidentale lungo il suo percorso a spirale che, partendo dalle filosofie mistiche dei primi filosofi greci, cresce e si dispiega in un impressionante sviluppo di pensiero intellettuale, allontanandosi progressivamente dalle sue origini mistiche fino a giungere a una concezione del mondo in netto contrasto con quella dell'Estremo Oriente. Nei suoi stadi più recenti, la scienza occidentale sta finalmente superando questa concezione e sta ritornando nuovamente a quelle dei Greci più antichi e delle filosofie orientali. Questa volta, tuttavia, essa non si basa soltanto sull'intuizione, ma anche su esperimenti di grande precisione e raffinatezza e su un formalismo matematico rigoroso e coerente.

Le radici della fisica, come di tutta la scienza occidentale, vanno ricercate nel primo periodo della filosofia greca, nel sesto secolo a.C., in una cultura nella quale scienza, filosofia e religione non erano separate. I saggi della scuola di Mileto nella Ionia non erano interessati a tali distinzioni. La loro aspirazione era scoprire la natura essenziale, ovvero la costituzione reale, delle cose che essi chiamavano φύσις. Il termine « fisica » deriva da

questa parola greca e perciò significava, originariamente, lo sforzo di scoprire la natura essenziale di tutte le cose.

Naturalmente, questo è anche lo scopo principale di tutti i misticisti, e in effetti la filosofia della scuola di Mileto era fortemente permeata di misticismo. La cultura greca successiva definì i filosofi della scuola di Mileto « ilozoisti », cioè « coloro che pensano che la materia sia animata », poiché non facevano alcuna distinzione tra animato e inanimato, tra spirito e materia. In effetti, essi non avevano neppure un termine per indicare la materia, in quanto consideravano tutte le forme di esistenza come manifestazioni della φύσις, dotata di vita e di spiritualità. Così Talete sosteneva che tutte le cose sono piene di dèi e Anassimandro concepiva l'universo come una specie di organismo alimentato da uno « pneuma », il respiro cosmico, allo stesso modo in cui il corpo umano è alimentato dall'aria.

La concezione monistica e organicistica della scuola di Mileto era molto vicina a quella delle antiche filosofie indiana e cinese e le corrispondenze con il pensiero orientale sono ancora più forti nella filosofia di Eraclito di Efeso. Eraclito credeva che il mondo fosse in perenne mutamento, in eterno « Divenire ». Per lui, la staticità dell'essere era pura illusione. Egli considerava il fuoco il principio universale, simbolo del continuo scorrere e trasformarsi di tutte le cose; riteneva che tutte le trasformazioni nel mondo nascessero dall'azione reciproca dinamica e ciclica dei contrari e pensava ogni coppia di contrari come un'unità. A questa unità, che contiene e trascende tutte le forze opposte, dava il nome di Logos.

La rottura di questa unità cominciò con la scuola eleatica, secondo la quale esisteva un Principio Divino al di sopra di tutti gli dèi e di tutti gli uomini. Questo principio fu inizialmente identificato con l'unità dell'universo; in seguito tuttavia fu visto come un Dio intelligente e personificato che sta al di sopra del mondo e lo governa. Ebbe così inizio una tendenza di pensiero che alla fine condusse alla separazione tra spirito e materia e

a un dualismo che divenne caratteristico della filosofia occidentale.

Un passo decisivo in questa direzione fu compiuto da Parmenide di Elea il cui pensiero era in forte contrasto con quello di Eraclito. Parmenide chiamava il suo principio fondamentale l'Essere e lo considerava uno e immutabile. Riteneva impossibile il mutamento e giudicava pure illusioni dei sensi i cambiamenti che a noi sembra di percepire nel mondo. L'idea di una sostanza indistruttibile come causa delle proprietà cangianti nacque da questa filosofia e divenne uno dei concetti fondamentali del pensiero occidentale.

Nel quinto secolo a.C. i filosofi greci tentarono di superare l'acuto contrasto tra le concezioni di Parmenide e quelle di Eraclito. Allo scopo di conciliare l'idea dell'Essere immutabile (di Parmenide) con quella dell'eterno Divenire (di Eraclito), essi sostennero che l'Essere è manifesto in certe sostanze invariabili le quali, mescolandosi e separandosi, danno luogo ai mutamenti che si verificano nel mondo. Questo portò al concetto di atomo, la più piccola unità indivisibile di materia, che trovò la sua espressione più chiara nella filosofia di Leucippo e di Democrito. Gli atomisti greci tracciarono una netta linea di separazione tra spirito e materia, immaginando la materia composta da diversi « mattoni fondamentali ». Questi erano particelle completamente passive e intrinsecamente inerti che si muovevano nel vuoto. La causa del loro moto non veniva spiegata, ma era spesso associata a forze esterne ritenute di origine spirituale e fondamentalmente diverse dalla materia. Nei secoli successivi, questa immagine divenne un elemento essenziale del pensiero occidentale, del dualismo tra mente e materia, tra corpo e anima.

Non appena si affermò l'idea di una separazione tra spirito e materia, i filosofi rivolsero l'attenzione al mondo spirituale, più che a quello materiale, all'anima umana e ai problemi etici. Questi problemi dovevano occupare il pensiero occidentale per più di duemila anni dopo l'apice raggiunto dalla scienza e dalla cultura

greca nel quinto e nel quarto secolo a.C. Le conoscenze scientifiche dell'antichità vennero sistematizzate e organizzate da Aristotele, il quale creò lo schema che doveva diventare la base della concezione occidentale dell'universo per duemila anni. Ma Aristotele stesso era convinto che i problemi riguardanti l'anima umana e la contemplazione della perfezione di Dio fossero molto più importanti dell'indagine del mondo materiale. Il motivo per cui il modello aristotelico dell'universo non venne messo in discussione per tanto tempo fu proprio questa mancanza di interesse per il mondo materiale e la forte presa della Chiesa cristiana, che sostenne le dottrine aristoteliche per tutto il Medioevo.

Un ulteriore sviluppo della scienza occidentale doveva verificarsi solo nel Rinascimento, quando gli uomini cominciarono a liberarsi dall'influenza di Aristotele e della Chiesa e mostrarono un nuovo interesse per la natura. Verso la fine del Quattrocento lo studio della natura fu affrontato per la prima volta con spirito realmente scientifico e vennero effettuati esperimenti per controllare le ipotesi teoriche. Poiché parallelamente si verificò un crescente interesse per la matematica, questo sviluppo condusse infine alla formulazione di teorie propriamente scientifiche, basate sull'esperimento ed espresse nel linguaggio della matematica. Galilei fu il primo a combinare conoscenza empirica e matematica e perciò viene considerato il padre della scienza moderna.

La nascita della scienza moderna fu preceduta e accompagnata da uno sviluppo del pensiero filosofico che portò a una formulazione estrema del dualismo spirito-materia. Questa formulazione comparve nel Seicento con la filosofia di René Descartes, il quale fondò la propria concezione della natura su una fondamentale separazione tra due realtà distinte e indipendenti, quella della mente (*res cogitans*) e quella della materia (*res extensa*). La separazione « cartesiana » permise agli scienziati di considerare la materia come inerte e completamente distinta da se stessi e di raffigurarsi il mondo materiale come una moltitudine di oggetti differenti.

riuniti insieme in una immensa macchina. Una siffatta concezione meccanicistica del mondo fu sostenuta da Isaac Newton, che su questa base costruì la sua scienza della meccanica e la pose a fondamento della fisica classica. Dalla seconda metà del Seicento alla fine dell'Ottocento, il modello meccanicistico newtoniano dell'universo dominò tutto il pensiero scientifico. Era accompagnato dall'immagine di un Dio monarca che dall'alto governava il mondo imponendo a esso la sua legge divina. Di conseguenza, le leggi fondamentali della natura ricercate dagli scienziati vennero considerate le leggi divine, invariabili ed eterne, alle quali il mondo era soggetto.

La filosofia di Cartesio non fu solo importante per lo sviluppo della fisica classica, ma ebbe anche un'enorme influenza su tutto il modo di pensare occidentale fino ai giorni nostri. La famosa frase di Cartesio *Cogito ergo sum* ha portato l'uomo occidentale a identificarsi con la propria mente invece che con l'intero organismo. Come conseguenza della separazione cartesiana, l'uomo moderno è consapevole di se stesso, nella maggior parte dei casi, come un io isolato che vive « all'interno » del proprio corpo. La mente è stata divisa dal corpo e ha ricevuto il compito superfluo di controllarlo; ciò ha provocato la comparsa di un conflitto tra volontà cosciente e istinti involontari. Ogni individuo è stato ulteriormente suddiviso in base alle sue attività, capacità, sentimenti, opinioni, ecc., in un gran numero di comportamenti separati, impegnati in conflitti inestinguibili, che generano una continua confusione metafisica e altrettanta frustrazione.

Questa frammentazione interna dell'uomo rispecchia la sua concezione del mondo « esterno », che è visto come un insieme di oggetti e di eventi separati. Si considera l'ambiente naturale come se fosse costituito da parti separate che devono essere sfruttate da vari gruppi di interesse. Questa visione non unitaria è ulteriormente

estesa alla società, che viene suddivisa in differenti nazioni, razze, gruppi religiosi e politici. La convinzione che tutti questi frammenti – in noi stessi, nel nostro ambiente e nella nostra società – siano realmente separati può essere vista come la causa fondamentale di tutte le crisi attuali, sociali, ecologiche e culturali. Essa ci ha estraniati dalla natura e dagli esseri umani nostri simili. Essa ha provocato una distribuzione delle risorse naturali incredibilmente ingiusta, che crea disordine economico e politico: un'ondata di violenza, sia spontanea sia istituzionalizzata, che cresce sempre più, e un ambiente inospite, inquinato, nel quale la vita è diventata fisicamente e spiritualmente insalubre.

La separazione operata da Cartesio e la concezione meccanicistica del mondo hanno quindi portato nello stesso tempo benefici e danni; si sono rivelate estremamente utili per lo sviluppo della fisica classica e della tecnologia, ma hanno avuto molte conseguenze nocive per la nostra civiltà. È affascinante osservare come la scienza del ventesimo secolo, nata dalla separazione introdotta da Cartesio e dalla concezione meccanicistica del mondo, e che anzi poté svilupparsi solo sulla base di una concezione del genere, superi oggi questa frammentazione e ritorni nuovamente all'idea di unità espressa nelle prime filosofie greche e orientali.

Al contrario della concezione meccanicistica occidentale, la concezione orientale è di tipo « organicistico ». Per il mistico orientale, tutte le cose e tutti gli eventi percepiti dai sensi sono interconnessi, collegati tra loro, e sono soltanto differenti aspetti o manifestazioni della stessa realtà ultima. La nostra tendenza a dividere il mondo percepito in cose singole e distinte e a sentire noi stessi come unità separate in questo mondo è considerata un'illusione che deriva dalla propensione della nostra mente a misurare e a classificare. Essa è chiamata *avidyā*, o ignoranza, nella filosofia buddhista ed è considerata uno stato di turbamento mentale che deve essere superato.

« Quando la mente è turbata, si produce il molteplice, ma il molteplice scompare quando la mente si acquieta ».¹

Le varie scuole del misticismo orientale, sebbene differiscano fra loro in molti punti particolari, sottolineano tutte l'unità fondamentale dell'universo che è la caratteristica principale del loro insegnamento. L'aspirazione più elevata dei loro seguaci — siano essi Indù, Buddhisti o Taoisti — è quella di diventare pienamente consapevoli dell'unità e della interconnessione reciproca di tutte le cose, di trascendere la nozione di sé come individuo singolo e di identificarsi con la realtà ultima. Il raggiungimento di questa consapevolezza — chiamata « illuminazione » — non è solo un atto intellettuale ma un'esperienza che coinvolge l'intera persona e che fondamentalmente è di natura religiosa. Per questo motivo, la maggior parte delle filosofie orientali sono essenzialmente filosofie religiose.

Nella concezione orientale, quindi, la divisione della natura in oggetti separati non è fondamentale e ciascuno di tali oggetti ha un carattere fluido e continuamente mutevole. La concezione orientale del mondo è perciò intrinsecamente dinamica, e il tempo e il mutamento ne sono elementi essenziali. Il cosmo è visto come una unica realtà indivisibile, in eterno movimento, animata, organica: materiale e spirituale nello stesso tempo.

Poiché il movimento e il mutamento sono proprietà essenziali delle cose, le forze che causano il movimento non sono esterne agli oggetti, come nella concezione della Grecia classica, ma sono una proprietà intrinseca della materia. Corrispondentemente, l'immagine orientale della divinità non è quella di un sovrano che dirige il mondo dall'alto, ma quella di un principio che controlla ogni cosa dall'interno:

1. Aśvaghosa, *The Awakening of Faith*, trad. di D.T. Suzuki, Open Court, Chicago 1900, p. 78.

Colui che, risiedendo in tutti gli esseri, da tutti gli esseri è diverso, lui che tutti gli esseri non conoscono, per il quale tutti gli esseri sono corpo,
 lui che governa dall'interno tutti gli esseri,
 questi è il tuo *ātman*, l'intimo reggitore, l'immortale.¹

Dai prossimi capitoli risulterà chiaro che i principi fondamentali della concezione orientale del mondo sono gli stessi che ritroviamo nella visione del mondo che sta emergendo dalla fisica moderna. Lo scopo che mi propongo con queste pagine è di far capire come il pensiero orientale e, più generalmente, il pensiero mistico forniscano alle teorie della scienza contemporanea un importante e coerente riferimento filosofico: una concezione del mondo nella quale le scoperte scientifiche dell'uomo possono trovarsi in perfetta armonia con le sue aspirazioni spirituali e la sua fede religiosa. I due temi fondamentali di questa concezione sono l'unità e l'interdipendenza di tutti i fenomeni e la natura intrinsecamente dinamica dell'universo. Quanto più profondamente penetriamo nel mondo submicroscopico, tanto più ci rendiamo conto che il fisico moderno, parimenti al mistico orientale, è giunto a considerare il mondo come un insieme di componenti inseparabili, interagenti e in moto continuo, e che l'uomo è parte integrante di questo sistema.

La concezione del mondo organicistica, « ecologica », delle filosofie orientali è senza dubbio una delle principali ragioni dell'immensa popolarità che esse hanno recentemente ottenuto in Occidente, specialmente tra i giovani. Nella nostra cultura occidentale, che è ancora dominata da una visione meccanicistica e frammentata del mondo, un numero crescente di persone ha visto in essa la ragione che sta alla base della diffusa insoddisfazione presente nella nostra società e molti si sono rivolti

1. *Bṛhad-āranyaka-upanisad*, III, VII, 15 [edizioni italiane: *Upanisad anti-che e medie*, a cura di P. Filippini-Ronconi, Boringhieri, Torino 1960; *Upanisad*, a cura di C. Della Casa, Utet, Torino 1976].

alle vie orientali di liberazione. E interessante, e forse nemmeno troppo sorprendente, osservare come coloro che sono attratti dal misticismo orientale, che consultano l'*I King* e che praticano lo yoga o altre forme di meditazione, hanno in genere un marcato atteggiamento antiscientifico. Essi tendono a vedere la scienza, e la fisica in particolare, come una disciplina limitata da un punto di vista culturale, che impedisce all'immaginazione di esprimersi liberamente e che è responsabile di tutti i guasti della moderna tecnologia.

Questo libro si propone di migliorare l'immagine della scienza mostrando che esiste una sostanziale armonia tra lo spirito della saggezza orientale e la scienza occidentale. Esso tenta di far capire che la fisica moderna va ben al di là della tecnologia, che la via – il *Tao* – della fisica può essere una via con un cuore, una via rivolta alla conoscenza spirituale e alla realizzazione di sé.

2.

CONOSCERE E VEDERE

Dal non essere fammi andare all'essere!
Dalla tenebra fammi andare alla luce!
Dalla morte fammi andare all'immortalità!

Bihad-ārarryaka-upanisad

Prima di iniziare a esaminare le corrispondenze tra la fisica moderna e il misticismo orientale, dobbiamo affrontare il problema preliminare di come sia possibile porre a confronto una scienza esatta, espressa nel linguaggio estremamente raffinato della matematica moderna, con discipline spirituali le quali, oltre a basarsi essenzialmente sulla meditazione, insistono sul fatto che le intuizioni a cui giungono non possono essere comunicate verbalmente.

Ciò che vogliamo confrontare sono le affermazioni fatte dagli scienziati e dai mistici orientali sulla loro conoscenza del mondo. Per stabilire il contesto adatto a questo confronto dobbiamo chiederci per prima cosa di quale tipo di « conoscenza » stiamo parlando: il monaco buddhista di Angkor-Vat o di Kyoto intende con il termine « conoscenza » la stessa cosa che il fisico di Oxford o di Berkeley? In secondo luogo, quali tipi di affermazioni vogliamo confrontare? Che cosa sceglieremo tra i dati sperimentali, le equazioni e le teorie da una parte e i testi religiosi, gli antichi miti, o i trattati filosofici dall'altra? Scopo di questo capitolo è chiarire questi due punti: la natura della conoscenza di cui ci occupia-

mo e il linguaggio nel quale questa conoscenza è espressa.

Nel corso della storia si è constatato che la mente dell'uomo è capace di due tipi di conoscenza, ovvero di due modalità di coscienza, che spesso vennero chiamati rispettivamente razionale e intuitiva e furono tradizionalmente associati alla scienza e alla religione. In Occidente, la conoscenza intuitiva, di tipo religioso, non è tenuta in grande considerazione, mentre si privilegia la conoscenza razionale, scientifica; al contrario, l'atteggiamento orientale tradizionale è in genere 'esattamente l'opposto. Le seguenti affermazioni, fatte da due grandi pensatori, uno occidentale e l'altro orientale, rappresentano le due tipiche posizioni su questo problema. In Grecia Socrate si espresse con la famosa frase « So di non sapere nulla »; in Cina Lao-tzu disse: « Somma cosa è non sapere di sapere ». In Oriente i nomi stessi con cui vengono indicati i due tipi di conoscenza rivelano il diverso valore che a essi viene attribuito. Le *Upanisad*, per esempio, parlano di una conoscenza più elevata e di una inferiore e associano quest'ultima alle varie scienze, la prima alla consapevolezza religiosa. I Buddhisti parlano di conoscenza « relativa » e di conoscenza « assoluta » oppure di « verità condizionale » e di « verità trascendentale ». La filosofia cinese, d'altra parte, ha sempre sottolineato la natura complementare dell'intuitivo e del razionale, rappresentandoli con la coppia di archetipi *yin e yang* che costituiscono i principi fondamentali del pensiero cinese. Come conseguenza, si sono sviluppate nell'antica Cina due tradizioni filosofiche complementari – il Taoismo e il Confucianesimo – per trattare i due tipi di conoscenza.

La conoscenza razionale è ricavata dall'esperienza che abbiamo degli oggetti e degli eventi del nostro ambiente quotidiano. Essa appartiene al campo dell'intelletto, la cui funzione è quella di discriminare, dividere, confrontare, misurare e ordinare in categorie. In tal modo si producono un gran numero di distinzioni intellettuali, di opposti che possono esistere solo l'uno in

rappporto all'altro; per questa ragione i Buddisti definiscono « relativo » questo tipo di conoscenza.

L'astrazione è una caratteristica tipica di questa conoscenza, perché per poter confrontare e classificare l'immensa varietà di forme, di strutture e di fenomeni che ci circondano, non si possono prenderne in considerazione tutti gli aspetti, ma se ne devono scegliere solo alcuni significativi. Perciò si costruisce una mappa intellettuale della realtà nella quale le cose sono ridotte ai loro contorni: La conoscenza razionale è pertanto un sistema di concetti astratti e di simboli, caratterizzata dalla struttura lineare e sequenziale tipica del nostro modo di pensare e di parlare. Nella maggior parte dei linguaggi questa struttura lineare è resa esplicita dall'uso di alfabeti che servono a comunicare esperienze e riflessioni con lunghe file di lettere.

Il mondo naturale, d'altra parte, è un mondo di varietà e complessità infinite, un mondo multidimensionale che non contiene né linee rette né forme perfettamente regolari, nel quale le cose non avvengono in successione ma tutte contemporaneamente; un mondo in cui – come ci insegna la fisica moderna – persino lo spazio vuoto ha una curvatura. È chiaro che il nostro sistema astratto di pensiero concettuale non potrà mai descrivere o comprendere questa realtà nella sua complessità. Cercando di comprendere il mondo, ci troviamo di fronte alle stesse difficoltà che incontra un cartografo che cerchi di rappresentare la superficie curva della Terra con una serie di mappe piane. Da un procedimento di questo tipo possiamo attenderci solo una rappresentazione approssimata della realtà, e di conseguenza tutta la conoscenza razionale è necessariamente limitata.

Il campo della conoscenza razionale è, naturalmente, il campo della scienza che misura e quantifica, classifica e analizza. I limiti di una qualsiasi conoscenza ottenuta con questi metodi sono diventati sempre più evidenti nella scienza moderna e in particolare nella fisica la quale ci ha insegnato che, come dice Werner Heisenberg, « ogni parola o concetto, per chiari che possano

sembrare, hanno soltanto un campo limitato di applicabilità ».¹

Per la maggior parte di noi è molto difficile tenere costantemente presenti i limiti e la relatività della conoscenza concettuale. Poiché la nostra rappresentazione della realtà è molto più facile da afferrare che non la realtà stessa, noi tendiamo a confondere le due cose e a prendere i nostri concetti e i nostri simboli come fossero la realtà. Uno dei principali scopi del misticismo orientale è quello di liberarci da questa confusione. I buddhisti Zen dicono che serve un dito per indicare la luna: ma non ci si deve più preoccupare del dito quando si è individuata la luna. Il saggio taoista Chuang-tzu ha scritto:

« Il fine della nassa è il pesce: preso il pesce metti da parte la nassa. IL fine del calappio è la lepre: presa la lepre metti da parte il calappio. Il fine delle parole è l'idea: afferrata l'idea metti da parte le parole ».²

In Occidente, lo studioso di semantica Alfred Korzybski puntualizzò esattamente la stessa questione con la sua sintetica formula « La mappa non è il territorio ».

Ciò che interessa ai mistici orientali è la ricerca di un'esperienza diretta della realtà che trascenda non solo il pensiero intellettuale, ma anche la percezione sensoriale. Si legge nelle *Upanisad*:

« Essendosi concentrato su ciò che è di là dall'udito, di là dal tatto, di là dalla vista, di là dal gusto e dall'olfatto, che è indefettibile ed eterno, senza principio e senza fine, più grande del grande, duraturo, l'uomo si salva dalle fauci della morte ».³

La conoscenza che deriva da un'esperienza di questo tipo viene chiamata dai Buddhisti « conoscenza assolu-

1. W. Heisenberg, trad. cit., p. 126.

2. *Chuang-tzu*, XXVI, 211 [edizioni italiane: in *Testi taoisti*, trad. di F. Tomassini, Utet, Torino 1977; *Zhuang-zi*, a cura di Liou Kia-hway, Adelphi, Milano 1982]

3. *Katha-upanisad*, III, 15.

ta » perché non si basa su discriminazioni, astrazioni e classificazioni dell'intelletto, le quali, abbiamo già visto, sono sempre relative e approssimate. Essa è, come ci dicono i Buddhisti, l'esperienza diretta dell'« essenza assoluta », indifferenziata, indivisa, indeterminata. Non essenza di qualcosa, ma essenza in quanto tale. La comprensione perfetta di tale essenza assoluta non solo è il cuore del misticismo orientale, ma è anche la caratteristica fondamentale di ogni esperienza mistica.

I mistici orientali insistono continuamente sul fatto che la realtà ultima non può mai essere oggetto di ragionamento o di conoscenza dimostrabile. Né può essere descritta adeguatamente con parole, perché sta al di là del campo dei sensi e dell'intelletto dai quali derivano le nostre parole e i nostri concetti. A questo riguardo le *Upanisad* dicono:

« Ivi non giunge la vista, né la parola, e neppure la mente. Non sappiamo né conosciamo in quale modo Lo si possa insegnare... ».¹

Lao-tzu, che chiama questa realtà il *Tao*, formula lo stesso concetto nella prima riga del *Tao-tê-ching*: « Il *Tao* che può esser detto non è l'eterno *Tao* ». Il fatto – ovvio per chiunque legga i giornali – che l'umanità non sia divenuta molto più saggia negli ultimi duemila anni nonostante un prodigioso aumento della conoscenza razionale dimostra chiaramente l'impossibilità di comunicare a parole la conoscenza assoluta. Come disse Chuang-tzu: « Fa che il *Tao* possa essere riferito e non vi sarà uomo che non lo riferisca ai fratelli ».²

La conoscenza assoluta è quindi un'esperienza della realtà totalmente non intellettuale, un'esperienza che nasce da uno stato di coscienza non ordinario, che può essere chiamato uno stato « meditativo » o mistico. Che uno stato di questo tipo esista, non solo è testimoniato

1. *Kena-upanisad*, i, 3.

2. *Chuang-tzu*, XIV, 101.

da numerosi mistici in Oriente e in Occidente, ma è anche indicato dalla ricerca psicologica. Come dice William James:

« La normale coscienza dello stato di veglia, che chiamiamo coscienza razionale, è soltanto un tipo di coscienza particolare, mentre tutto intorno ad essa, separate da schermi sottilissimi, esistono forme potenziali di coscienza completamente diverse ».¹

Sebbene i fisici si occupino soprattutto di conoscenza razionale e i mistici di conoscenza intuitiva, in tutti e due i campi sono presenti entrambi i tipi di conoscenza. Ciò diventa evidente se esaminiamo in quale modo si raggiunge la conoscenza e come questa viene espressa nella fisica e nel misticismo orientale.

In fisica la conoscenza viene acquisita attraverso il processo di ricerca scientifica che si può considerare avvenga in tre fasi successive. Dapprima si raccolgono i dati sperimentali riguardanti il fenomeno che dev'essere spiegato. Nella seconda fase, i dati sperimentali vengono correlati con simboli matematici e si elabora uno schema matematico che leggi questi simboli in modo preciso e coerente. Di solito, uno schema di questo tipo viene chiamato modello matematico oppure, se è più generale, teoria. Quest'ultima viene quindi utilizzata per predire i risultati di ulteriori esperimenti che vengono effettuati per controllare tutte le implicazioni della teoria stessa. A questo punto, i fisici possono ritenersi soddisfatti se sono riusciti a elaborare uno schema matematico e lo sanno utilizzare per prevedere altri risultati sperimentali. Tuttavia, alla fine del loro lavoro, essi vorranno divulgare al pubblico i risultati ottenuti e dovranno allora esprimerli in forma più semplice. Per ciò dovranno costruire con il linguaggio comune un modello che interpreti il loro schema matematico. La

1. W. James, *The Varieties of Religious Experience*, Longmans, Green & Co., New York 1935, p. 388.

formulazione di un siffatto modello verbale, che costituisce il terzo momento del processo di ricerca, rappresenta anche per gli stessi fisici un criterio di valutazione della comprensione raggiunta.

In pratica, naturalmente, le tre fasi non sono nettamente separate e non si verificano sempre nello stesso ordine. Per esempio, un fisico può essere spinto verso un certo modello da qualche sua convinzione filosofica, nella quale può continuare a credere anche in presenza di prove sperimentali contrarie. Egli cercherà allora - e ciò in effetti accade molto spesso - di modificare il suo modello in modo che esso possa spiegare i nuovi dati sperimentali. Ma se gli esperimenti continuano a contraddirre il modello, alla fine egli sarà costretto ad abbandonarlo.

Questo modo di procedere, per cui ogni teoria è saldamente basata sull'esperimento, è noto come metodo scientifico e vedremo che esiste qualcosa di analogo anche nella filosofia orientale. Sotto questo punto di vista, invece, la filosofia greca era totalmente diversa. Sebbene i filosofi greci abbiano elaborato idee sulla natura estremamente ingegnose, che spesso si avvicinano molto ai modelli scientifici moderni, l'enorme differenza tra i due modi di affrontare il problema è l'atteggiamento empirico della scienza moderna che fu del tutto estraneo alla mentalità greca. I Greci costruirono i loro modelli con metodo deduttivo partendo da alcuni assiomi o principi fondamentali, e non per induzione da quanto era stato osservato. D'altra parte, ovviamente, l'arte greca del ragionamento deduttivo e della logica è un elemento essenziale della seconda fase della ricerca scientifica, quella in cui si procede alla formulazione di un modello matematico coerente, e quindi è anche una parte fondamentale della scienza.

La conoscenza razionale e le attività razionali costituiscono certamente la parte più importante della ricerca scientifica, ma non la comprendono tutta quanta. Infatti, la componente razionale della ricerca sarebbe inutile se non fosse completata dall'intuito che rende

creativi gli scienziati fornendo loro nuove visioni. Queste visioni tendono a manifestarsi improvvisamente e — tipicamente — non quando si è seduti al tavolo di lavoro cercando di risolvere equazioni, ma quando ci si rilassa, nel bagno, a passeggio nei boschi, distesi sulla spiaggia, ecc. Durante questi momenti di riposo, dopo un'intensa attività intellettuale, la mente intuitiva sembra subentrare a quella razionale e può produrre improvvise visioni chiarificatrici, dalle quali derivano la grande gioia e la soddisfazione che il lavoro di ricerca scientifica può offrire.

Le visioni intuitive, tuttavia, non sono di alcuna utilità in fisica a meno che non possano essere tradotte in una struttura matematica coerente, integrata da un'interpretazione nel linguaggio comune. L'astrazione è una caratteristica decisiva di questa struttura e consiste, come già si è detto, di un sistema di concetti e di simboli che costituiscono una mappa della realtà. Questa mappa rappresenta solo alcuni aspetti della realtà; noi non sappiamo esattamente quali siano, poiché, sin dall'infanzia, iniziamo a compilare la nostra mappa gradualmente e senza un'adeguata analisi critica. Pertanto le parole che usiamo nel nostro linguaggio non sono definite con chiarezza; anzi esse hanno diversi significati, molti dei quali, quando sentiamo una determinata parola, sfiorano solo vagamente la nostra mente e rimangono in buona parte nel nostro subconscio.

L'imprecisione e l'ambiguità del nostro linguaggio sono indispensabili per i poeti i quali lavorano molto per associazioni, utilizzando i diversi strati subconsci del linguaggio stesso. La scienza, viceversa, mira a definizioni chiare e a relazioni prive di ambiguità, e perciò essa rende più astratto il linguaggio delimitando il significato delle parole e unificando la sua struttura, secondo le regole della logica. L'astrazione più spinta ha luogo nella matematica, in cui le parole sono sostituite da simboli e le operazioni di connessione dei simboli tra loro sono definite in maniera rigorosa. In questo modo gli scienziati possono condensare in un'unica equazio-

ne, cioè in una singola sequenza di simboli, informazioni per le quali sarebbero necessarie diverse pagine scritte nel linguaggio normale.

L'opinione che la matematica non sia altro che un linguaggio estremamente astratto e conciso non è accettata incondizionatamente. Molti matematici ritengono infatti che la matematica non sia semplicemente un linguaggio per descrivere la natura, ma che sia inerente alla natura stessa. Questa opinione risale a Pitagora il quale espresse questo pensiero con la famosa asserzione « tutto è numero » ed elaborò un tipo molto particolare di misticismo matematico. La filosofia pitagorica introdusse quindi il ragionamento logico nel dominio della religione, uno sviluppo che, secondo Bertrand Russell, fu decisivo per la filosofia religiosa occidentale:

« La combinazione di matematica e teologia, che cominciò con Pitagora, caratterizzò la filosofia religiosa in Grecia, nel Medioevo e nell'era moderna fino a Kant ... in Platone, sant'Agostino, Tommaso d'Aquino, Cartesio, Spinoza e Leibniz vi è un intimo intrecciarsi di religione e di ragionamento, di aspirazione morale e di ammirazione logica per ciò che è eterno, che viene da Pitagora e distingue la teologia intellettualizzata dell'Europa dal più diretto misticismo asiatico ».'

Il « più diretto misticismo asiatico » non seguirebbe, ovviamente, il punto di vista pitagorico sulla matematica. Nella concezione orientale, la matematica, con la sua struttura altamente differenziata e ben definita, deve essere considerata una parte della nostra mappa concettuale e non un aspetto caratteristico della realtà stessa. La realtà così come risulta dall'esperienza dei mistici è completamente indeterminata e indifferenziata.

Il metodo scientifico dell'astrazione è molto efficace e potente, ma comporta un prezzo da pagare. Via via che

I. B. Russell, *History of Western Philosophy*, Simon & Schuster, New York 1945, p. 37 [trad. it. *Storia della filosofia occidentale*, Longanesi, Milano 1967, p. 68].

definiamo con maggior precisione il nostro sistema di concetti, che lo rendiamo più efficiente e ne stabiliamo le connessioni interne in modo sempre più rigoroso, esso si distacca sempre più dal mondo reale. Servendoci nuovamente dell'analogia di Korzybski della mappa e del territorio, potremmo dire che il linguaggio ordinario è una mappa che possiede, per la sua intrinseca imprecisione, un certo grado di flessibilità tale da poter seguire in una certa misura la forma del territorio adattandosi alla sua curvatura. Via via che lo rendiamo più preciso, questa flessibilità gradualmente scompare, e con il linguaggio della matematica abbiamo raggiunto un punto in cui i legami con la realtà sono talmente evanescenti che il rapporto fra i simboli e la nostra esperienza sensoriale non è più riconoscibile. Ecco perché dobbiamo integrare le teorie e i modelli matematici con interpretazioni verbali, usando di nuovo concetti che possono essere compresi intuitivamente, ma che sono in qualche modo ambigui e imprecisi.

È importante rendersi conto della differenza che c'è tra modelli matematici e i corrispondenti modelli verbali. I primi sono rigorosi e coerenti per quanto riguarda la loro struttura interna, ma usano simboli che non sono correlati direttamente alla nostra esperienza. I modelli verbali, viceversa, si servono di concetti che possono essere compresi intuitivamente, ma che sono sempre imprecisi e ambigui. Da questo punto di vista essi non differiscono dai modelli filosofici della realtà, con i quali è quindi certamente possibile metterli a confronto.

Se nella scienza è rintracciabile una componente intuitiva, anche nel misticismo orientale è presente una componente razionale. L'importanza data alla ragione e alla logica varia tuttavia moltissimo da una scuola di pensiero a un'altra. La scuola indù del Vedanta e quella buddhista del Madhyamika, per esempio, hanno entrambe un alto contenuto intellettuale, mentre i Taoisti hanno sempre manifestato una profonda diffidenza nei

confronti del ragionamento e della logica. Lo Zen, che ebbe origine in seno al Buddhismo ma fu fortemente influenzato dal Taoismo, si vanta di essere « senza parole, senza spiegazioni, senza istruzioni, senza conoscenza ». Esso si concentra quasi interamente sull'esperienza di illuminazione e si interessa solo marginalmente di interpretare questa esperienza. Un pensiero Zen molto noto dice: « Nell'istante in cui parli di una cosa, essa ti sfugge ».

Sebbene altre scuole del misticismo orientale siano meno drastiche, per tutte l'esperienza mistica diretta rappresenta l'elemento fondamentale dell'insegnamento. Anche coloro, tra i misticci, che si impegnano in discussioni particolarmente complesse non considerano mai l'intelletto come fonte della loro conoscenza, ma se ne servono unicamente per analizzare e interpretare la loro esperienza mistica personale. Tutta la conoscenza è saldamente fondata su questa esperienza, e ciò conferisce alle tradizioni orientali un carattere fortemente empirico che viene sempre messo in rilievo da coloro che sostengono tali dottrine. Per esempio, a proposito del Buddhismo, D. T. Suzuki scrive:

« La base della filosofia buddhista è l'esperienza personale... In tal senso il Buddhismo è radicalmente empirico o sperimentale, indipendentemente dalla dialettica utilizzata in un secondo momento per approfondire il significato dell'esperienza di illuminazione ».'

Nella sua opera *Science and Civilisation in China*, Joseph Needham pone ripetutamente in rilievo l'atteggiamento empirico dei Taoisti e sostiene che questo atteggiamento ha contribuito a far sì che il Taoismo divenisse la base della scienza e della tecnologia cinesi. I primi filosofi taoisti, secondo Needham, « si ritirarono in regioni selvagge, tra monti e foreste, per meditare sull'ordine della

I. D.T. Suzuki, *On Indian Mahāyāna Buddhism*, a cura di E. Conze, Harper & Row, New York 1968, p. 237.

natura e per osservarne le innumerevoli manifestazioni ».¹ Lo stesso spirito è riflesso nei versi Zen:

Colui che desidera comprendere il significato della natura-Buddha
faccia attenzione alle stagioni e ai rapporti di causa.²

Il fatto che nel misticismo orientale la conoscenza poggi saldamente sull'esperienza suggerisce un'analogia con la conoscenza scientifica, fermamente ancorata all'esperimento. Questa analogia è ulteriormente rafforzata dalla natura stessa dell'esperienza mistica, descritta nelle tradizioni orientali come una visione diretta che sconfinà dall'ambito dell'intelletto e che si raggiunge guardando più che pensando, esplorando all'interno di se stessi, mediante l'osservazione.

Nel Taoismo, questo concetto di osservazione è racchiuso nel nome stesso col quale si indicano i templi taoisti, *kuan*, il cui significato originario è quello di « osservare ». I Taoisti considerano quindi i loro templi come luoghi di osservazione. Nel buddhismo Chan, la versione cinese dello Zen, spesso si parla dell'illuminazione come della « visione del Tao », e in tutte le scuole buddhiste il vedere è considerato come il primo passo del conoscere. Il primo precezzo dell'Ottuplice Sentiero, che raccoglie le prescrizioni del Buddha per giungere alla realizzazione di sé, è il retto vedere, e il secondo precezzo è il retto conoscere. A tale proposito, D. T. Suzuki scrive:

« Il vedere svolge il ruolo più importante nell'epistemologia buddhista, perché sta alla base del conoscere. E impossibile conoscere senza vedere; ogni conoscenza ha origine nel vedere. Perciò le attività del conoscere e del vedere si presentano di solito unite nell'insegnamento

1. J. Needham, *Science and Civilisation in China*, Cambridge University Press, Cambridge 1956, vol. II, p. 33.

2. Da *Zenrin kushu*, in I. Miura e R. Fuller-Sasaki, *The Zen Koan*, Harcourt Brace & World, New York 1965, p. 103.

del Buddha. La filosofia buddhista tende quindi in ultima analisi a vedere la realtà così come essa è. Vedere è sperimentare l'illuminazione ».¹

Questo passo ricorda anche le parole del mistico yaqui, Don Juan: « La mia predilezione è vedere... perché un uomo di conoscenza può conoscere solo vedendo ».²

Forse a questo punto è bene aggiungere un breve avvertimento. L'importanza attribuita dalle tradizioni mistiche al vedere non deve essere presa troppo alla lettera, ma va invece intesa in senso metaforico, dal momento che l'esperienza mistica della realtà è di natura essenzialmente non sensoriale. Quando i mistici orientali parlano del « vedere », essi si riferiscono a un tipo di percezione che può anche comprendere la percezione visiva, ma che sempre la trascende in maniera sostanziale per divenire un'esperienza non sensoriale della realtà. Comunque, ciò che essi vogliono sottolineare quando parlano di vedere, guardare o osservare, è il carattere empirico della loro conoscenza. Questa impostazione empirica della filosofia orientale ricorda molto da vicino l'importanza attribuita all'osservazione nella scienza, e suggerisce quindi un contesto per il confronto che ci proponiamo di fare. La fase sperimentale della ricerca scientifica sembra corrispondere alla visione diretta del mistico orientale, e le teorie e i modelli scientifici corrispondono ai vari modi in cui questa visione viene interpretata.

La corrispondenza suggerita tra gli esperimenti scientifici e le esperienze mistiche può sembrare sorprendente, data la natura molto diversa di questi modi di osservazione. I fisici effettuano esperimenti che richiedono un complesso lavoro di gruppo e una tecnologia alta-

1. D.T. Suzuki, *Outlines of Mahāyāna Buddhism*, Schocken Books, New York 1963, p. 235.

2. C. Castaneda, *A Separate Reality*, Simon and Schuster, New York 1971, p. 20 [trad. it. *Una realtà separata*, Astrolabio, Roma 1972, p. 123].

mente raffinata, mentre i mistici ottengono la loro conoscenza semplicemente attraverso l'introspezione, senza alcuna macchina, nell'isolamento della meditazione. Gli esperimenti scientifici, inoltre, sembrano essere ripetibili in qualsiasi momento e da chiunque, mentre le esperienze mistiche appaiono riservate a pochi individui in situazioni particolari. Un esame più approfondito mostra tuttavia che le differenze tra i due tipi di osservazione consistono soltanto nel modo in cui esse affrontano il problema e non nella loro attendibilità o nella loro complessità.

Chiunque desideri ripetere un esperimento della moderna fisica subatomica deve intraprendere molti anni di studio e di addestramento. Solo allora sarà in grado di porre alla natura domande specifiche attraverso l'esperimento e di comprenderne la risposta. Analogamente, una profonda esperienza mistica richiede, generalmente, molti anni di esercizio con un maestro esperto e, come nel caso della preparazione scientifica, il periodo di tempo dedicato all'apprendimento non garantisce da solo il risultato. Tuttavia, se ha successo, l'allievo sarà in grado di « ripetere l'esperimento ». La ripetibilità dell'esperienza è in effetti essenziale per ogni apprendimento mistico ed è lo scopo reale dell'insegnamento spirituale del misticismo.

Un'esperienza mistica, perciò, non è affatto un evento unico, più di quanto non lo sia un moderno esperimento di fisica. D'altra parte, non è neppure meno complesso, sebbene la sua complessità sia di natura molto diversa. La complessità e l'efficienza dei dispositivi tecnici usati in fisica sono egualiate, se non addirittura superate, da quelle della coscienza — sia fisica che spirituale — di un mistico immerso in profonda meditazione. Quindi, per osservare la natura, gli scienziati e i mistici hanno elaborato metodi estremamente raffinati, che sono inaccessibili ai profani. Per un non iniziato, una pagina di una rivista di fisica sperimentale contemporanea risulta tanto misteriosa quanto un mandala tibetano. Entram-

bi sono registrazioni di indagini sulla natura dell'universo.

Sebbene non si verifichino di solito profonde esperienze mistiche senza una lunga preparazione, ognuno di noi ha sperimentato, durante la normale vita quotidiana, visioni intuitive dirette. A tutti noi è capitato di aver dimenticato e di non riuscire a ricordare, nonostante la più intensa concentrazione, il nome di una persona o di un luogo, o di qualche altra cosa. Sembra di averlo « sulla punta della lingua » ma non siamo capaci di pronunciarlo, finché a un certo punto, dopo che abbiamo ormai rinunciato e abbiamo spostato la nostra attenzione su qualche altra cosa, improvvisamente, come in un lampo, ci ricordiamo il nome dimenticato. In questo processo non interviene alcun ragionamento. È una visione improvvisa, immediata. Questo esempio dell'improvviso ricordarsi di qualcosa è particolarmente pertinente al Buddhismo, secondo il quale la nostra natura originaria è quella del Buddha illuminato, realtà che in seguito noi abbiamo dimenticato. Ai discepoli del buddhismo Zen viene chiesto di scoprire la loro « faccia originaria » e l'improvviso « ricordarsi » di questa faccia costituisce per loro l'illuminazione.

Un altro esempio ben noto di visione intuitiva spontanea è dato dalle arguzie. In quell'istante di distacco in cui si afferra la battuta di spirito si compie l'esperienza di un momento di « illuminazione ». E ben noto che questo momento deve giungere spontaneamente, che non si può provocarlo « spiegando » lo scherzo, cioè con l'analisi intellettuale. Solo con una visione intuitiva improvvisa che coglie il significato più profondo dell'arguzia possiamo provare l'esperienza della risata liberatoria che la battuta di spirito è intesa a produrre. La somiglianza che c'è tra un'intuizione spirituale e la comprensione di un'arguzia deve essere ben nota agli uomini e alle donne che hanno raggiunto l'illuminazione, perché quasi sempre essi mostrano di possedere un grande senso dell'umorismo. Lo Zen, in particolare, è

ricco di storie e aneddoti divertenti e nel *Tao-tê-ching* leggiamo: « Se non se ne ridesse, la Via non meriterebbe di essere considerata tale ».¹

Nella nostra vita quotidiana, le visioni intuitive dirette, che penetrano nella natura delle cose, sono normalmente limitate a istanti estremamente brevi. Non è così nel misticismo orientale nel quale esse durano per periodi più lunghi e infine diventano uno stato di consapevolezza continuo. La preparazione della mente a questo stato di consapevolezza – che consente di percepire la realtà in maniera immediata, non concettuale – è lo scopo principale di tutte le scuole del misticismo orientale e di molti aspetti del modo di vita orientale. Nel corso della lunga storia culturale dell'India, della Cina e del Giappone sono state elaborate un'enorme varietà di tecniche, di rituali e di forme artistiche per conseguire questo scopo, ognuno dei quali può essere chiamato meditazione nel senso più ampio del termine.

Lo scopo fondamentale di queste tecniche sembra essere quello di far tacere la mente pensante e di spostare la consapevolezza dalla modalità razionale di coscienza a quella intuitiva. In molte forme di meditazione, il silenzio della mente razionale è ottenuto concentrando l'attenzione su un singolo particolare, come il proprio respiro, il suono di un mantra o il simbolo visivo di un mandala. Altre scuole concentrano l'attenzione su movimenti del corpo che devono essere eseguiti spontaneamente, senza (interferenza di alcun pensiero. Questa è la via dello Yoga indù e del *T'ai Chi Ch'uan* taoista. I movimenti ritmici praticati da queste scuole possono condurre alla stessa sensazione di pace e di acquietamento caratteristica delle forme più statiche di meditazione; una sensazione che, incidentalmente, può essere provocata anche da alcuni sport. Nella mia esperienza,

1. *Tao-tê-ching*, XLI [edizioni italiane: *Tao-tê-ching*, a cura di J.J.L. Duyvendak, Adelphi, Milano 1973; in *Testi taoisti*, cit.].

ad esempio, sciare è stata una forma molto gratificante di meditazione.

Anche le varie forme dell'arte orientale sono modi di meditazione. Esse non sono intese tanto come mezzi per esprimere le idee dell'artista quanto come vie di realizzazione di sé attraverso lo sviluppo della modalità intuitiva della coscienza. La musica indiana non si impara leggendo le note, ma ascoltando l'insegnante che suona e sviluppando in tal modo una sensibilità per la musica, proprio come i movimenti del *Tai Chi* non vengono imparati seguendo certe istruzioni verbali ma ripetendoli più e più volte in perfetta sincronia con il maestro. Le ceremonie giapponesi del tè sono ricche di movimenti lenti e rituali. La calligrafia cinese richiede un movimento spontaneo e sciolto della mano. Tutte queste abilità sono usate in Oriente per sviluppare la modalità meditativa della coscienza.

Per la maggior parte delle persone, e in particolar modo per gli intellettuali, questa modalità della coscienza è un'esperienza completamente nuova. A causa del loro lavoro di ricerca, gli scienziati hanno familiarità con le visioni intuitive dirette, perché ogni nuova scoperta nasce in un improvviso lampo di illuminazione non verbale di questo tipo. Ma questi momenti sono estremamente brevi e si verificano quando la mente è satura di informazioni, concetti e schemi di pensiero. Nella meditazione, viceversa, la mente è svuotata di tutti i pensieri e di tutti i concetti e quindi è preparata a funzionare nella sua modalità intuitiva per lunghi periodi.

Quando la mente razionale tace, la modalità intuitiva produce uno stato di straordinaria consapevolezza; l'ambiente viene percepito direttamente senza il filtro del pensiero concettuale. Secondo le parole di Chuangtzu, « La quiete del cuore del Santo è il riflesso del Cielo e della Terra, lo specchio delle diecimila creature ».¹

1. *Chuang-tzu, XIII, 88.*

L'esperienza di unione con l'ambiente circostante è la principale caratteristica di questo stato di meditazione. Questo è uno stato di coscienza nel quale ogni forma di frammentazione è venuta meno, dissolvendosi in un'unità indifferenziata.

Nella meditazione profonda, la mente è totalmente vigile. Oltre alla comprensione non-sensoriale della realtà, essa percepisce tutti i suoni, le impressioni visive, e gli altri stimoli che provengono dall'ambiente circostante, ma non ne trattiene le immagini sensoriali per analizzarle o interpretarle. Ad esse non è consentito distrarre l'attenzione. Tale stato di coscienza non è dissimile dallo stato mentale di un guerriero che attende l'attacco con estrema vigilanza, registrando ogni cosa che gli si muove intorno senza venirne distratto neppure per un istante. Yasutani Roshi, maestro Zen, si serve di questa immagine nella sua descrizione dello *shikan-tata*, la pratica di meditazione Zen:

« Lo *shikan-taza* è uno stato molto elevato di consapevolezza intensa nel quale non c'è ansia né fretta, e certamente non c'è mai fiacchezza. È lo stato mentale di chi si trova di fronte alla morte. Immaginate di essere impegnati in un duello alla spada come si usava nel Giappone antico. Quando fronteggiate il vostro avversario, siete costantemente attento, fermo, pronto. Se allentaste la vostra vigilanza anche solo per un istante, sareste colpito immediatamente. Una folla si è raccolta per vedere il combattimento. Poiché non siete cieco, li vedete con l'angolo dell'occhio e poiché non siete sordo, li udite. Ma nemmeno per un istante la vostra mente è catturata da queste impressioni dei sensi ».¹

A causa della somiglianza tra lo stato di meditazione e l'atteggiamento mentale di un guerriero, l'immagine del guerriero svolge un ruolo importante nella vita spiritua-

¹. Citato in P. Kapleau, *Three Pillars of Zen*, Beacon Press, Boston 1967, pp. 53-54.

le e culturale dell'Oriente. La vicenda narrata nel libro religioso prediletto in India, *la Bhagavad Gītā*, si svolge in un campo di battaglia e le arti marziali costituiscono una parte importante della cultura tradizionale della Cina e del Giappone. In Giappone, la forte influenza dello Zen sulla tradizione dei samurai dette origine al *bushido*, « la via del guerriero », un'arte della spada in cui l'intuito spirituale dello schermidore raggiunge la più alta perfezione. Il *T'ai Chi Ch'uan* taoista, che fu considerato la massima espressione dell'arte marziale in Cina, fonde i lenti e ritmici movimenti « yogici » con l'assoluta prontezza della mente del guerriero in una specificità unica.

Il misticismo orientale si basa sulla intuizione diretta nella natura della realtà, e la fisica si basa sull'osservazione dei fenomeni naturali negli esperimenti scientifici. In entrambi i campi, le osservazioni vengono in seguito interpretate e l'interpretazione molto spesso viene comunicata con parole. Poiché le parole sono sempre una mappa astratta e approssimativa della realtà, le interpretazioni verbali di un esperimento scientifico o di una visione mistica sono necessariamente imprecise e incomplete. I fisici moderni e i misticì orientali sono entrambi perfettamente consapevoli di questo fatto.

Nella fisica, le interpretazioni degli esperimenti vengono chiamate modelli o teorie. Rendersi conto che tutti i modelli e tutte le teorie sono approssimati è fondamentale per la moderna ricerca scientifica, ed è proprio questo il significato dell'aforisma di Einstein: « Nella misura in cui le proposizioni matematiche si riferiscono alla realtà, esse non sono certe; e nella misura in cui esse sono certe, non si riferiscono alla realtà ». I fisici sanno che i loro metodi di analisi e il ragionamento logico non possono mai spiegare subito tutto il complesso dei fenomeni naturali, e pertanto isolano un certo gruppo di fenomeni e cercano di costruire un modello per descrivere quel gruppo. Nel far ciò trascurano altri fenomeni, e quindi il modello non fornirà una descrizione completa

della situazione reale. I fenomeni che non vengono presi in considerazione possono avere un effetto talmente piccolo che il tenerne conto non modificherebbe la teoria in modo significativo, oppure possono essere trascurati semplicemente perché non sono noti quando viene elaborata la teoria.

A titolo di illustrazione, prenderemo in esame uno dei modelli più noti in fisica, la meccanica « classica » di Newton. Di solito, in questo modello vengono trascurati gli effetti della resistenza, o attrito, dell'aria, perché in genere sono molto piccoli. Ma, a parte tale lacuna, la meccanica newtoniana venne considerata per lungo tempo la teoria definitiva con la quale era possibile descrivere tutti i fenomeni naturali, fino a quando non furono scoperti i fenomeni elettrici e magnetici, che risultarono non interpretabili con la teoria di Newton. La scoperta di questi fenomeni mostrò che il modello era incompleto e che poteva essere applicato solo a un numero limitato di fenomeni, essenzialmente al moto dei corpi solidi.

Occuparsi di un gruppo limitato di fenomeni può anche voler dire limitarsi a studiarne le proprietà fisiche in un campo ristretto e ciò può costituire un'altra delle ragioni per cui la teoria risulta approssimata. Questo aspetto dell'approssimazione è di carattere surrettizio perché non si sa mai in anticipo quali sono i limiti di una teoria. Solo l'esperienza lo può dire. L'immagine tradizionale della meccanica classica fu ulteriormente messa in crisi quando la fisica del ventesimo secolo ne mise in evidenza i limiti intrinseci. Oggi sappiamo che il modello newtoniano è valido soltanto per corpi formati da un grande numero di attoni e solo per velocità piccole rispetto a quella della luce. Quando non è soddisfatta la prima condizione, la meccanica classica dev'essere sostituita dalla meccanica quantistica; quando invece non si verifica la seconda condizione, dev'essere applicata la teoria della relatività. Ciò non significa che il modello di Newton è « sbagliato », o che la meccanica quantistica e la teoria della relatività sono « esatte ». Tutti questi

modelli sono approssimazioni valide per un certo campo di fenomeni. Al di là di questo campo esse non danno più una descrizione soddisfacente della natura e devono essere trovati nuovi modelli che sostituiscano quelli vecchi; oppure, meglio ancora, che li estendano migliorando l'approssimazione.

Durante la costruzione di un dato modello, specificarne i limiti è spesso uno dei compiti più difficili ma anche più importanti. Secondo Geoffrey Chew, il cui « modello *a bootstrap* »* sarà discusso a fondo più avanti, è essenziale chiedersi sempre, non appena ci si accorge che un certo modello o una teoria funzionano: perché funziona? quali sono i limiti del modello? in quale senso, esattamente, il modello è un'approssimazione del fenomeno in esame? Queste domande sono considerate da Chew il primo passo verso ulteriori progressi.

Anche i mistici orientali sono perfettamente consapevoli del fatto che tutte le descrizioni verbali della realtà sono imprecise e incomplete. L'esperienza diretta della realtà trascende l'ambito del pensiero e del linguaggio e, poiché tutti i misticismi si basano su tale esperienza diretta, qualsiasi cosa venga detta su di essa può essere vera solo parzialmente. In fisica, la natura approssimata di tutte le affermazioni è quantificata e si fanno progressi migliorando le approssimazioni in un gran numero di passi successivi. In che modo, allora, le tradizioni orientali affrontano il problema della comunicazione verbale?

Anzitutto, i mistici sono interessati principalmente a fare esperienza della realtà e non a descrivere tale esperienza; perciò, generalmente, non si preoccupano di analizzare questa descrizione e quindi non è mai sorta

* Il termine *bootstrap* significa, letteralmente, « tirante di stivale » e sta a rappresentare, come si vedrà meglio nel capitolo XVIII, alcune proprietà delle interazioni tra particelle subnucleari. Si è preferito lasciare il termine inglese per non appesantire inutilmente il testo [N.d.T.].

nel pensiero orientale l'idea di definire con precisione quella approssimazione. D'altro canto, se desiderano comunicare la loro esperienza, i mistici orientali si trovano di fronte alle limitazioni del linguaggio. Per risolvere questo problema sono state proposte in Oriente parecchie strade differenti.

Il misticismo indiano, e in particolare l'Induismo, presenta le sue affermazioni sotto forma di miti, servendosi di metafore e di simboli, di immagini poetiche, di similitudini e di allegorie. Il linguaggio mitico è molto meno condizionato dalla logica o dal senso comune. È pieno di situazioni magiche o paradossali, è ricco di immagini suggestive e non è mai preciso; si presta quindi, molto meglio del linguaggio fattuale, a trasmettere il modo con il quale i mistici sperimentano la realtà. Secondo Ananda Coomaraswamy « il mito è la migliore approssimazione alla verità assoluta esprimibile con parole ».¹

La ricca immaginazione indiana ha creato un gran numero di divinità maschili e femminili le cui incarnazioni e gesta sono gli argomenti di racconti fantastici, raccolti in epiche voluminose. Tuttavia, chi in India è dotato di intuizione profonda sa che queste divinità sono creazioni della mente, immagini mitiche che rappresentano i molteplici aspetti della realtà. E sa anche che esse non sono state create unicamente per rendere i racconti più attratti, ma sono veicoli essenziali per trasmettere le dottrine di una filosofia che ha le sue radici nell'esperienza mistica.

I mistici cinesi e giapponesi hanno trovato un modo diverso per affrontare il problema del linguaggio. Invece di rendere gradevole la natura paradossale della realtà attraverso i simboli e le immagini del mito, essi preferiscono molto spesso accentuarla utilizzando il linguaggio fattuale. Perciò i Taoisti si servono frequentemente di

1. A.K. Coomaraswamy, *Hinduism and Buddhism*, Philosophical Library, New York 1943, p. 33 [trad. it. *Induismo e Buddhismo*, Rusconi, Milano 1973, p. 26, nota 22].

paradossi, proprio per mettere in luce le incongruenze che nascono nella comunicazione verbale e per mostrarne i limiti. Dai Taoisti questa tecnica è passata ai buddhisti giapponesi e cinesi che l'hanno ulteriormente sviluppata. Essa ha raggiunto la sua massima perfezione nel buddhismo Zen con i cosiddetti *koan*, quei rompicapi apparentemente privi di senso, che sono usati da molti maestri Zen per trasmettere il loro insegnamento. I *koan* presentano importanti analogie con la fisica moderna che saranno esaminate nel prossimo capitolo.

In Giappone, esiste anche un altro modo di esprimere concetti filosofici al quale vale la pena di accennare. Si tratta di una forma speciale di poesia estremamente concisa che viene spesso usata dai maestri Zen per puntare direttamente all'essenza assoluta della realtà. Un monaco chiese a Fuketsu Ensho: « Quando la parola e il silenzio sono entrambi inammissibili, come si può procedere senza errore? ». Il maestro replicò:

Io ricordo sempre Kiangsu nel mese di marzo
Il grido della pernice, la massa di fiori fragranti!¹

Questa forma di poesia spirituale ha raggiunto la perfezione nello *haiku*, un componimento poetico classico giapponese di esattamente diciassette sillabe, che fu profondamente influenzato dallo Zen. La capacità di cogliere la reale natura della vita di questi poeti di *haiku* traspare anche dalla traduzione italiana:

Le foglie che cadono giacciono una sull'altra;
la pioggia batte sulla pioggia.²

Ogni volta che i mistici orientali esprimono la loro conoscenza a parole – che lo facciano con l'aiuto di miti, di simboli, di immagini poetiche o di affermazioni paradossali – sono ben consapevoli delle limitazioni imposte

1. Citato in A.W. Watts, *The Way of Zen*, Vintage Books, New York 1957, p. 183 [trad. it. *La via dello Zen*, Feltrinelli, Milano 1960, p. 195].

2. *Ibid.*, trad. cit., p. 199.

dal linguaggio e dal ragionamento « lineare ». I fisici moderni sono arrivati ad assumere esattamente lo stesso atteggiamento verso le loro teorie e i loro modelli espressi verbalmente. Anche questi sono approssimati e necessariamente imprecisi; sotto questo aspetto sono l'equivalente dei miti orientali, dei simboli e delle immagini poetiche, ed è a questo livello che metterò in evidenza le corrispondenze. Per esempio, la medesima concezione della materia viene presentata dagli Indù mediante la danza cosmica del dio Siva e dai fisici con alcuni aspetti della teoria dei campi. Sia il dio danzante che la teoria fisica sono creazioni della mente: modelli di cui si servono i singoli autori per descrivere la loro intuizione della realtà.

3.

AL DI LÀ DEL LINGUAGGIO

La contraddizione, che tanto sconcerta il modo di pensare ordinario, deriva dal fatto che dobbiamo usare il linguaggio per comunicare la nostra esperienza interiore, la quale per sua stessa natura trascende le possibilità della lingua.

D.T. Suzuki

I problemi del linguaggio sono qui veramente gravi. Noi desideriamo parlare in qualche modo della struttura degli atomi ... Ma non possiamo parlare degli atomi servendoci del linguaggio ordinario.

W. Heisenberg

L'idea che le teorie e i modelli scientifici siano tutti approssimati e che le loro interpretazioni verbali risentano sempre della imprecisione del nostro linguaggio era già comunemente accettata dagli scienziati all'inizio di questo secolo, quando si verificò uno sviluppo nuovo e del tutto inatteso. Lo studio del mondo degli atomi costrinse i fisici a rendersi conto che il linguaggio comune è non solo impreciso, ma assolutamente inadeguato a descrivere la realtà atomica e subatomica. La meccanica quantistica e la teoria della relatività, le due basi della fisica moderna, hanno reso evidente che questa realtà trascende la logica classica e che non possiamo parlarne con il linguaggio ordinario. A questo proposito Heisenberg scrive:

« Il problema più difficile... concernente l'uso del linguaggio sorge nella teoria dei quanti. In essa non abbiamo al principio la benché minima indicazione che ci aiuti a mettere in rapporto i simboli matematici con i concetti del linguaggio ordinario. L'unica cosa che sappiamo fin dall'inizio è che i nostri concetti comuni non

possono essere applicati alla struttura degli atomi ».¹

Da un punto di vista filosofico, questo è stato senz'altro lo sviluppo più interessante della fisica moderna, e qui sta una delle radici del suo rapporto con la filosofia orientale. Nelle scuole filosofiche occidentali, la logica e il ragionamento sono sempre stati i principali strumenti usati per formulare le idee filosofiche e ciò vale, secondo Bertrand Russell, anche per le filosofie religiose. Nel misticismo orientale, viceversa, ci si è sempre resi conto che la realtà trascende il linguaggio ordinario e i saggi dell'Oriente non ebbero timore di andare al di là della logica e dei concetti comuni. Credo che questa sia la ragione principale per la quale i loro modelli della realtà costituiscono per la fisica moderna un riferimento filosofico più appropriato di quanto non lo siano i modelli della filosofia occidentale.

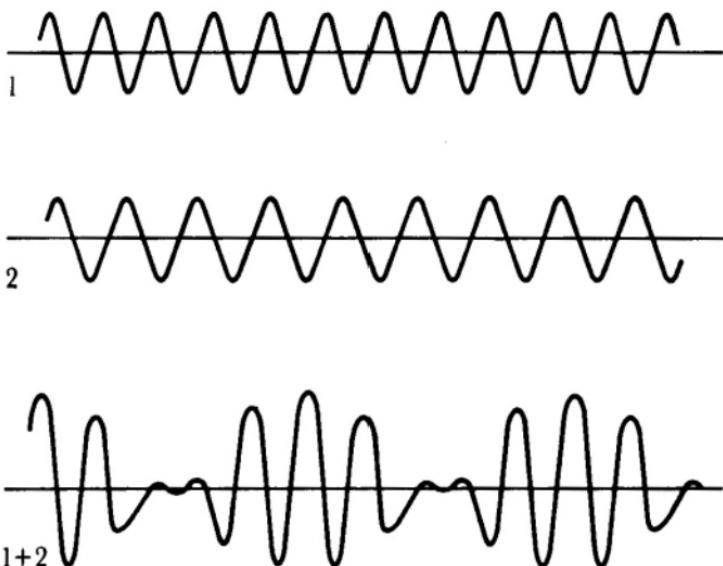
Il problema del linguaggio che si presenta a un mistico orientale è esattamente lo stesso problema davanti al quale si trova un fisico moderno. Nei due passi riportati all'inizio di questo capitolo D.T. Suzuki² e Werner Heisenberg³ parlano rispettivamente del Buddhismo e della fisica atomica, eppure i due passi sono quasi identici. Sia il fisico che il mistico vogliono comunicare la loro conoscenza, e quando lo fanno con le parole, le loro affermazioni risultano paradossali e piene di contraddizioni logiche. Questi paradossi sono tipici di tutto il misticismo, da Eraclito a Don Juan, e dall'inizio di questo secolo sono caratteristici anche della fisica.

Nella fisica atomica molte delle situazioni paradossali sono legate alla natura duale della luce o, più in generale, della radiazione elettromagnetica. Da una parte, è chiaro che questa radiazione deve consistere di onde perché dà luogo ai ben noti fenomeni di interferenza associati alle onde: quando si hanno due sorgenti di

1. W. Heisenberg, trad. cit., pp. 175-176.

2. D.T. Suzuki, *On Indian Mahāyāna Buddhism*, cit., p. 239.

3. W. Heisenberg, trad. cit., pp. 177-178.



Interferenza di due onde.

luce, l'intensità luminosa misurata in un dato punto non è necessariamente uguale alla somma delle intensità provenienti dalle due sorgenti, ma può essere maggiore o minore. Si può spiegare facilmente questo fenomeno con l'interferenza delle onde emesse dalle due sorgenti: nei punti in cui si sovrappongono due creste avremo un'intensità luminosa maggiore della somma delle singole intensità; là dove sì sovrappongono una cresta e un ventre avremo un'intensità minore. Il valore esatto dell'interferenza può essere calcolato facilmente. Fenomeni di interferenza di questo tipo si possono osservare ogni volta che si ha a che fare con la radiazione elettromagnetica e ci obbligano a concludere che questa radiazione consiste di onde.

D'altra parte la radiazione elettromagnetica produce anche il cosiddetto effetto fotoelettrico: la luce ultravioletta incidente sulla superficie di alcuni metalli è in grado di estrarre elettroni dagli strati superficiali del metallo stesso e pertanto deve consistere di particelle in

moto. Una situazione analoga si verifica negli esperimenti di diffusione dei raggi X. Questi esperimenti possono essere interpretati correttamente soltanto se vengono descritti come urti tra « particelle di luce » ed elettroni. Eppure i raggi X producono le figure di interferenza caratteristiche delle onde. Nelle prime fasi dello sviluppo della teoria atomica i fisici si arroellarono a lungo sul problema di come la radiazione elettromagnetica possa contemporaneamente consistere di particelle (cioè di entità confinate in un volume molto piccolo) e di onde, distese in ampie zone dello spazio. Né il linguaggio né l'immaginazione potevano trattare in maniera adeguata questo tipo di realtà.

Il misticismo orientale ha elaborato parecchi modi differenti per affrontare gli aspetti paradossali della realtà. Mentre nell'Induismo questi vengono aggirati ricorrendo al linguaggio mitico, il Buddhismo e il Taoismo tendono a mettere in rilievo i paradossi più che a occultarli. Il testo taoista più importante, il *Tao-tê-ching* di Lao-tzu, è scritto in uno stile estremamente sconcertante e apparentemente illogico. È pieno di contraddizioni che stimolano vivamente l'interesse e il suo linguaggio denso, potente e intensamente poetico si propone di catturare la mente del lettore e di farla uscire dagli abituali binari del ragionamento logico.

I buddhisti cinesi e giapponesi hanno adottato questa tecnica taoista che consiste nel comunicare l'esperienza mistica presentandone semplicemente il carattere paradossale. Il maestro Zen Daito incontrò l'imperatore Godaigo, che era un discepolo Zen, e gli disse:

« Ci siamo lasciati molte migliaia di kalpa* fa, e tuttavia non siamo stati separati nemmeno per un istante. Tutto il giorno ci troviamo faccia a faccia, eppure mai ci siamo incontrati ».

* Cicli cosmici [N.d.T.].

1. D.T. Suzuki, *The Essence of Buddhism*, Hozokan, Kyoto, Japan 1968, p. 26.

I buddhisti Zen hanno una particolare abilità nel trarre vantaggio dalle incoerenze che sorgono nella comunicazione verbale e con il sistema dei *koan* hanno escogitato una via unica per trasmettere il loro insegnamento in modo totalmente non verbale. I *koan* sono problemi oscuri e assurdi, inventati e costruiti con cura appositamente per indurre il discepolo Zen a rendersi conto nel modo più drammatico dei limiti della logica e del ragionamento. La forma irrazionale della enunciazione e il contenuto paradossale di questi problemi rendono impossibile la loro soluzione con il ragionamento. Essi sono concepiti proprio allo scopo di sospendere il processo del pensiero e di rendere quindi il discepolo pronto per l'esperienza non verbale della realtà. Il maestro Zen contemporaneo Yasutani presentò uno dei più famosi *koan* a un discepolo occidentale con le seguenti parole:

« Uno dei migliori *koan*, data la sua estrema semplicità, è il *Mu*. Questi sono i suoi termini: centinaia di anni fa, un monaco andò da Joshu, un famoso maestro Zen in Cina, e gli chiese: " Un cane ha natura-Buddha o no? ". Joshu replicò: " *Mu!* ". Letteralmente, l'espressione significa " no " oppure " non ", ma non è questo il significato della risposta di Joshu. *Mu* è l'espressione della natura-Buddha vivente, attiva, dinamica. Ciò che devi fare è scoprire lo spirito ovvero l'essenza di questo *Mu*, non attraverso l'analisi intellettuale ma con una ricerca nel profondo del tuo essere. Poi dovrai dimostrare, davanti a me, concretamente e vividamente che tu comprendi il *Mu* come verità vivente, senza ricorrere a concezioni, teorie o spiegazioni astratte. Ricorda che non puoi comprendere il *Mu* attraverso cognizioni ordinarie, devi afferrarlo direttamente con tutto il tuo essere ».¹

A un principiante il maestro Zen assegnerà normalmente questo *koan* del *Mu* oppure uno dei seguenti due:

I. Citato in P. Kapleau, op. cit., p. 135.

« Che cosa era la tua faccia originaria, quella che avevi prima che i tuoi genitori ti mettessero al mondo? ».

Puoi produrre il suono di due mani che battono insieme. Ma che cos'è il suono di una mano sola? ».

Tutti questi *koan* hanno soluzioni più o meno univoche che un maestro competente riconosce immediatamente. Una volta che la soluzione è stata trovata, il *koan* cessa di essere paradossale e diventa una frase piena di profondo significato dovuto allo stato di coscienza che esso stesso ha contribuito a risvegliare.

Nella scuola Rinzai, il discepolo deve risolvere una lunga serie di *koan*, ciascuno dei quali riguarda un particolare aspetto dello Zen. Questo è l'unico metodo usato da questa scuola per trasmettere i suoi insegnamenti. Non si serve di alcuna proposizione assertiva, ma lascia interamente al discepolo il compito di afferrare la verità attraverso i *koan*.

Qui troviamo una sorprendente corrispondenza con le situazioni paradossali di fronte alle quali si trovarono i fisici agli inizi dello studio dei fenomeni atomici. Come nello Zen, la verità era nascosta in paradossi che non potevano venir risolti con il ragionamento logico, ma che dovevano essere capiti nei termini di una nuova consapevolezza: la consapevolezza della realtà atomica. In questo caso il maestro era, ovviamente, la natura, la quale, come i maestri Zen, non fornisce asserzioni: si limita a presentare i problemi.

La soluzione di un *koan* richiede uno sforzo supremo di concentrazione e un coinvolgimento totale da parte del discepolo. Nei libri sullo Zen leggiamo che i *koan* afferrano il cuore e la mente del discepolo e creano un vero e proprio vicolo cieco mentale, uno stato di tensione prolungata in cui tutto il mondo diviene un'enorme massa di dubbi e di interrogativi. I fondatori della meccanica quantistica si trovarono esattamente nella stessa situazione, descritta in modo estremamente vivido da Heisenberg:

« Ricordo le discussioni con Bohr che si prolungava-

no per molte ore fino a tarda notte e che ci conducevano quasi a uno stato di disperazione; e quando al termine della discussione me ne andavo da solo a fare una passeggiata nel parco vicino, non potevo fare a meno di ripropormi in continuazione il problema: è possibile che la natura sia così assurda come ci è apparsa in questi esperimenti atomici? ».¹

Tutte le volte che la natura essenziale delle cose è analizzata dall'intelletto, essa non può non apparire assurda e paradossale. Ciò è sempre stato riconosciuto dai mistici, ma solo recentemente è divenuto un problema interno alla scienza. Per secoli, gli scienziati sono andati alla ricerca delle « leggi fondamentali della natura » soggiacenti alla grande varietà dei fenomeni naturali. Questi fenomeni facevano parte dell'ambiente macroscopico degli scienziati e quindi erano direttamente accessibili alla loro esperienza sensoriale. Le immagini e i concetti intellettuali del linguaggio che essi usavano, dato che erano stati tratti da questa stessa esperienza mediante un processo di astrazione, risultavano sufficienti e adeguati per descrivere i fenomeni naturali.

Nella fisica classica, le domande sulla natura essenziale delle cose trovavano risposta nel modello meccanicistico newtoniano dell'universo il quale, in modo molto simile al modello di Democrito nell'antica Grecia, riduceva tutti i fenomeni al moto e all'interazione di atomi duri e indistruttibili. Le proprietà di questi atomi furono ricavate dalla nozione macroscopica di palle da biliardo e quindi dall'esperienza sensoriale diretta. Non ci si chiedeva se questa nozione si potesse effettivamente applicare al mondo atomico. In realtà, questo fatto non poteva essere indagato sperimentalmente.

Nel Novecento, tuttavia, i fisici furono in grado di affrontare sperimentalmente il problema della natura intima della materia. Con l'aiuto di una tecnologia

1. W. Heisenberg. II, ad cit. p. 47.

estremamente raffinata, essi riuscirono a esplorare la natura sempre più in profondità, scoprendo uno dopo l'altro i vari strati della materia, alla ricerca dei suoi

mattoni » elementari. In tal modo fu dapprima verificata l'esistenza dell'atomo, poi vennero scoperti i suoi costituenti – il nucleo e gli elettroni – e infine i componenti del nucleo – i protoni e i neutroni – e molte altre particelle subatomiche.

I delicati e complessi strumenti della fisica sperimentale moderna penetrano in profondità nel mondo sub-microscopico, rivelando aspetti della natura del tutto estranei al nostro ambiente macroscopico e rendono quel mondo accessibile ai nostri sensi. Riescono, tuttavia, a renderlo accessibile solo attraverso una catena di processi che terminano, per esempio, nel « clic » udibile di un contatore Geiger, o in una macchia scura su una lastra fotografica. Ciò che noi vediamo o sentiamo non è mai direttamente il fenomeno che abbiamo indagato, ma sempre soltanto qualcuna delle sue conseguenze. Il mondo atomico e subatomico sta al di là delle nostre percezioni sensoriali.

Con l'aiuto delle moderne apparecchiature siamo dunque in grado di « osservare » in maniera indiretta le proprietà degli atomi e dei loro costituenti, e quindi, sia pure limitatamente, di « esperire » il mondo subatomico. Non si tratta, tuttavia, di un'esperienza ordinaria, confrontabile con quella del nostro ambiente quotidiano. A questo livello, la conoscenza della materia non è più ricavabile dall'esperienza sensoriale diretta e perciò il nostro linguaggio ordinario, che trae le sue immagini dal mondo dei sensi, non è più adeguato a descrivere i fenomeni osservati. A mano a mano che penetriamo più profondamente nella natura, siamo costretti via via ad abbandonare le immagini e i concetti del linguaggio ordinario.

In questo viaggio nel mondo dell'infinitamente piccolo, il passo più importante, da un punto di vista filosofico, fu il primo: quello che penetrò nel mondo degli atomi. Esplorando l'interno dell'atomo e studiandone la

struttura, la scienza oltrepassò i limiti della nostra immaginazione sensoriale. Da questo punto in poi, essa non poteva più affidarsi con assoluta certezza alla logica e al senso comune. La fisica atomica consentì agli scienziati di dare un primo rapido sguardo nella natura essenziale delle cose. Come i mistici, i fisici ora avevano a che fare con un'esperienza non sensoriale della realtà e, come quelli, dovevano affrontare gli aspetti paradossali di questa esperienza. Da quel momento in avanti, quindi, i modelli e le immagini della fisica moderna divennero simili a quelli della filosofia orientale.

4. LA NUOVA FISICA

Secondo i mistici orientali, l'esperienza mistica diretta della realtà è un evento di grande importanza che scuote nelle persone che la sperimentano le basi stesse della loro concezione del mondo. D.T. Suzuki l'ha definita « l'evento più sorprendente che possa avvenire nella coscienza umana... che sconvolge ogni forma di esperienza codificata », e ha illustrato l'effetto dirompente di questa esperienza con le parole di un maestro Zen che la descrive come « il fondo di un secchio che si sfonda ».

I fisici, all'inizio di questo secolo, provarono una sensazione molto simile a questa quando i fondamenti della loro concezione del mondo furono scossi dalla nuova esperienza della realtà atomica e descrissero questa esperienza con parole che spesso sono molto simili a quelle usate dal maestro Zen citato da Suzuki. Ad esempio, Heisenberg scrisse:

La violenta reazione ai recenti sviluppi della fisica moderna può essere compresa soltanto se ci si rende

conto che questa volta hanno cominciato a cedere i fondamenti stessi della fisica; e che questo movimento ha prodotto la sensazione che sarebbe stata tagliata la base su cui poggiava la scienza ».¹

Einstein provò la stessa impressione sconvolgente quando venne a contatto per la prima volta con la nuova realtà della fisica atomica. Egli scrisse nella sua autobiografia:

« Tutti i miei tentativi di adattare i fondamenti teorici della fisica a queste (nuove) acquisizioni fallirono completamente. Era come se ci fosse mancata la terra sotto i piedi, e non si vedesse da nessuna parte un punto fermo su cui poter costruire ».²

Le scoperte della fisica moderna rendevano indispensabili profondi cambiamenti in concetti quali spazio, tempo, materia, oggetto, causa ed effetto, ecc., e poiché questi concetti sono fondamentali per il nostro modo di conoscere il mondo, non sorprende che i fisici, quando furono costretti a modificarli, si sentissero profondamente disorientati. Da questi mutamenti emergeva una concezione del mondo nuova e radicalmente diversa, che è ancora in corso di formazione a opera della ricerca scientifica corrente.

Sembra quindi che i mistici orientali e i fisici occidentali siano passati attraverso esperienze rivoluzionarie analoghe, che li hanno condotti a modi completamente nuovi di vedere il mondo. Nelle due seguenti citazioni, il fisico europeo Niels Bohr e il mistico indiano Shri Aurobindo esprimono entrambi la profondità e la radicalità di questa esperienza.

« L'enorme ampliamento della nostra esperienza verificatosi negli ultimi anni ha messo in luce l'insufficien-

1. W. Heisenberg, trad. cit., p. 167.

2. Paul A. Schilpp, a cura di, *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, The Library of Living Philosophers, Evanston, I11. 1949, p. 45 [trad. it. *Albert Einstein scienziato e filosofo*, Boringhieri, Torino 1958, p. 25].

za delle nostre ingenue concezioni meccanicistiche e, di conseguenza, ha scosso i fondamenti su cui si fondava l'ordinaria interpretazione dei fenomeni osservati ».¹

In effetti tutte le cose cominciano a modificare la loro natura e il loro aspetto; l'intera esperienza che si ha del mondo è radicalmente diversa... Si apre una nuova via, ampia e profonda, per sperimentare, vedere, conoscere, entrare in contatto con le cose ».²

Questo capitolo si propone di tracciare a grandi linee un quadro preliminare della nuova concezione del mondo sullo sfondo contrastante della fisica classica³ mostrando come la concezione meccanicistica classica dovette essere abbandonata agli inizi di questo secolo, quando la meccanica quantistica e la teoria della relatività – le due teorie fondamentali della fisica moderna – ci costrinsero ad adottare una concezione della natura molto più raffinata, olistica e « organicistica ».

LA FISICA CLASSICA

La concezione del mondo che fu trasformata dalle scoperte della fisica moderna era stata costruita sulla base del modello meccanicistico newtoniano dell'universo che costituiva la struttura portante della fisica classica. Si trattava in effetti di una fondazione veramente formidabile, che sorreggeva graniticamente tutta la scienza e che per quasi tre secoli offrì una solida base alla filosofia naturale.

Lo scenario dell'universo newtoniano nel quale ave-

1. N. Bohr, *Atomic Physics and the Description of Nature*, Cambridge University Press, Cambridge, 1934, p. 2.

2. S. Aurobindo, *On Yoga II*, Aurobindo Ashram Press, Pondicherry, India 1958, vol. I, p. 327.

3. Il lettore che trovasse questa presentazione della fisica moderna troppo concisa e difficile da comprendere, non deve preoccuparsene eccessivamente. Tutti i concetti di cui si parla in questo capitolo verranno discussi con maggiore ampiezza più avanti.

vano luogo tutti i fenomeni fisici era lo spazio tridimensionale della geometria euclidea classica: uno spazio assoluto, sempre immobile e immutabile. Secondo le parole di Newton: « Lo spazio assoluto, per sua stessa natura senza relazione ad alcunché di esterno, rimane sempre uguale e immobile ».¹ Tutti i mutamenti che si verificano nel mondo fisico erano descritti in funzione di una dimensione separata, chiamata tempo, anch'essa assoluta, che non aveva alcun legame con il mondo materiale e che fluiva uniformemente dal passato al futuro, attraverso il presente. « Il tempo assoluto, vero, matematico, » disse Newton « in sé e per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, scorre uniformemente ».²

Gli elementi del mondo newtoniano che si muovevano in questo spazio e in questo tempo assoluti erano le particelle materiali. Nelle equazioni matematiche queste venivano trattate come « punti materiali » e Newton le considerava oggetti piccoli, solidi e indistruttibili dei quali era costituita tutta la materia. Questo modello era del tutto simile a quello degli atomisti greci. Tutti e due erano basati sulla distinzione tra pieno e vuoto, tra materia e spazio, e in entrambi i modelli le particelle rimanevano sempre identiche a se stesse in massa e forma; perciò la materia era sempre conservata ed essenzialmente inerte. La differenza importante che c'è tra l'atomismo di Democrito e quello di Newton è che quest'ultimo contiene una precisa descrizione della forza che agisce tra le particelle materiali: si tratta di una forza molto semplice, che dipende solo dalle masse e dalla reciproca distanza tra le particelle. Secondo Newton, questa forza, cioè la forza di gravità, era strettamente connessa ai corpi sui quali agiva e la sua azione si

I Citato in M. Capek, *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*, 1). Van Nostrand, Princeton, N.J. 1961, p. 7 [si veda I. Newton, *Principi matematici della filosofia naturale*, trad. di A. Pala, Utet, Torino 1965, p. 102].

2. *Ibid.*, p. 36 [trad. cit., p. 101].

manifestava istantaneamente a qualsiasi distanza. Sebbene quest'ultima fosse un'ipotesi abbastanza singolare, non fu indagata ulteriormente. Si riteneva che le particelle e le forze che agivano tra esse fossero state create da Dio, e che quindi non si potessero sottoporre a ulteriori analisi. Nella sua *Ottica*, Newton ci fornisce una chiara descrizione di come egli immagina sia avvenuta la creazione del mondo materiale da parte di Dio:

« Mi sembra probabile che Dio al principio abbia creato la materia sotto forma di particelle solide, compatte, dure, impermeabili e mobili, dotate di tali dimensioni e forme, di tali proprietà e di tali proporzioni rispetto allo spazio, da essere le più adatte per il fine per il quale egli le aveva create; e che queste particelle originarie, essendo solide, siano incomparabilmente più dure di qualsiasi corpo poroso da esse composto; anzi tanto perfettamente dure, da non poter mai consumarsi o infrangersi: nessuna forza comune essendo in grado di dividere ciò che Dio, al momento della creazione, ha fatto uno ».¹

Nella meccanica di Newton, tutti gli eventi fisici sono ridotti al moto di punti materiali nello spazio, moto causato dalla loro reciproca attrazione, cioè dalla forza di gravità. Per esprimere in una forma matematica precisa l'effetto di questa forza su un punto materiale, Newton dovette inventare concetti e tecniche matematiche completamente nuovi, i concetti e le tecniche del calcolo differenziale. Questo fu un successo intellettuale talmente straordinario da spingere Einstein ad affermare che esso è « forse il più grande progresso nel pensiero che un singolo individuo sia mai stato capace di compiere ».

Le equazioni di Newton relative al moto dei corpi

1. In M.P. Crosland, a cura di, *The Science of Matter*, History of Science Readings, Penguin Books, Baltimore, Md. 1971, p. 76 [si veda I. Newton, *Scritti di ottica*, a cura di A. Pala, libro 3, parte 1, questione 31, Utet, Torino 1978, p. 6001].

sono la base della meccanica classica; esse furono considerate le leggi immutabili secondo le quali si muovono i punti materiali e si pensò quindi che potessero spiegare tutti i mutamenti osservati nel mondo fisico. Secondo Newton, all'inizio Dio creò le particelle materiali, le forze che agiscono tra esse e le leggi fondamentali del moto. In questo modo tutto l'universo fu posto in movimento e da allora ha continuato a funzionare, come una macchina, governato da leggi immutabili.

La concezione meccanicistica della natura è quindi in stretto rapporto con un determinismo rigoroso. La gigantesca macchina cosmica era considerata completamente causale e determinata. Tutto ciò che avveniva aveva una causa definita e dava luogo a un effetto definito e, in linea di principio, si sarebbe potuto prevedere con assoluta certezza il futuro di una parte qualsiasi del sistema se si fosse conosciuto in un qualsiasi istante il suo stato in tutti i suoi particolari. Questa convinzione trovò la sua espressione più chiara nelle famose parole del matematico francese Pierre-Simon de Laplace:

« Un'Intelligenza che, ad un dato istante, conoscesse tutte le forze da cui è animata la natura e la situazione rispettiva degli esseri che la compongono, se per di più fosse abbastanza profonda per sottomettere questi dati all'analisi, abbraccerebbe nella stessa formula i movimenti dei più grandi corpi dell'universo e dell'atomo più leggero: nulla sarebbe incerto per essa e l'avvenire, come il passato, sarebbe presente ai suoi occhi ».¹

La base filosofica di questo determinismo rigoroso era la fondamentale divisione tra l'Io e il mondo introdotta da Cartesio. Come conseguenza di questa divisione, si riteneva che il mondo potesse essere descritto oggettivamente, cioè senza tener mai conto dell'osservatore umano, e tale descrizione oggettiva del mondo divenne l'ideale di tutta la scienza.

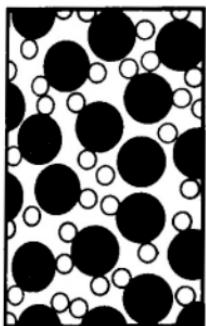
1. Citato in M. Capek, *op. cit.*, p. 122 [si veda P.-S. de Laplace, *Opere*, Utet, Torino 1967, p. 243].

Nel Settecento e nell'Ottocento si assisté a un enorme successo della meccanica newtoniana. Newton stesso applicò la sua teoria al moto dei pianeti e riuscì a spiegare le caratteristiche fondamentali del sistema solare. Tuttavia il suo modello planetario era estremamente semplificato – vi era trascurata, per esempio, l'influenza gravitazionale tra i pianeti – cosicché ne risultavano alcune irregolarità che Newton non riusciva a spiegare. Egli risolse questo problema supponendo che Dio fosse sempre presente nell'universo per correggere tali irregolarità.

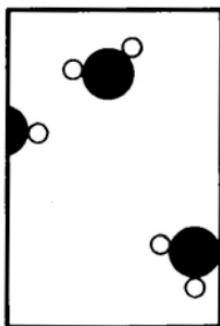
Il grande matematico Laplace si propose l'ambizioso compito di affinare e perfezionare i calcoli di Newton in un libro che avrebbe dovuto « offrire una soluzione completa dell'enorme problema di meccanica presentato dal sistema solare e portare la teoria a coincidere così strettamente con l'osservazione che le equazioni empiriche non avrebbero più dovuto trovare posto nelle tavole astronomiche ».1 Il risultato fu un ampio lavoro in cinque volumi, intitolato *Traité de mécanique céleste*, nel quale Laplace riuscì a spiegare i moti dei pianeti, della luna e delle comete fin nei minimi particolari, come pure il flusso delle maree e altri fenomeni legati alla gravità. Egli mostrò che le leggi del moto formulate da Newton assicuravano la stabilità del sistema solare e tratto l'universo come una macchina capace di autoregolarsi perfettamente. Si racconta che quando Laplace presentò la prima edizione del suo lavoro a Napoleone, questi osservò: « Signor Laplace, mi dicono che avete scritto questo grande libro sul sistema dell'universo e non avete mai menzionato il suo Creatore ». A queste parole Laplace replicò seccamente: « Non ho avuto bisogno di quest'ipotesi ».

Incoraggiati dal brillante successo della meccanica newtoniana in astronomia, i fisici la applicarono anche al moto continuo dei fluidi e alle vibrazioni dei corpi

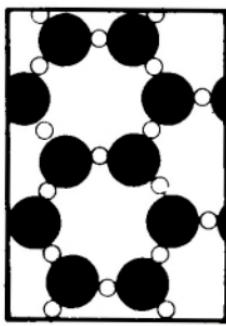
1. Citato in J. Jeans, *The Growth of Physical Science*, Cambridge University Press, Cambridge 1951, p. 237.



acqua



vapore



ghiaccio

elastici, e ancora una volta essa servì allo scopo. Infine, anche la teoria del calore poté essere ridotta alla meccanica quando si capì che il calore è l'energia associata a un complicato moto di « agitazione » delle molecole. Per esempio, aumentando la temperatura dell'acqua, aumenta anche il moto di agitazione delle molecole finché a un certo punto esse vincono le forze che le tengono unite insieme e volano via: in tal modo l'acqua si trasforma in vapore. Quando viceversa, raffreddando l'acqua, si rallenta il moto di agitazione termica, alla fine le molecole si stringono in una nuova e più rigida configurazione spaziale, e questo è il ghiaccio. In modo analogo molti altri fenomeni termici possono essere spiegati benissimo da un punto di vista puramente meccanicistico.

Lo straordinario successo del modello meccanicistico fece nascere nei fisici dell'inizio dell'Ottocento la convinzione che l'universo fosse in realtà un enorme sistema meccanico che funzionava secondo le leggi del moto di Newton. Queste leggi furono viste come le leggi fondamentali della natura e la meccanica di Newton venne considerata la teoria definitiva dei fenomeni naturali. Tuttavia, meno di cento anni più tardi fu scoperta una nuova realtà fisica che rese evidenti i limiti del modello newtoniano e mostrò che nessuno dei suoi aspetti aveva validità assoluta.

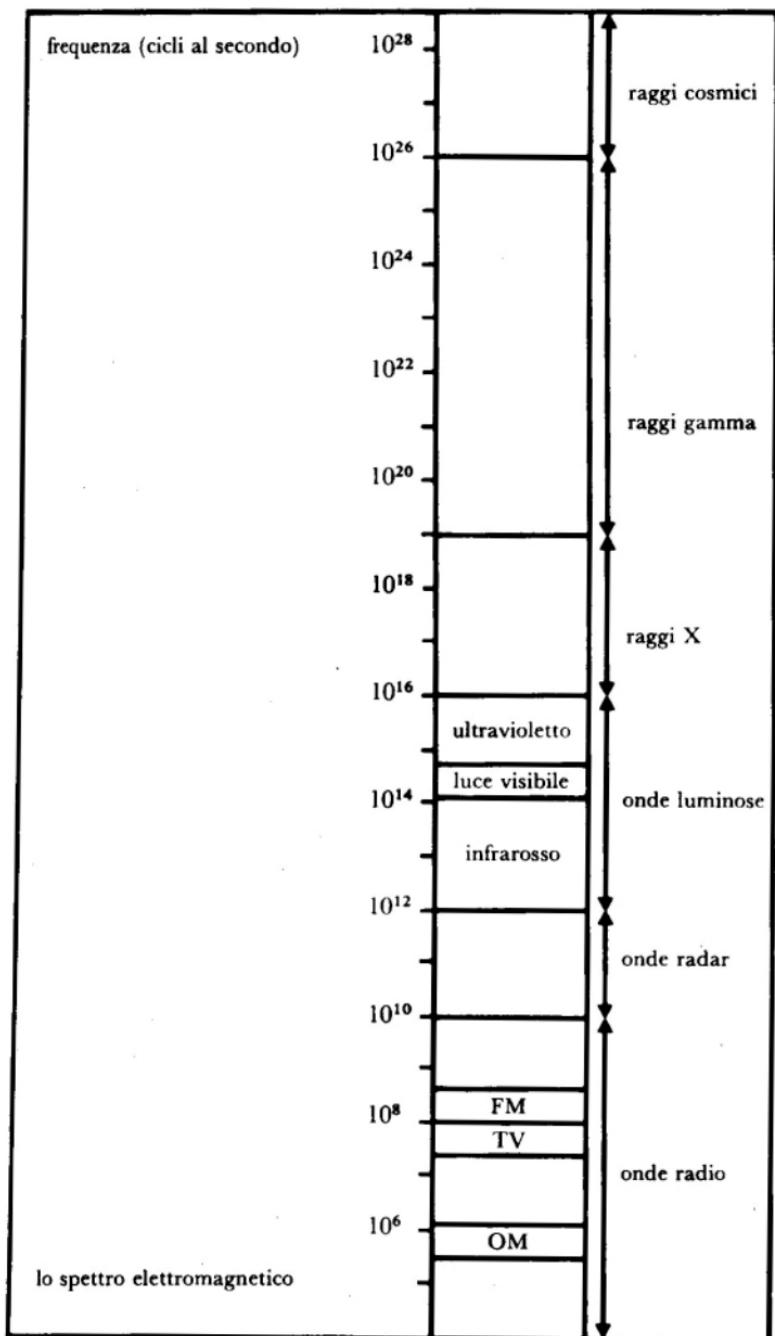
Questa presa di coscienza non si verificò improvvi-

samente, ma fu avviata da avvenimenti che erano già iniziati nel diciannovesimo secolo e che prepararono la strada alle rivoluzioni scientifiche del nostro tempo. Il primo di questi avvenimenti fu la scoperta e lo studio dei fenomeni elettrici e magnetici, che non potevano essere descritti adeguatamente dal modello meccanicistico, e comportavano l'esistenza di un nuovo tipo di forza. Il passo importante fu compiuto da Michael Faraday, uno dei più grandi sperimentatori in tutta la storia della scienza, e da Clerk Maxwell, un brillante teorico. Quando Faraday, muovendo una calamita vicino a una bobina di rame, produsse in essa una corrente elettrica, convertendo così in energia elettrica il lavoro meccanico necessario per muovere la calamita, egli portò la scienza e la tecnologia a una svolta decisiva. Il suo esperimento fondamentale da una parte dette l'avvio alla vasta tecnologia dell'ingegneria elettrica e, dall'altra costituì la base dei successivi sviluppi teorici suoi e di Maxwell che, alla fine, diedero luogo a una teoria completa dell'elettromagnetismo. Faraday e Maxwell non solo studiarono gli effetti delle forze elettriche e magnetiche, ma fecero delle forze stesse l'oggetto principale della loro ricerca. Essi sostituirono il concetto di forza con quello di campo di forze, e nel fare ciò furono i primi a spingersi oltre i confini della fisica newtoniana.

Invece di interpretare l'interazione tra una carica positiva e una negativa dicendo semplicemente che le due cariche si attraggono tra loro come avviene per due masse nella meccanica newtoniana, Faraday e Maxwell trovarono più appropriato dire che ogni carica crea nello spazio circostante « una perturbazione », o una

condizione », tale che un'altra carica, se presente, avverte una forza. Questa condizione dello spazio che ha la capacità di produrre una forza è chiamata campo. Essa è generata da una singola carica ed esiste indipendentemente dal fatto che un'altra carica sia o meno presente nel campo e ne avverto l'effetto.

Era un mutamento profondissimo della concezione della realtà fisica da parte dell'uomo. Nella visione newto-



niana, le forze erano rigidamente connesse ai corpi sui quali agivano. Ora il concetto di forza veniva sostituito da quello, molto più sottile, di campo, il quale aveva una sua propria realtà e poteva essere studiato senza alcun riferimento ai corpi materiali. Il punto più alto raggiunto da questa teoria, chiamata elettrodinamica, fu la comprensione del fatto che la luce non è altro che un campo elettromagnetico rapidamente alternante e che si sposta nello spazio sotto forma di onda. Oggi sappiamo che le onde radio, le onde luminose o i raggi X, sono tutte onde elettromagnetiche, cioè campi elettrici e magnetici oscillanti che differiscono soltanto nella frequenza di oscillazione, e che la luce visibile è solo una piccola frazione dello spettro elettromagnetico.

Nonostante questi mutamenti che aprivano nuovi orizzonti, la meccanica newtoniana mantenne inizialmente la sua posizione come fondamento di tutta la fisica. Maxwell stesso cercò di dare una spiegazione meccanicistica ai propri risultati, interpretando i campi come stati di tensione meccanica in un mezzo molto leggero, chiamato etere, che riempiva tutto lo spazio, e le onde elettromagnetiche come onde elastiche di questo etere. Ciò era del tutto naturale in quanto le onde vengono normalmente percepite come vibrazioni di qualcosa di materiale: le onde nell'acqua come vibrazioni dell'acqua, le onde sonore come vibrazioni dell'aria. Tuttavia, Maxwell fece uso contemporaneamente di diverse interpretazioni meccaniche della sua teoria e manifestamente non ne prese alcuna in seria considerazione. Egli doveva aver compreso intuitivamente, anche se non lo espresse in maniera del tutto esplicita, che le entità fondamentali della sua teoria erano i campi e non i modelli meccanici. Fu Einstein a riconoscere chiaramente questo tatto cinquant'anni dopo, quando dichiarò che non esisteva alcun etere e che i campi elettromagnetici erano vere e proprie entità fisiche, che potevano spostarsi attraverso lo spazio vuoto e non potevano essere spiegate meccanicamente.

All'inizio del Novecento, dunque, i fisici disponevano

di due teorie valide, capaci di spiegare fenomeni differenti: la meccanica di Newton e l'elettrodinamica di Maxwell; di conseguenza, il modello newtoniano non costituiva più la base di tutta la fisica.

LA FISICA MODERNA

I primi tre decenni del nostro secolo cambiarono radicalmente l'intera situazione della fisica. Due sviluppi verificatisi separatamente — quello della teoria della relatività e quello della fisica atomica — infransero tutti i più importanti elementi della concezione newtoniana del mondo: la nozione di spazio e di tempo assoluti e quella di particelle solide elementari, la natura strettamente causale dei fenomeni fisici e l'ideale di una descrizione oggettiva della natura. Nessuno di questi elementi poteva essere applicato ai nuovi ambiti in cui allora la fisica stava penetrando.

Agli inizi della fisica moderna si erge la straordinaria impresa intellettuale di un solo uomo: Albert Einstein. Con due articoli, pubblicati entrambi nel 1905, Einstein avviò due linee di pensiero rivoluzionarie: la prima era la sua teoria della relatività speciale, l'altra era un nuovo modo di concepire la radiazione elettromagnetica che in seguito avrebbe caratterizzato la meccanica quantistica, la teoria dei fenomeni atomici. Nella sua forma completa, la meccanica quantistica venne elaborata vent'anni dopo, con il contributo di un intero gruppo di fisici; invece, la teoria della relatività fu costruita quasi completamente dal solo Einstein. Gli scritti scientifici di Einstein si innalzano all'inizio del Novecento come imponenti monumenti intellettuali, piramidi della civiltà moderna.

Einstein era profondamente convinto dell'armonia della natura e lo scopo che si propose con maggiore impegno nel corso di tutta la sua attività scientifica fu quello di trovare una fondazione unificata della fisica. Egli cominciò a muoversi in questa direzione costruen-

do una struttura teorica comune per l'elettrodinamica e per la meccanica, le due teorie distinte della fisica classica. Questa struttura, nota come teoria della relatività speciale, unificava e completava la fisica classica, ma nello stesso tempo comportava drastici cambiamenti nei concetti tradizionali di spazio e di tempo e minava alla base uno dei pilastri della concezione newtoniana del mondo.

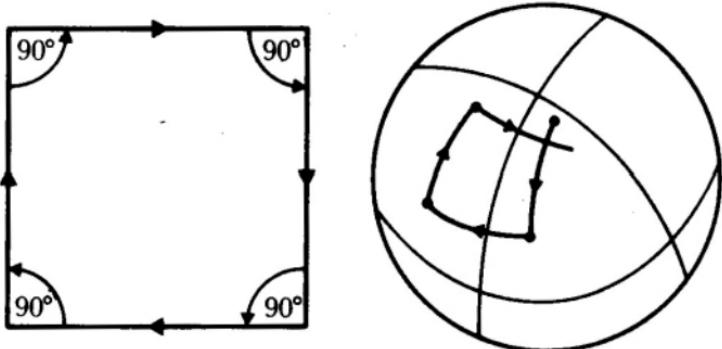
Secondo la teoria della relatività, lo spazio non è tridimensionale e il tempo non è un'entità separata. Essi sono strettamente connessi e formano un continuo quadridimensionale, lo « spazio-tempo ». Perciò, nella teoria della relatività non si può mai parlare dello spazio senza parlare del tempo e viceversa. Inoltre non esiste un flusso universale del tempo come nel modello newtoniano. Osservatori differenti, che si muovano con differenti velocità relative rispetto agli eventi osservati, ordineranno questi ultimi secondo una diversa successione temporale. In tal caso, due eventi che un osservatore vede come simultanei possono avvenire in una diversa successione temporale per altri osservatori. Tutte le misure in cui entrano lo spazio e il tempo perdono quindi il loro significato assoluto. Nella teoria della relatività vengono abbandonati sia il concetto newtoniano di spazio assoluto inteso come scenario immutabile dei fenomeni fisici, sia il concetto di tempo assoluto. Lo spazio e il tempo diventano soltanto elementi del linguaggio che un particolare osservatore usa per descrivere i fenomeni dal proprio punto di vista.

I concetti di spazio e di tempo sono talmente fondamentali per la descrizione dei fenomeni naturali che una loro modifica comporta una trasformazione dell'intero schema teorico di cui ci serviamo per rappresentare la natura. La principale conseguenza di tale trasformazione è di aver capito che la massa non è altro che una forma di energia. Anche un oggetto in quiete possiede energia immagazzinata nella sua massa e la relazione tra massa ed energia è data dalla famosa equazione $E = mc^2$, dove c è la velocità della luce.

Questa costante c , la velocità della luce, è di fondamentale importanza per la teoria della relatività. Ogni volta che abbiamo a che fare con fenomeni fisici che comportano velocità prossime a quella della luce, la nostra descrizione deve tener conto della teoria della relatività. Ciò vale in particolare per i fenomeni elettromagnetici, dei quali appunto la luce è un esempio e che condussero Einstein alla formulazione della sua teoria.

Nel 1915, Einstein propose la sua teoria della relatività generale, nella quale lo schema della relatività speciale è ampliato sino a tener conto della gravità, cioè dell'attrazione reciproca tra tutti i corpi dotati di massa. Mentre la teoria della relatività speciale è stata confermata da innumerevoli esperimenti, la teoria della relatività generale non è stata ancora confermata in modo definitivo. Tuttavia, essa è fino ad oggi la teoria della gravità più accettata, più coerente e più elegante e viene ampiamente usata in astrofisica e in cosmologia per la descrizione dell'universo su larga scala.

La forza di gravità, secondo la teoria di Einstein, ha l'effetto di « curvare » lo spazio e il tempo. Ciò significa che l'ordinaria geometria euclidea non è più valida in questo spazio curvo, proprio come la geometria bidimensionale di un piano non può essere applicata alla superficie di una sfera. Per esempio, per disegnare un quadrato su una superficie piana possiamo cominciare a tracciare un segmento di retta lungo un metro, poi compiere un angolo retto e tracciare nella nuova direzione un secondo segmento lungo un metro. Dopo aver ripetuto altre due volte queste operazioni, ci troveremo al punto di partenza e avremo completato il quadrato. Su una sfera, però, questo procedimento non funziona perché i principi della geometria euclidea non valgono per le superfici curve. Nello stesso modo, possiamo definire uno spazio tridimensionale curvo come uno spazio in cui non è più valida la geometria euclidea. La teoria di Einstein ci dice ora che lo spazio tridimensionale è effettivamente curvo e che la curvatura è causata dal campo gravitazionale dei corpi dotati di massa. Ovun-



Come si traccia un quadrato su un piano e su una sfera.

que sia presente una massa, ad esempio una stella o un pianeta, lo spazio circostante è curvo e il grado di curvatura dipende dalla massa dell'oggetto. E poiché nella teoria della relatività lo spazio non può mai essere separato dal tempo, anche il tempo è influenzato dalla presenza della materia e scorre dunque con ritmi differenti in punti diversi dell'universo. La teoria della relatività generale di Einstein abolisce quindi completamente i concetti di spazio e di tempo assoluti. Non solo tutte le misure riguardanti lo spazio e il tempo sono relative, ma l'intera struttura dello spazio-tempo dipende dalla distribuzione della materia nell'universo e il concetto di « spazio vuoto » perde significato.

La concezione meccanicistica del mondo della fisica classica era basata sulla nozione di corpi solidi che si muovono nello spazio vuoto. Questa nozione è ancora valida nella regione che è stata chiamata la « zona delle medie dimensioni », vale a dire nel campo della nostra esperienza quotidiana, dove la fisica classica continua a essere una teoria utile. Sia il concetto di spazio vuoto sia quello di corpi materiali solidi sono profondamente radicati nel nostro modo di pensare, cosicché per noi è estremamente difficile immaginare una realtà fisica nella quale essi non siano più validi. Eppure è proprio ciò

che la fisica moderna ci costringe a fare quando andiamo oltre le dimensioni medie. Non ha più senso parlare di « spazio vuoto » in astrofisica e in cosmologia, le scienze dell'universo su larga scala, mentre il concetto di corpo solido è stato spazzato via dalla fisica atomica, la scienza dell'infinitamente piccolo.

Al volgere del secolo, furono scoperti numerosi fenomeni in rapporto alla struttura degli atomi e inspiegabili in termini di fisica classica. Il primo indizio del fatto che gli atomi avevano una struttura interna venne fornito dalla scoperta dei raggi X, una nuova radiazione che fu rapidamente impiegata nelle ormai ben note applicazioni in campo medico. Ma i raggi X non sono l'unica radiazione emessa dagli atomi e, subito dopo la loro scoperta, vennero trovati altri tipi di radiazioni emesse dagli atomi delle cosiddette sostanze radioattive. Il fenomeno della radioattività diede una prova definitiva della natura composta degli atomi, mostrando che gli atomi delle sostanze radioattive non solo emettono vari tipi di radiazione, ma si trasformano anche in atomi di sostanze completamente differenti.

Oltre a essere oggetto di intensi studi, questi fenomeni furono anche usati nei modi più ingegnosi come nuovi strumenti per indagare nella materia più in profondità di quanto non fosse stato mai possibile prima. Così Max von Laue usò i raggi X per studiare la disposizione degli atomi nei cristalli, e Ernest Rutherford si rese conto che le cosiddette particelle alfa emesse dalle sostanze radioattive erano proiettili ad alta velocità e di dimensioni subatomiche, utilizzabili per esplorare l'interno dell'atomo: potevano essere lanciate contro gli atomi e dal modo in cui ne fossero state deviate si sarebbero potute trarre conclusioni sulla struttura degli atomi stessi.

Quando provò a bombardare gli atomi con le particelle alfa, Rutherford ottenne risultati sensazionali e del tutto inaspettati. Ben lungi dall'essere particelle dure e solide come si riteneva fin dall'antichità, gli atomi risultarono costituiti da una vasta regione di spazio nella quale particelle estremamente piccole — gli elettroni — si

muovevano attorno al nucleo, legati a esso da forze elettriche. Non è facile avere un'idea dell'ordine di grandezza degli atomi, tanto essa è lontana dalla nostra scala macroscopica. Il diametro di un atomo è circa un centesimo di milionesimo di centimetro. Per visualizzare questo minuscolo oggetto, immaginate un'arancia che cresca fino a raggiungere le dimensioni della Terra. A questo punto, gli atomi dell'arancia sarebbero grandi come ciliegie. Miriadi di ciliegie, strettamente impacchettate in un globo delle dimensioni della Terra: ecco una immagine ingrandita degli atomi di un'arancia.

Un atomo, quindi, è estremamente piccolo rispetto agli oggetti macroscopici. Tuttavia è enorme se confrontato con il suo nucleo, che sta al centro. Nella nostra immagine degli atomi-ciliegie, il nucleo di un atomo sarebbe così piccolo che non potremmo vederlo. Se facessimo crescere l'atomo fino alle dimensioni di un pallone da calcio, o anche fino alle dimensioni di una stanza, il nucleo sarebbe ancora troppo piccolo per essere visibile a occhio nudo. Per poter vedere il nucleo dovremmo far crescere l'atomo fino alle dimensioni della più grande cupola del mondo, quella della basilica di San Pietro a Roma. In un atomo di quelle dimensioni, il nucleo sarebbe grande quanto un grano di sale! Un grano di sale nel centro della cupola di San Pietro e granelli di polvere che gli turbinano intorno nell'enorme vastità della cupola: in questo modo possiamo raffigurarci il nucleo e gli elettroni di un atomo.

Subito dopo la nascita di questo modello « planetario » dell'atomo, si scoprì che il numero di elettroni presenti negli atomi di un elemento ne determina le proprietà chimiche, e oggi sappiamo che può essere ricostruita l'intera tavola periodica degli elementi aggiungendo successivamente protoni e neutroni al nucleo dell'atomo più leggero, quello dell'idrogeno,¹ e il corri-

1. L'atomo di idrogeno è formato solamente da un protone e da un elettrone.

spondente numero di elettroni al suo « guscio » atomico. Le interazioni tra gli atomi danno luogo ai vari processi chimici, cosicché in linea di principio è oggi possibile comprendere tutta la chimica sulla base delle leggi della fisica atomica.

Queste leggi tuttavia non furono facili da riconoscere: esse vennero scoperte negli anni Venti da un gruppo internazionale di fisici che comprendeva il danese Niels Bohr, il francese Louis de Broglie, gli austriaci Erwin Schrödinger e Wolfgang Pauli, il tedesco Werner Heisenberg e l'inglese Paul Dirac. Questi uomini unirono le loro forze al di là di tutte le frontiere nazionali e diedero vita a uno dei periodi più eccitanti della scienza moderna, che portò l'uomo, per la prima volta, a contatto con la strana e inaspettata realtà del mondo subatomico. Ogni volta che i fisici interrogavano la natura mediante un esperimento atomico, la natura rispondeva con un paradosso, e quanto più essi cercavano di chiarire la situazione, tanto più acuto diventava il paradosso. Occorse molto tempo prima che i fisici accettassero l'idea che questi paradossi appartengono alla struttura stessa della fisica atomica e si rendessero conto che tali paradossi ricompaiono ogni volta che si tenta di descrivere un evento atomico nei termini tradizionali della fisica. Non appena compresero questo, essi cominciarono a imparare a porre le domande giuste e a evitare le contraddizioni. Secondo le parole di Heisenberg, « essi entrarono in qualche modo nello spirito della teoria quantistica », e infine trovarono la formulazione matematica precisa e coerente di questa teoria.

I concetti della meccanica quantistica non erano facili da accettare, anche dopo che ne fu completata la formulazione matematica. Il loro effetto sull'immaginazione dei fisici era veramente sconvolgente. Gli esperimenti di Rutherford avevano mostrato che gli atomi, invece di essere duri e indistruttibili, consistevano di vaste regioni di spazio nelle quali si muovevano particelle estremamente piccole, e ora la meccanica quantistica chiariva che anche queste particelle non erano affatto simili agli

oggetti solidi della fisica classica. Le unità subatomiche della materia sono entità molto astratte che presentano un carattere duale. A seconda di come le osserviamo, ora esse sembrano particelle, ora onde; e questa natura duale è presente anche nella luce, che può assumere l'aspetto di onde elettromagnetiche o di particelle.

Questa proprietà della materia e della luce è assai strana. Sembra impossibile accettare che qualcosa possa essere, nello stesso tempo, una particella – cioè un'en-



tità confinata in un volume molto piccolo – e un'onda, che si estende su un'ampia regione di spazio. Questa contraddizione dette origine alla maggior parte dei paradossi di tipo *koan* che infine condussero alla formulazione della teoria dei quanti. L'intero processo ebbe inizio quando Max Planck scoprì che l'energia della radiazione termica non è emessa in maniera continua, ma si presenta sotto forma di « pacchetti di energia ». Einstein chiamò « quanti » questi pacchetti di energia e riconobbe in essi un aspetto fondamentale della natura. Egli fu tanto ardito da postulare che la luce e tutte le altre forme di radiazione elettromagnetica possono presentarsi non solo come onde elettromagnetiche ma anche sotto forma di quanti. I quanti di luce, che dettero il nome alla meccanica quantistica, sono stati in seguito accettati come particelle vere e proprie e ora vengono chiamati fotoni. Ma si tratta di particelle di tipo speciale, prive di massa e sempre in moto alla velocità della luce.

L'apparente contraddizione tra la rappresentazione corpuscolare e quella ondulatoria fu risolta in un modo del tutto inaspettato che mise in discussione il fondamento stesso della concezione meccanicistica del mondo: il concetto di realtà della materia. A livello subato-

mico, la materia non si trova con certezza in luoghi ben precisi, ma mostra piuttosto una « tendenza a trovarsi » in un determinato luogo, e gli eventi atomici non avvengono con certezza in determinati istanti e in determinati modi, ma mostrano una « tendenza ad avvenire ». Nel formalismo della meccanica quantistica, queste tendenze sono espresse come probabilità e sono associate a quantità matematiche che prendono la forma di onde; ecco perché le particelle possono essere allo stesso tempo onde. Esse non sono onde tridimensionali « reali », come le onde sonore o le onde nell'acqua, ma sono « onde di probabilità », quantità matematiche astratte che hanno tutte le proprietà caratteristiche delle onde e sono legate alle probabilità di trovare le particelle in particolari punti dello spazio e in particolari istanti di tempo. Tutte le leggi della fisica atomica sono espresse in funzione di queste probabilità. Non possiamo mai prevedere con certezza un evento atomico: possiamo solo dire quanto è probabile che esso avvenga.

La meccanica quantistica ha quindi demolito i concetti classici di oggetti solidi e di leggi rigorosamente deterministiche della natura. A livello subatomico, gli oggetti materiali solidi della fisica classica si dissolvono in configurazioni di onde di probabilità e queste configurazioni in definitiva non rappresentano probabilità di cose, ma piuttosto probabilità di interconnessioni. Un'attenta analisi del processo di osservazione in fisica atomica ha mostrato che le particelle subatomiche non hanno significato come entità isolate, ma possono essere comprese soltanto come interconnessioni tra la fase di preparazione di un esperimento e le successive misurazioni. La meccanica quantistica rivela quindi una fondamentale unità dell'universo: mostra che non possiamo scomporre il mondo in unità minime dotate di esistenza indipendente. Per quanto ci addentriamo nella materia, la natura non ci rivela la presenza di nessun « mattone fondamentale » isolato, ma ci appare piuttosto come una complessa rete di relazioni tra le varie parti del tutto. Queste relazioni includono sempre l'os-

servatore come elemento essenziale. L'osservatore umano costituisce sempre l'anello finale nella catena dei processi di osservazione e le proprietà di qualsiasi oggetto atomico possono essere capite soltanto nei termini dell'interazione dell'oggetto con l'osservatore. Ciò significa che l'ideale classico di una descrizione oggettiva della natura non è più valido. Quando ci si occupa della materia a livello atomico, non si può più operare la separazione cartesiana tra l'io e il mondo, tra l'osservatore e l'osservato. Nella fisica atomica, non possiamo mai parlare della natura senza parlare, nello stesso tempo, di noi stessi.

La nuova teoria atomica fu in grado di risolvere immediatamente numerosi enigmi che erano sorti in relazione alla struttura degli atomi e che non potevano essere spiegati dal modello planetario di Rutherford. Anzitutto, gli esperimenti di Rutherford avevano mostrato che, per quanto riguarda la distribuzione della massa, gli atomi che formano la materia solida sono costituiti quasi completamente da spazio vuoto. Ma se tutti gli oggetti attorno a noi, e noi stessi, siamo fatti per la maggior parte di spazio vuoto, perché non possiamo passare attraverso i muri? In altre parole, che cosa dà alla materia il suo aspetto solido?

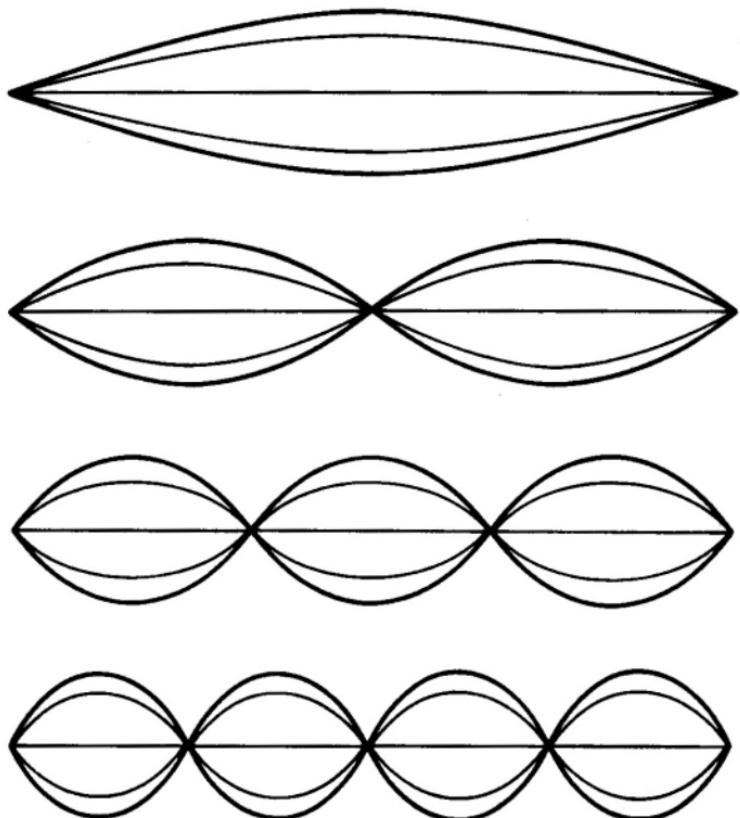
Un secondo enigma era la straordinaria stabilità meccanica degli atomi. Nell'aria, per esempio, gli atomi si urtano milioni di volte ogni secondo, eppure dopo ogni urto ritornano alla loro forma originaria. Nessun sistema planetario che segua le leggi della meccanica classica potrebbe mai uscire inalterato da un urto del genere. Invece un atomo di ossigeno conserva sempre la sua configurazione caratteristica di elettroni, indipendentemente dalla frequenza con la quale entra in collisione con altri atomi. Questa configurazione, inoltre, è esattamente la stessa in tutti gli atomi di una data specie. Due atomi di ferro, e conseguentemente due pezzi di ferro puro, sono completamente identici, indipendentemente dal luogo da cui provengono o dai processi fisici che hanno subito in passato.

La meccanica quantistica ha mostrato che tutte queste sorprendenti proprietà degli atomi derivano dalla natura ondulatoria dei loro elettroni. Per prima cosa, l'aspetto solido della materia è una conseguenza di un tipido « effetto quantistico » collegato al comportamento duale onda-particella della materia, una caratteristica del mondo subatomico che non trova l'analogio nel mondo macroscopico. Ogni volta che una particella è confinata in un piccolo spazio, essa reagisce a questa limitazione agitandosi dentro, e tanto più piccola è la regione in cui è confinata, tanto più velocemente la particella vi si muove. Nell'atomo allora sono presenti due forze antagoniste. Da una parte, gli elettroni sono legati al nucleo da forze elettriche che cercano di trattenerli il più vicino possibile. Dall'altra, essi reagiscono a questa limitazione ruotando vorticosamente, e quanto più strettamente sono legati al nucleo, tanto più alta sarà la loro velocità; di fatto, il confinamento degli elettroni all'interno di un atomo porta a velocità enormi, di circa 900 chilometri al secondo! Queste alte velocità fanno sì che l'atomo appaia come una sfera rigida, proprio come avviene per un'elica in rapida rotazione la quale appare come un disco. E molto difficile comprimere ulteriormente gli atomi e ciò dà alla materia l'aspetto solido familiare.

Nell'atomo, dunque, gli elettroni si dispongono su orbite in modo tale che vi sia equilibrio tra la forza attrattiva del nucleo e la loro riluttanza a essere confinati. Le orbite atomiche, tuttavia, sono molto diverse da quelle dei pianeti nel sistema solare, e la differenza deriva dalla natura ondulatoria degli elettroni. Un atomo non può essere rappresentato come un sistema planetario in miniatura. Più che a particelle in rotazione attorno al nucleo, dobbiamo pensare a onde di probabilità disposte in orbite differenti. Ogni volta che facciamo una misura, troviamo gli elettroni in qualche punto di queste orbite, ma non possiamo dire che essi « ruotano attorno al nucleo » nel senso della meccanica classica.

Nelle orbite, le onde elettroniche devono essere dispo-

Onde



stazionarie su una corda vibrante.

ste in modo tale che « i loro estremi combacino », cioè in modo da formare delle figure note come « onde stazionarie ». Queste figure si generano tutte le volte che onde di qualsiasi natura sono confinate in una regione finita, come le onde in una corda vibrante di una chitarra o nell'aria all'interno di un flauto. E ben noto da questi esempi che le onde stazionarie possono assumere solo un numero limitato di forme ben precise. Nel caso delle onde elettroniche all'interno di un atomo, ciò significa che esse possono esistere solo in un certo numero di orbite con determinati diametri. L'elettrone di un ato-

mo di idrogeno, ad esempio, può trovarsi soltanto in certe orbite chiamate prima, seconda, terza orbita, ecc., e in nessuna posizione intermedia. In condizioni normali esso si trova sempre nell'orbita più bassa, e questo è lo « stato fondamentale » dell'atomo. Da questa orbita lelettrone, se riceve la quantità di energia necessaria, può saltare in un'orbita più alta e in tal caso si dice che l'atomo è in uno « stato eccitato »; da questo stato ritornerà a quello fondamentale dopo un breve istante, mentre lelettrone restituirà l'energia eccedente sotto forma di un quanto di radiazione elettromagnetica, o fotone. Gli stati di un atomo, cioè le forme e le distanze reciproche delle sue orbite elettroniche, sono esattamente le stesse per tutti gli atomi con il medesimo numero di elettroni. E questa la ragione per cui due atomi di ossigeno, per esempio, saranno assolutamente identici. Essi possono trovarsi in stati eccitati diversi, eventualmente dovuti a urti con altri atomi dell'aria, ma dopo un breve istante ritorneranno ogni volta esattamente allo stesso stato fondamentale. La natura ondulatoria degli elettroni spiega quindi sia il fatto che gli atomi sono tutti identici, sia la loro grande stabilità meccanica.

Un altro aspetto caratteristico degli stati atomici è che si possono descrivere completamente con un insieme di numeri interi, chiamati « numeri quantici », i quali indicano la posizione e la forma delle orbite elettroniche. Il primo numero quantico è il numero dell'orbita e determina l'energia che un elettrone deve avere per poter occupare quell'orbita; due ulteriori numeri precisano la particolare forma dell'onda elettronica nell'orbita e sono in rapporto con la velocità e con l'orientamento della rotazione dell'elettrone.¹ Il fatto che questi aspetti particolari sono espressi da numeri interi significa che lelettrone non può cambiare con continui-

1. La « rotazione » di un elettrone nella sua orbita non deve essere intesa nel senso classico: essa è determinata dalla forma dell'onda elettronica e si esprime come probabilità dell'esistenza della particella in determinati punti dell'orbita.

tà la propria rotazione ma può soltanto saltare da un valore all'altro, proprio come avviene per il salto da un'orbita all'altra. Anche in questo caso, i valori più alti rappresentano stati eccitati dell'atomo e lo stato fondamentale è quello nel quale tutti gli elettroni sono nelle orbite più basse possibili e hanno le più piccole quantità possibili di rotazione.

Comportamenti probabilistici, particelle che reagiscono muovendosi al confinamento in zone limitate di spazio, atomi che si spostano improvvisamente da uno « stato quantico » a un altro, essenziale interconnessione di tutti i fenomeni: queste sono alcune delle insolite caratteristiche del mondo atomico. D'altro canto, la forza fondamentale che dà origine a tutti i fenomeni atomici è ben nota e la si incontra facilmente nel mondo macroscopico: è la forza di attrazione elettrica tra il nucleo atomico carico positivamente e gli elettroni carichi negativamente. L'azione reciproca fra questa forza e le onde elettroniche dà luogo all'enorme varietà di strutture e di fenomeni del nostro ambiente: è responsabile di tutte le reazioni chimiche e della formazione delle molecole, cioè degli aggregati di più atomi legati tra loro dalla mutua attrazione. L'interazione tra elettroni e nuclei atomici è quindi il fondamento di tutti i corpi solidi, liquidi e gassosi, e anche degli organismi viventi e di tutti i processi biologici a essi collegati.

In questo mondo immensamente ricco dei fenomeni atomici, i nuclei svolgono il ruolo di centri stabili, estremamente piccoli, che costituiscono la sorgente della forza elettrica e formano le intelaiature della grande varietà di strutture molecolari. Per comprendere queste strutture e la maggior parte dei fenomeni naturali che ci circondano non è necessario conoscere dei nuclei nulla di più che la loro carica e la loro massa. Se tuttavia si vuole capire la natura della materia, cioè conoscere di che cosa in definitiva essa sia fatta, bisogna studiare il nucleo atomico, nel quale è contenuta praticamente tutta la massa dell'atomo. Negli anni Trenta, dopo che

la meccanica quantistica aveva districato il complesso mondo degli atomi, compito principale dei fisici fu dunque quello di comprendere la struttura dei nuclei, dei loro costituenti e delle forze che li tengono così saldamente uniti.

Il primo passo importante verso la comprensione della struttura nucleare fu la scoperta del neutrone, l'altra particella di cui è costituito il nucleo. Il neutrone è privo di carica elettrica e ha una massa quasi uguale a quella del protone (il primo costituente del nucleo), cioè circa duemila volte la massa di un elettrone. Questa scoperta non solo spiegava in che modo i nuclei di tutti gli elementi chimici erano costituiti da protoni e neutroni, ma rivelava anche che la forza nucleare, che mantiene queste particelle così saldamente legate nel nucleo, era un fenomeno completamente nuovo, non potendo essere di origine elettromagnetica, poiché i neutroni erano elettricamente neutri. I fisici si resero conto ben presto di trovarsi di fronte a una nuova forza naturale che si manifesta unicamente nel nucleo.

Il nucleo atomico è circa un centinaio di volte più piccolo di tutto l'atomo, eppure ne contiene quasi tutta la massa. Ciò significa che la materia all'interno del nucleo dev'essere estremamente densa rispetto ai tipi di materia che noi conosciamo. In effetti, se tutto il corpo umano fosse compresso fino a raggiungere la densità del nucleo, non occuperebbe più spazio di una capocchia di spillo. Questa elevata densità, tuttavia, non è l'unica proprietà insolita della materia nucleare. Avendo la stessa natura quantistica degli elettroni, i « nucleoni » — come spesso vengono chiamati protoni e neutroni — reagiscono al loro confinamento muovendosi ad alta velocità, e poiché sono compressi in un volume molto più piccolo, la loro reazione è molto più violenta. Essi scorrono nel nucleo con velocità di circa 60.000 chilometri al secondo! La materia nucleare è quindi un tipo di materia completamente differente da qualsiasi cosa appaia « quassù », nel nostro ambiente macroscopico. Forse, il modo migliore di raffigurarcela è di pen-

sare a un insieme di minuscole gocce di un liquido densissimo che bolle e gorgoglia feroamente.

L'aspetto nuovo fondamentale della materia nucleare, che ne spiega tutte le proprietà insolite, è l'intensa forza nucleare e la caratteristica che rende questa forza così unica è il suo raggio d'azione estremamente piccolo. Essa agisce soltanto quando i nucleoni si avvicinano moltissimo l'uno all'altro, cioè quando si trovano a una distanza di circa due o tre volte il loro diametro. A tale distanza, la forza nucleare diventa fortemente attrattiva, ma a distanze ancora minori essa risulta fortemente repulsiva, cosicché i nucleoni non possono avvicinarsi ulteriormente. In questo modo la forza nucleare mantiene il nucleo in un equilibrio molto stabile, anche se estremamente dinamico.

L'immagine della materia che emerge dallo studio degli atomi e dei nuclei mostra che la maggior parte di essa è concentrata in minuscole gocce separate da enormi distanze. Nel vasto spazio tra le massicce gocce nucleari in violenta ebollizione, si muovono gli elettroni. Questi costituiscono solo una piccola frazione della massa totale, ma danno alla materia il suo aspetto solido e forniscono i legami necessari per costruire le strutture molecolari. Essi prendono anche parte alle reazioni chimiche e sono responsabili delle proprietà chimiche della materia. D'altra parte, nella materia così come l'abbiamo descritta le reazioni nucleari di solito non si producono spontaneamente, perché le energie a disposizione non sono abbastanza elevate da rompere l'equilibrio nucleare.

Tuttavia, la materia, come noi la conosciamo, con il suo gran numero di forme e di strutture e la sua complicata architettura molecolare, può esistere solo in condizioni molto particolari, quando la temperatura non è troppo alta, cosicché le molecole non oscillano troppo velocemente. Quando l'energia termica cresce di circa un centinaio di volte, come avviene in moltissime stelle, vengono distrutte tutte le strutture atomiche e molecolari. In effetti, la maggior parte della materia presente

nell'universo si trova in uno stato molto diverso da quello che abbiamo appena descritto. Nel centro delle stelle è concentrata una grande quantità di materia nucleare e vi predominano processi nucleari che sulla Terra avvengono solo raramente. Essi risultano fondamentali per la grande varietà dei fenomeni stellari osservati in astronomia, la maggior parte dei quali è dovuta a una combinazione di effetti nucleari e gravitazionali. Per il nostro pianeta sono di particolare importanza i processi nucleari che avvengono nel centro del Sole, perché forniscono l'energia necessaria all'ambiente terrestre. Ha rappresentato uno dei grandi trionfi della fisica moderna l'aver scoperto che il costante flusso di energia proveniente dal Sole, il nostro legame vitale con il mondo dell'estremamente grande, è un risultato di reazioni nucleari, cioè di fenomeni che avvengono nel mondo dell'infinitamente piccolo.

Nella storia dell'esplorazione che l'uomo ha compiuto nel mondo submicroscopico, una fase importante fu raggiunta all'inizio degli anni Trenta quando gli scienziati pensarono di aver finalmente scoperto i « mattoni fondamentali » della materia. Si sapeva che tutta la materia era formata da atomi e che gli atomi erano formati da protoni, neutroni ed elettroni: di conseguenza queste cosiddette « particelle elementari » erano considerate le unità definitive e indistruttibili della materia: atomi nel senso di Democrito. La meccanica quantistica implica, come abbiamo già detto in precedenza, che non possiamo scomporre il mondo in unità piccolissime con una propria esistenza indipendente, ma a quei tempi ciò non era stato ancora capito in tutta la sua generalità. Le concezioni classiche erano ancora tanto diffuse che la maggior parte dei fisici cercava di comprendere la materia in termini di « mattoni elementari »; di fatto, questa tendenza di pensiero è molto forte ancora oggi.

Due ulteriori sviluppi della fisica moderna hanno mostrato, tuttavia, che la nozione di particella elementare come unità fondamentale della materia deve essere

abbandonata. Uno di questi sviluppi fu sperimentale, l'altro teorico, ed entrambi ebbero inizio negli anni Trenta. In campo sperimentale, furono scoperte nuove particelle quando i fisici perfezionarono le loro tecniche sperimentali e idearono nuovi ingegnosi dispositivi per la rivelazione delle particelle. Così, il numero delle particelle crebbe da tre a sei nel 1935, poi salì a diciotto nel 1955, e oggi conosciamo più di duecento particelle « elementari ». Le due tabelle qui riprodotte, tratte da una pubblicazione recente,¹ presentano la maggior parte delle particelle attualmente note e fanno capire in maniera convincente che l'aggettivo « elementare » non è più realmente appropriato a una tale situazione. A mano a mano che col passare degli anni venivano scoperte nuove particelle, divenne chiaro che non tutte potevano essere chiamate « elementari », e oggi tra i fisici è opinione diffusa che nessuna di esse meriti questo nome.

Tale convinzione è rafforzata dagli sviluppi teorici che sono avvenuti parallelamente a questi risultati sperimentali. Subito dopo la formulazione della meccanica quantistica divenne chiaro che una teoria completa dei fenomeni nucleari non solo doveva essere una teoria quantistica, ma doveva anche tenere conto della teoria della relatività, dato che le particelle confinate in uno spazio di dimensioni piccole come quelle dei nuclei spesso si muovono con velocità che si avvicina a quella della luce. Questo fatto è cruciale per spiegare il loro comportamento, poiché ogni descrizione di fenomeni naturali che comportino velocità vicine a quella della luce deve essere, come si suoi dire, una descrizione « relativistica ». Per una piena comprensione del mondo nucleare ci è dunque necessaria una teoria che incorpori sia la teoria quantistica sia quella relativistica. Finora questa teoria non è stata trovata, e perciò non siamo ancora

1. « Review of Particle Properties », pubblicato dal Particle Data Group, in « Reviews of Modern Physics », LII, aprile 1980.

Meson Table

April 1980

Non-strange ($ S = 0, C = 0$)				Strange ($ S = 1, C = 0$)			
entry	$I^G(J^P)C_n$	entry	$I^G(J^P)C_n$	entry	$I^G(J^P)C_n$	entry	$I^I(J^P)$
-	$1^-(0^-)+$	A ₂ (1310)	$1^-(2^+)+$	- e^+e^- (1100-3100)		K	$1/2(0^-)$
-	$0^+(0^-)+$	E(1420)	$0^+(1^+)+$	- X(2830)		K*(892)	$1/2(1^-)$
c (770)	$1^+(1^-)-$	+ X(1410-1440)		- U(2980)		Q ₁ (1280)	$1/2(1^+)$
w (783)	$0^+(1^+)-$	F'(1515)	$0^+(2^+)+$	J/ ψ (3100)	$0^-(1^-)-$	Q ₂ (1400)	$1/2(1^+)$
N (940-953)	$0^+(0^-)+$	p'(1600)	$1^-(2^-)-$	X(3415)	$0^+(0^+)+$	+ K'(1400)	$1/2(0^-)$
n' (958)	$0^+(0^-)+$	A ₃ (1660)	$1^+(1^-)-$	+ X(3455)		K*(1430)	$1/2(2^+)$
ø (980)	$1^-(0^+)+$	w(1670)	$0^-(3^-)-$	P _C or X(3510)	$0^+(A^-)+$	x(1500)	$1/2(0^+)$
S' (980)	$0^+(0^+)+$	g(1700)	$1^+(3^-)-$	x(3550)	$0^+(N^-)+$	+ L(1580)	$1/2(2^-)$
H (990)		+ X(1690)		+ X(3590)		- K*(1650)	$1/2(1^-)$
d (1020)	$0^-(1^-)-$			ψ(3685)	$0^-(1^-)-$	+ K _N (1700)	1/2
M (1035-1040)		- A ₄ (1900)	1^-	ψ(3770)	$(1^-)-$	L region	$1/2(A)$
- N (1080)	$0^+(N^-)+$	+ A ₄ (1900)	$1^-(4^+)+$	ψ(4030)	$(1^-)-$	K*(1780)	$1/2(3^-)$
N (1150-1170)		S (1935)		ψ(4160)	$(1^-)-$	- K*(2200)	
A ₁ (1100)	$1^-(1^+)+$	h(2040)	$0^+(4^+)+$	ψ(4415)	$(1^-)-$	- I(2600)	
- A ₁ (1300)		+ T _O (2150)	$0^+(2^+)+$	T(9460)	$(1^-)-$		
B (1235)	$1^+(1^+)-$	- T _I (2190)	1	T(10020)	$(1^-)-$		
- p' (1250)	$1^+(1^-)-$	+ X(2200)		T(10400)	$(1^-)-$		
f (1270)	$0^+(2^+)+$	+ U _O (2350)	0				
- n (1275)	$0^+(0^+)+$	+ U _I (2400)	1				
D (1285)	$0^+(1^+)+$	- RN(1400-3600)					
- (1300)	$0^+(0^+)+$	+ X(1900-3600)					

Baryon Table

April 1980

K(939) P11 ****	Δ(1232) P33 ****	Δ(1115) P01 ****	I(1193) P11 ****	E(1317) P11 ****
W(1470) P11 ***	Δ(1550) P33 **	Δ(1130) Dead	I(1385) P13 ****	E(1530) P13 ****
W(1520) D13 ****	Δ(1650) S31 ****	Δ(11405) S01 ****	I(1480) *	E(1630) **
+ (1555) S11 ***	Δ(1670) D33 ***	Δ(1520) D03 ****	I(1560) **	E(1680) S11 **
- J(1600) P13 *	Δ(1690) P33 ***	Δ(1600) P01 **	I(1580) D13 **	E(1820) 13 ***
+ (1680) P13 ***	Δ(1890) P15 ***	Δ(1670) S01 ****	I(1620) S11 **	E(1940) ***
W(1690) D15 ***	Δ(1900) S31 ***	Δ(1690) D03 ****	I(1660) P11 **	E(2030) 1 ***
W(1690) F15 ***	Δ(1910) P31 ***	Δ(1800) S01 ***	I(1670) D13 ***	E(2120) *
W(1700) D13 ***	Δ(1950) F37 ***	Δ(1800) P01 **	I(1670) **	E(2250) *
W(1710) P11 ***	Δ(1960) F33 **	Δ(1800) G09 *	I(1690) **	E(2370) 1 **
W(1800) P13 ***	Δ(1960) D35 ***	Δ(1800) *	I(1750) S11 ***	E(2500) **
W(1990) F17 ***	Δ(2160) ***	Δ(1815) F05 ****	I(1765) D15 ***	
W(2000) H39 *	Δ(2300) H39 *	Δ(1830) D05 ***	I(1770) P11 *	G(1672) P03 ***
W(2040) D13 *	Δ(2420) H31 ***	Δ(1860) P03 ***	I(1840) P13 *	
W(2200) S11 *	Δ(2500) G39 *	Δ(2010) *	I(1880) P11 **	A _C (2260) ***
W(2200) D15 *	Δ(2750) I313 *	Δ(2020) F07 *	I(1915) F15 ***	
W(1960) G17 ***	Δ(2850) ***	Δ(2100) G07 ****	I(1940) D13 ***	E _C (2430) **
W(2200) G19 ***	Δ(2950) K315 *	Δ(2110) F05 ***	I(2000) S11 *	
W(2220) M19 ***	Δ(3230) ***	Δ(2325) D03 *	I(2030) F17 ***	
W(1800) I111***		Δ(2350) ***	I(2070) F15 *	Dibaryons
W(1700) K113*		Δ(2585) ***	I(2080) P13 **	S = 0 *
W(1800) G19 *	Z(1780) P01 *		I(2100) G17 *	S = -1 **
W(330) ***	Z(1865) D03 *		I(2250) ***	S = -2 *
W(345) *	Z(1900) P13 *		I(2455) ***	
W(390) *	Z(2150) *		I(2620) ***	
W(375) *	Z(2500) *		I(3000) **	
			I(3170) *	

**** Good, clear, and unmistakable.

*** Good, but in need of clarification or not absolutely certain.

** Needs confirmation.

* Weak.

riusciti a formulare una interpretazione completa e coerente del nucleo. Conosciamo certamente molti dati sulla struttura nucleare e sulle interazioni tra particelle nucleari, ma ciononostante non capiamo ancora, a livello fondamentale, la natura e la complicata forma della forza nucleare. Non esiste alcuna teoria completa del mondo delle particelle nucleari paragonabile a ciò che è la meccanica quantistica per il mondo atomico. Abbiamo numerosi modelli « quantistico-relativistici » che descrivono molto bene alcuni aspetti del mondo delle particelle, ma la fusione delle teorie quantistica e relativistica in una teoria completa delle particelle è ancora il problema centrale e la grande sfida della ricerca fondamentale nella fisica moderna.

La teoria della relatività ha avuto una profonda influenza sulla nostra idea di materia, obbligandoci a modificare in modo sostanziale il concetto di particella. Nella fisica classica, la massa di un corpo era sempre stata associata a una sostanza materiale indistruttibile, a una qualche « cosa » della quale si pensava fossero fatte tutte le cose. La teoria della relatività ha mostrato che la massa non ha nulla a che fare con una qualsiasi sostanza, ma è una forma di energia. Quest'ultima, poi, è una quantità dinamica associata ad attività o a processi. Il fatto che fa massa di una particella sia equivalente a una certa quantità di energia significa che la particella non può più essere considerata un oggetto statico, ma va intesa come una configurazione dinamica, un processo coinvolgente quell'energia che si manifesta come massa della particella stessa.

Questa nuova concezione delle particelle fu introdotta da Dirac quando formulò una equazione relativistica che descriveva il comportamento degli elettroni. La teoria di Dirac non solo ebbe uno straordinario successo nello spiegare la struttura fine dell'atomo, ma rivelò anche una simmetria fondamentale tra materia e antimateria. Essa prevedeva l'esistenza di un antielettrone con la stessa massa dell'elettrone ma con carica opposta.

Questa particella carica positivamente, ora chiamata positrone, fu in effetti scoperta due anni dopo la previsione di Dirac. La simmetria tra materia e antimateria implica che per ogni particella esista un'antiparticella con massa uguale e carica opposta. Se l'energia a disposizione è sufficiente, possono crearsi coppie di particelle e antiparticelle, che a loro volta si ritrasformano in energia pura nel processo inverso di annichilazione. Questi processi di creazione e di annichilazione delle particelle erano stati previsti dalla teoria di Dirac prima che fossero effettivamente scoperti in natura, e da allora sono stati osservati milioni di volte.

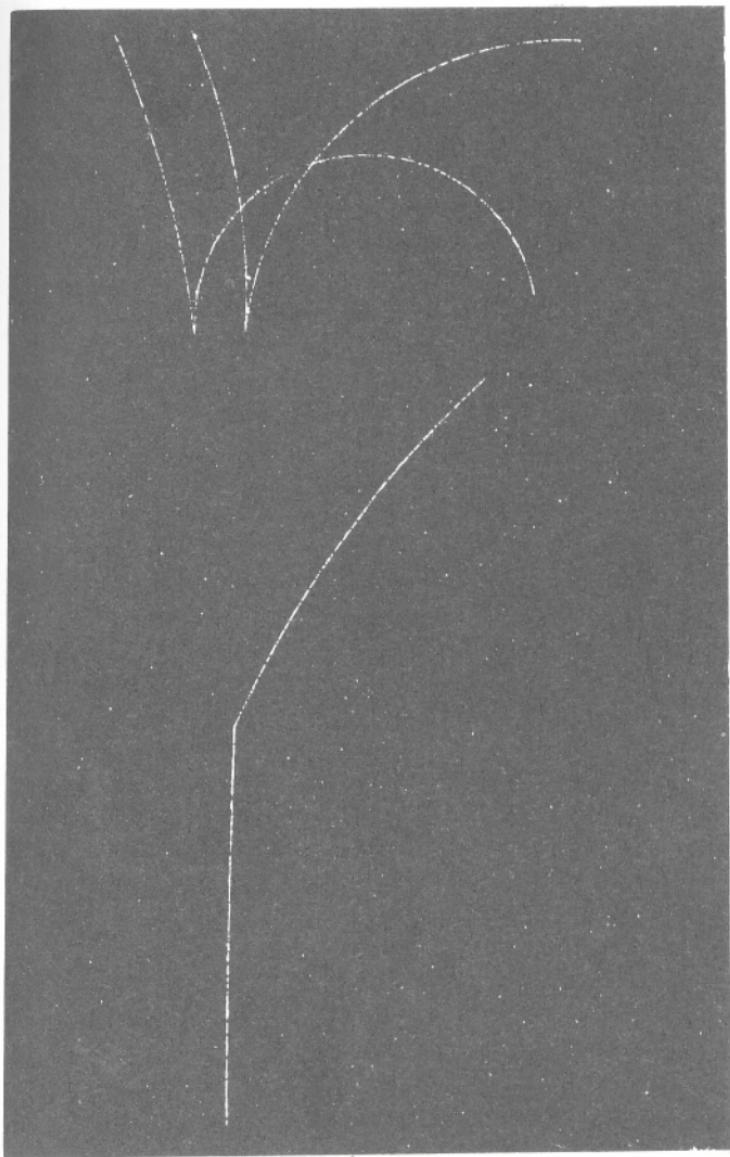
La creazione di particelle materiali da energia pura è certamente l'effetto più spettacolare della teoria della relatività, e può essere compresa soltanto alla luce della concezione delle particelle delineata sopra. Prima della fisica relativistica delle particelle, i costituenti della materia erano sempre stati considerati o come unità elementari indistruttabili e immutabili, oppure come oggetti composti che potevano essere suddivisi nelle loro parti costituenti; e la domanda fondamentale che ci si poneva era se fosse possibile continuare a dividere la materia, o se infine si sarebbe giunti alle minime unità indivisibili. Dopo la scoperta di Dirac, tutto il problema della divisibilità della materia apparve in una nuova luce. Quando due particelle si urtano con energie elevate, di solito esse si frantumano in parti, ma queste parti non sono più piccole delle particelle originarie. Sono ancora particelle dello stesso tipo, e sono prodotte a spese dell'energia di moto (« energia cinetica ») coinvolta nel processo d'urto. L'intero problema della divisibilità della materia è quindi risolto in maniera inaspettata. L'unico modo per dividere ulteriormente le particelle subatomiche è quello di farle interagire tra loro in processi d'urto ad alta energia. Così facendo possiamo dividere sempre più la materia, ma non otteniamo mai pezzi più piccoli, proprio perché creiamo le particelle a spese dell'energia coinvolta nel processo. Le particelle

subatomiche sono quindi distruttibili e indistruttibili allo stesso tempo.

Questo stato di cose è destinato a rimanere paradossale fino a quando continuiamo ad assumere un punto di vista statico secondo cui gli « oggetti » sono formati da « mattoni elementari ». Solo quando si assume un punto di vista dinamico, relativistico, il paradosso scompare. Le particelle sono viste allora come configurazioni dinamiche, o processi, che coinvolgono una certa quantità di energia, la quale si presenta a noi come la loro massa. In un processo d'urto, l'energia delle due particelle che entrano in collisione viene ridistribuita secondo una nuova configurazione, e se è stata aggiunta una quantità sufficiente di energia cinetica, la nuova configurazione può comprendere particelle ulteriori.

Gli urti ad alta energia tra particelle subatomiche sono il principale metodo usato dai fisici per studiarne le proprietà, e la fisica delle particelle è perciò chiamata « fisica delle alte energie ». Le energie cinetiche necessarie per gli esperimenti d'urto vengono ottenute mediante enormi acceleratori di particelle, gigantesche macchine circolari con circonferenze di alcuni chilometri, nelle quali i protoni sono accelerati fino a velocità prossime a quella della luce e quindi fatti urtare con altri protoni o con neutroni. E impressionante che siano necessarie macchine di tali dimensioni per studiare il mondo dell'infinitamente piccolo. Esse sono i supermicroscopi del nostro tempo.

La maggior parte delle particelle create in questi urti vivono solo per un intervallo di tempo estremamente breve— molto meno di un milionesimo di secondo —dopo il quale si disintegrano nuovamente in protoni, neutroni ed elettroni. Nonostante la loro vita estremamente breve, non solo è possibile rivelare l'esistenza di queste particelle e misurarne le proprietà, ma addirittura si può fare in modo che lascino delle tracce che possono essere fotografate! Queste tracce vengono prodotte nelle cosiddette camere a bolle in un modo simile a quello in cui un aereo a reazione lascia una scia nel cielo. Le



particelle reali sono di molti ordini di grandezza più piccole delle bolle di cui sono fatte le tracce, ma dallo spessore e dalla curvatura della traccia i fisici possono identificare la particella che l'ha prodotta. La figura mostra alcune tracce in una camera a bolle. Nei punti dai quali partono diverse tracce o dove le tracce presentano angoli netti sono avvenuti urti tra particelle; la curvatura delle traiettorie, invece, dipende dai campi magnetici applicati dagli sperimentatori per riconoscere le singole particelle. Le particelle senza carica elettrica d'altra parte non lasciano tracce, ma non vengono deflesse dai campi magnetici così che spesso, come nella fotografia, si possono individuare dai punti di origine e termine delle loro traiettorie. Quello dell'urto è il principale metodo sperimentale che abbiamo a disposizione per studiare le proprietà e le interazioni delle particelle; le belle curve che esse tracciano nelle camere a bolle sono quindi di capitale importanza per la fisica moderna.

Negli ultimi decenni, gli esperimenti di diffusione ad alta energia ci hanno rivelato nel modo più straordinario la natura dinamica e continuamente mutevole del mondo delle particelle; la materia si è dimostrata capace di trasformazione totale. Tutte le particelle possono essere trasformate in altre particelle, possono essere create dall'energia e possono scomparire in energia. In questo contesto, concetti classici come « particella elementare », « sostanza materiale » o « oggetto isolato », hanno perso il loro significato: l'intero universo appare come una rete dinamica di configurazioni di energia non separabili. Non abbiamo ancora trovato fino a oggi una teoria completa per descrivere questo mondo delle particelle subatomiche, ma disponiamo di diversi modelli teorici che ne rappresentano piuttosto bene alcuni aspetti. Nessuno di questi modelli è privo di difficoltà matematiche e ognuno di essi è in qualche modo in contraddizione con gli altri, ma tutti riflettono l'unità fondamentale e il carattere intrinsecamente dinamico della materia. Essi mostrano che le proprietà di una

particella possono essere capite solo in rapporto alla sua attività - alla sua interazione con l'ambiente circostante - e che perciò la particella non può essere vista come un'entità isolata, ma va intesa come una parte integrata del tutto.

La teoria della relatività ha modificato drasticamente non solo la nostra concezione delle particelle, ma anche la nostra rappresentazione delle forze che agiscono tra di esse. In una descrizione relativistica delle interazioni, le forze tra particelle - vale a dire la loro mutua attrazione o repulsione - sono rappresentate come scambio di altre particelle. Questo concetto è molto difficile da visualizzare. Ciò è una conseguenza del carattere quadridimensionale dello spazio-tempo del mondo subatomico, e né la nostra intuizione né il nostro linguaggio possono trattare in maniera adeguata questa idea, che tuttavia è cruciale per una comprensione dei fenomeni subatomici. Essa permette di collegare le forze tra i costituenti della materia alle proprietà di altri costituenti della materia, e quindi unifica i due concetti, forza e materia, che erano sembrati così fondamentalmente diversi fin dai tempi degli atomisti greci. Oggi si vede che forza e materia hanno la loro comune origine nelle configurazioni dinamiche che chiamiamo particelle.

Il fatto che le particelle interagiscano attraverso forze che si manifestano come scambio di altre particelle è una ragione ulteriore per cui il mondo subatomico non può essere scomposto in parti costituenti. Dal livello macroscopico fin giù al livello nucleare, le forze che tengono uniti i singoli corpi sono relativamente deboli e con buona approssimazione si può affermare che questi sono formati da parti costituenti. Si può ad esempio dire che un granello di sale è composto da molecole di sale, che le molecole di sale sono formate da due tipi di atomi, i quali a loro volta sono costituiti da nuclei ed elettroni, e i nuclei da protoni e neutroni. A livello di particelle, tuttavia, non è più possibile procedere in questo modo.

In anni recenti, si sono via via accumulate prove a sostegno del fatto che anche i protoni e i neutroni sono

oggetti composti; ma le forze che li tengono uniti sono talmente intense – ovvero, il che significa la stessa cosa, le velocità acquistate dai componenti sono talmente elevate – che diventa indispensabile la descrizione relativistica secondo la quale anche le forze sono particelle. Quindi la distinzione tra particelle costituenti e particelle che danno luogo alle forze di legame diviene sfumata e l'approssimazione di un oggetto formato da parti costituenti non è più valida. Il mondo delle particelle non può essere scomposto in componenti elementari.

Nella fisica moderna, l'universo appare quindi come un tutto dinamico, inseparabile, che comprende sempre l'osservatore in modo essenziale. Nell'esperienza che se ne può avere i concetti tradizionali di spazio e di tempo, di oggetti isolati, e di causa ed effetto, perdono il loro significato. Tale esperienza, comunque, è molto simile a quella dei mistici orientali. La somiglianza diventa evidente nella teoria della relatività e nella teoria quantistica, e si fa ancora più forte nei modelli « quantistico-relativistici » della fisica subatomica, ottenuti combinando entrambe queste teorie, nei quali si producono le corrispondenze più sorprendenti con il misticismo orientale.

Prima di esaminare in maniera particolareggiata queste corrispondenze, farò una breve presentazione per il lettore che non ne abbia una conoscenza adeguata di quelle scuole della filosofia orientale che hanno maggiore interesse ai fini di questo confronto, cioè delle varie scuole che seguono le filosofie religiose dell'Induismo, del Buddhismo e del taoismo. Pertanto, nei prossimi cinque capitoli, verranno descritti il contesto storico, le caratteristiche salienti e i concetti filosofici di queste tradizioni spirituali e verranno messi in particolare rilievo quegli aspetti e quei concetti che risulteranno importanti per il successivo confronto con la fisica.

II

LA VIA DEL MISTICISMO ORIENTALE

5. L'INDUISMO

Per comprendere una qualsiasi delle filosofie che ora verranno descritte è importante rendersi conto che esse sono di natura essenzialmente religiosa. Loro scopo principale è l'esperienza mistica diretta della realtà, e poiché questa esperienza è per sua natura religiosa, esse sono inseparabili dalla religione. Più ancora che per qualsiasi altra tradizione orientale, ciò è vero per l'Induismo, nel quale il legame tra filosofia e religione è particolarmente forte. È stato detto che in India quasi tutte le forme di pensiero sono, in un certo senso, di tipo religioso e che l'Induismo non solo ha influenzato per molti secoli la vita intellettuale dell'India, ma ne ha anche determinato quasi completamente la vita sociale e culturale.

L'Induismo non può essere indicato come una filosofia, e non è nemmeno una religione ben definita. È piuttosto un ampio e complesso organismo socio-religioso formato da un gran numero di sette, di culti e di sistemi filosofici che comprendono vari rituali, cerimonie e discipline spirituali, come pure il culto di innumerevoli divinità maschili e femminili. Le molte sfaccettature di questa tradizione spirituale complessa; tuttora

viva e potente, rispecchiano la complessità geografica, razziale, linguistica e culturale del vasto subcontinente indiano. Le manifestazioni dell'Induismo vanno da filosofie di grande valore intellettuale, che comportano concezioni di straordinaria portata e profondità, fino ai rituali più semplici e ingenui seguiti dalle masse. Benché gli Indù siano in maggioranza semplici contadini che mantengono viva la religione popolare nella pratica quotidiana del culto, l'Induismo ha prodotto un gran numero di eminenti maestri spirituali per trasmettere le sue profonde intuizioni.

La fonte spirituale dell'Induismo sono i *Veda*, una raccolta di antiche scritture redatte da anonimi saggi, i cosiddetti « veggenti » vedici. Esistono quattro *Veda*, il più antico dei quali è il *Rg-veda*. Scritti in sanscrito antico, il linguaggio sacro dell'India, i *Veda* sono tuttora la massima autorità religiosa per la maggior parte delle scuole dell'Induismo. In India, qualsiasi sistema filosofico che non accetti l'autorità dei *Veda* è considerato non ortodosso.

Ognuno di questi *Veda* è costituito da numerose parti che furono composte in periodi diversi, probabilmente tra il 1500 e il 500 a.C. Le parti più antiche sono inni sacri e preghiere; quelle successive trattano i rituali sacrificali connessi con gli inni vedici; l'ultima parte, infine, costituita dalle *Upanisad*, ne sviluppa il contenuto filosofico e pratico. Le *Upanisad* contengono l'essenza del messaggio spirituale dell'Induismo e hanno guidato e ispirato negli ultimi venticinque secoli le più grandi menti dell'India, in armonia con il consiglio racchiuso in questo brano:

« Avendo afferrato come un arco quella grande arma che è l'arcano insegnamento (*Upanisad*), incocca in esso la freccia acuita dalla meditazione: avendolo tratto mediante lo spirito concentrato nella meditazione dell'Essere, riconosci questo indefettibile come il bersaglio da colpire, o mio caro ».¹

1. Mundaka-ubanisad, II, III, 3.

Tuttavia le masse indiane non hanno ricevuto l'insegnamento dell'Induismo attraverso le *Upanisad*, ma attraverso un gran numero di racconti popolari raccolti in lunghi poemi epici, che sono la base della vasta e pittoresca mitologia indiana. Uno di questi poemi, il *Mahābhārata*, contiene il bellissimo poema spirituale della *Bhagavad Gītā*, il testo religioso più amato di tutta l'India. La *Gīta*, come comunemente viene chiamata, è un dialogo tra il dio Krsna e il guerriero Arjuna, il quale si trova in uno stato di grande disperazione, essendo obbligato a combattere i suoi stessi parenti nella grande guerra familiare che costituisce la vicenda principale del *Mahabharata*. Krsna, travestito da auriga di Arjuna, conduce il cocchio esattamente tra i due eserciti e in questo drammatico scenario del campo di battaglia comincia a rivelare ad Arjuna le verità più profonde dell'Induismo. Mentre il dio parla, lo sfondo realistico della guerra tra i due clan familiari si dissolve rapidamente e risulta chiaro che la battaglia di Arjuna è la battaglia spirituale dell'uomo, la battaglia del guerriero in cerca dell'illuminazione. Krsna stesso fa ad Arjuna questa raccomandazione:

« Quindi, colla spada della conoscenza, recidi questo dubbio che ti siede nel cuore, nato dall'ignoranza. Raggiungi con lo yoga l'unità dell'armonia e sorgi, o Arjuna! ».¹

Il fondamento del messaggio spirituale di Krsna, come di tutto l'Induismo, è l'idea che la moltitudine di cose e di eventi che ci circondano non siano altro che differenti manifestazioni della stessa realtà ultima. Questa realtà, chiamata *Brahman*, è il concetto unificante che dà all'Induismo il suo carattere essenzialmente monistico nonostante l'adorazione di un gran numero di dèi e di dee.

1. *Bhagavad Gītā*, iv, 42 [edizioni italiane: trad. di I. Vecchiotti, Ubaldini, Roma, 1964; a cura di A.-M. Esnoul, Adelphi, Milano, 1976].

Brahman, la realtà ultima, è inteso come il vero « sé », l'anima o l'essenza intima, di tutte le cose. Esso è infinito e trascende tutti i concetti; non può essere compreso dall'intelletto né adeguatamente descritto a parole: « il supremo *Brahman* senza principio, né essere né non essere ».¹

E ancora: « imperscrutabile è questo supremo Sé immensurabile, non nato, impensabile, di cui non si può parlare ».² Tuttavia la gente vuole parlare di questa realtà e i saggi indù, con la loro caratteristica inclinazione per il mito, hanno raffigurato *Brahman* come una divinità e ne parlano con il linguaggio mitologico. I vari aspetti del Divino hanno ricevuto i nomi delle diverse divinità venerate dagli Indù, ma i testi sacri indicano chiaramente che tutte queste divinità non sono altro che riflessi dell'unica realtà ultima:

« Allorché si dice: "Sacrifica a tale divinità, sacrifica a tale altra divinità!" e così per tutte le divinità singolarmente, si indica una creazione particolare di lui [*Brahman*]: egli è, in verità, tutti gli dèi ».³

La manifestazione di *Brahman* nell'anima umana è chiamata *Ātman* e l'idea che *Ātman* e *Brahman*, la realtà individuale e la realtà ultima, siano una sola cosa è
l'essenza delle *Upanisad*:

« Per quanto si riferisce all'essenza sottile, invece, è da questa che tutte sono animate; essa è l'unica realtà, è L'*Ātman*, e tu stesso lo sei ».⁴

Il tema fondamentale ricorrente in tutta la mitologia indù, è la creazione del mondo mediante il sacrificio che Dio fa di se stesso – « sacrificio » nel senso originale di « rendersi sacro » – per mezzo del quale Dio diviene il mondo, che alla fine ridiventa Dio. Questa attività crea-

1. Ibid., XIII, 12.

2. Maityr-upanisad, VI, 17.

3. Brhad-āranyaka-upanisad, I, 'v, 6.

4. Chāndogya-upanisad, vi, ix, 4.

tiva del Divino è chiamata *līlā*, il gioco di Dio, e il mondo è considerato lo scenario nel quale si svolge il gioco divino. Come la maggior parte della mitologia indù, il mito di *līlā* ha un forte sapore magico. Brahman è il grande mago che si trasforma nel mondo, compiendo tale impresa con la sua « magica potenza creativa »; questo è anche il significato originario di *māyā* secondo il *Rg-veda*. La parola *māyā*, uno dei termini più importanti della filosofia indiana, ha mutato il suo significato attraverso i secoli. Da « potere » — o « potenza » — dell'attore e mago divino, è giunta a significare lo stato psicologico di chiunque si trovi sotto l'incantesimo di questo gioco magico. Fintanto che confondiamo la miriade di forme della divina *līlā* con la realtà, senza percepire l'unità di Brahman che sta alla base di tutte queste forme, siamo sotto l'incantesimo della *māyā*.

Māyā, perciò, non significa che il mondo è un'illusione, come spesso viene erroneamente affermato. L'illusione, semplicemente, si trova nel nostro punto di vista, se pensiamo che le forme e le strutture, le cose e gli eventi attorno a noi siano realtà della natura, invece di comprendere che sono concetti della nostra mente la quale misura e classifica. *Māyā* è l'illusione che deriva dallo scambiare questi concetti per realtà, dal confondere la mappa con il territorio.

Nella concezione indù della natura, quindi, tutte le forme sono relative, maya fluida e continuamente mutevole, evocata dal grande mago del gioco divino. Il mondo della *māyā* cambia continuamente, perché la divina *līlā* è un gioco ritmico, dinamico. La forza dinamica di questo gioco è il *karman*, un altro importante concetto del pensiero indiano. *Karman*, che significa « azione », è il principio attivo del gioco, è l'universo intero in azione, dove tutto è dinamicamente connesso con tutto il resto. Per usare le parole della *Gītā* « *Karman* è la forza creatrice che dà origine all'esistenza degli esseri ».

1. *Bhagavad Gita*, vili, 3.

Il significato di *karman*, come quello di *māyā*, è stato trasferito dal livello cosmico originario a un livello più basso, quello umano, nel quale ha acquisito un significato psicologico. Finché la nostra concezione del mondo è frammentata, finché siamo sotto l'incantesimo della *māyā* e pensiamo di essere separati dal nostro ambiente e di poter agire indipendentemente da esso, noi siamo legati dal *karman*. Essere liberi dal legame del *karman* significa comprendere l'unità e l'armonia di tutta la natura, compreso l'uomo, e agire di conseguenza. Su questo punto la *Gita* è molto chiara:

Tutte le azioni avvengono per l'intrecciarsi delle forze della natura; (ma) colui che è traviato dal sentimento del proprio ego pensa: "sono io colui che fa".

« Ma colui che conosce il rapporto fra le forze della natura e le azioni vede come certe forze della natura agiscono su altre, e non ne diviene schiavo ».¹

Essere liberi dall'incantesimo della *maya*, spezzare i legami del *karman*, significa comprendere che tutti i fenomeni che percepiamo con i nostri sensi sono parte della medesima realtà. Significa provare concretamente e personalmente che tutto, compreso il nostro stesso io, è *Brahman*. Questa esperienza è chiamata *moksa*, o « liberazione », nella filosofia indù ed è la vera essenza dell'Induismo.

L'Induismo ritiene che esistono innumerevoli vie per la liberazione. Non si aspetta affatto che tutti i suoi seguaci siano in grado di avvicinarsi al Divino nella stessa maniera, e perciò propone concetti, rituali ed esercizi spirituali differenti per differenti modi di consapevolezza. Il fatto che molti di questi concetti o di questi esercizi siano in contraddizione fra di loro non turba minimamente gli Indù, perché essi sanno che *Brahman* trascende in ogni caso concetti e immagini. Da questo atteggiamento deriva la grande tolleranza e la capacità di assimilazione che caratterizzano l'Induismo.

1. Ibid., in, 27-28.

La scuola più intellettuale è il Vedānta che si basa sulle Upanisad e sottolinea che il Brahman è un concetto impersonale, metafisico, libero da ogni contenuto mitologico. Tuttavia, nonostante il suo livello altamente filosofico e intellettuale, la via di liberazione del Vedānta si differenzia da quella di qualsiasi scuola filosofica occidentale, in quanto comporta una meditazione quotidiana e altri esercizi spirituali finalizzati al raggiungimento dell'unione con il Brahman.

Un altro metodo di liberazione importante e autorevole è noto come yoga, termine che significa « mettere il giogo », « unire », e che indica l'unione dell'anima individuale con il Brahman. Vi sono numerose scuole, o vie », di yoga che comportano alcuni esercizi fisici fondamentali e varie pratiche mentali, destinate a persone di tipo diverso e di differenti livelli spirituali.

Per l'indù comune, il modo più diffuso di avvicinarsi al Divino consiste nel venerarlo nella forma di una divinità personale. La fertile immaginazione indiana ha creato letteralmente migliaia di divinità che compaiono in innumerevoli sembianze. Attualmente, le tre divinità più venerate nell'India sono Śiva, Visnu e la Madre Divina. Śiva è uno degli dei indiani più antichi e può assumere molte forme. È chiamato Maheśvara, il Grande Signore, quando viene rappresentato come la personificazione della pienezza del Brahman, e può anche impersonare molti singoli aspetti del Divino; la sua manifestazione più famosa è quella in cui compare come Natārāja, il Re dei Danzatori. Come Danzatore Cosmico, Śiva è il dio della creazione e della distruzione, che con la sua danza sostiene il ritmo senza fine dell'universo.

Anche Visnu appare sotto numerose forme, una delle quali è il dio Krsna della Bhagavad Gita. In generale, la funzione di Visnu è quella di conservare l'universo. La terza divinità della triade è Sakti, la Madre Divina, l'archetipo delle divinità femminili, che nelle sue numerose forme rappresenta l'energia femminile dell'universo.,

Sakti appare anche come moglie di Śiva e i due sono

spesso rappresentati in appassionati amplessi nelle splendide sculture dei templi sacri che irradiano una sensualità straordinaria, di un livello totalmente sconosciuto nell'arte religiosa occidentale. Contrariamente alla maggior parte delle religioni occidentali, nell'Induismo non è mai stato represso il piacere sensuale, perché il corpo è sempre stato considerato parte integrante dell'essere umano, non separato dallo spirito. L'indù, pertanto non cerca di controllare i desideri del corpo con la volontà cosciente, ma cerca di realizzarsi con tutto il suo essere, corpo e mente. L'Induismo ha addirittura prodotto una scuola, il Tantrismo medioevale, secondo la quale si cerca l'illuminazione attraverso una profonda esperienza di amore sensuale « in cui ciascuno è entrambi », in armonia con le parole delle Upanisad:

« Come un uomo tra le braccia della donna amata non è più cosciente né del mondo interiore né di quello esteriore, egualmente questo Purusa [spirito], abbracciato dallo Atman spirituale, non sa più nulla né del mondo esteriore né di quello interiore ».¹

Siva fu strettamente associato a questa forma medioevale di misticismo erotico, e così pure Sakti e numerose altre divinità femminili presenti in gran numero nella mitologia indù. Questa abbondanza di dee mostra di nuovo che nell'Induismo l'aspetto fisico e sensuale della natura umana, che è sempre stato associato al femminile, è una parte pienamente integrata del Divino. Le dee indù non sono presentate come vergini sacre, ma in amplessi sensuali di meravigliosa bellezza.

La mente occidentale si disorienta facilmente di fronte al numero favoloso di divinità che popolano la mitologia indù nelle loro varie manifestazioni e incarnazioni. Per comprendere come gli Indù riescano a tener conto di una tale massa di déi dobbiamo essere consapevoli dell'atteggiamento di fondo dell'Induismo secondo cui nel-

I. Brhad-āranyaka-upanisad., iv, m, 21.



Scultura in pietra. Khajurāho, India, circa 1000 d.C.

la sostanza tutte queste divinità sono identiche. Esse sono tutte manifestazioni della stessa realtà divina, che riflette aspetti differenti dell'infinito, onnipresente e, in definitiva, incomprensibile Brahman.

IL BUDDHISMO

Il Buddhismo è stato, per molti secoli, la tradizione spirituale dominante nella maggior parte dell'Asia, in particolare nei paesi dell'Indocina, a Ceylon, nel Nepal, nel Tibet, in Cina, in Corea e in Giappone. Come l'Induismo in' India, esso ha avuto una forte influenza sulla vita intellettuale, culturale e artistica di questi paesi. Diversamente dall'Induismo, però, il Buddhismo risale a un unico fondatore, Siddhārtha Gautama, il cosiddetto Buddha « storico >>. Egli visse in India nella metà del sesto secolo a.C., durante lo straordinario periodo che vide la nascita di tanti geni spirituali e filosofici: Confucio e Lao-tzu in Cina, Zarathustra in Persia, Pitagora ed Eraclito in Grecia.

Se l'orientamento dell'Induismo è mitologico e ritualistico, quello del Buddhismo è decisamente psicologico. Il Buddha non era interessato a soddisfare la curiosità umana sull'origine del mondo, sulla natura del Divino o su problemi analoghi, ma si preoccupò unicamente della condizione umana, delle sofferenze e delle frustrazioni degli esseri umani. La sua dottrina, perciò, non è una metafisica, ma una psicoterapia. Egli indicò l'origine delle frustrazioni umane e il modo per superarle, appro-

priandosi a tale scopo dei tradizionali concetti indiani di *māyā*, *karman*, *nirvana*, ecc., ai quali diede una interpretazione psicologica nuova, dinamica e di immediata rilevanza pratica.

Dopo la morte di Buddha, il Buddhismo produsse due scuole principali, la Hīnayāna e la Mahāyāna. La prima, detta anche Piccolo Veicolo, è una scuola ortodossa che segue alla lettera l'insegnamento del Buddha, mentre la seconda, detta anche Grande Veicolo, presenta un atteggiamento più flessibile, ritenendo che lo spirito della dottrina sia più importante della sua formulazione originaria. La scuola Hinayana si impiantò a Ceylon, in Birmania e in Tailandia, mentre quella Mahāyāna si diffuse in Nepal, Tibet, Cina e Giappone e divenne, alla fine, la più importante delle due scuole. In India, dopo molti secoli, il Buddhismo fu assorbito dal flessibile e ricettivo Induismo, e il Buddha venne infine accettato come una incarnazione di Visnu, il dio dai mille nomi.

Diffondendosi in tutta l'Asia, il buddhismo Mahāyāna venne in contatto con molti popoli di culture e mentalità diverse, i quali interpretarono la dottrina del Buddha dal loro punto di vista, elaborando dettagliatamente molti dei suoi aspetti più sottili e aggiungendovi le proprie idee originali. In questo modo il Buddhismo si mantenne vitale nei secoli e si svilupparono filosofie estremamente raffinate e con profonde intuizioni psicologiche.

Tuttavia, nonostante l'alto livello intellettuale di queste filosofie, il Buddhismo non si perde mai nel pensiero speculativo astratto. Come in tutto il misticismo orientale, l'intelletto è visto soltanto come un mezzo per aprire la strada all'esperienza mistica diretta, che i Buddhisti chiamano « risveglio >>. Il significato profondo di questa esperienza consiste nell'andare al di là del mondo degli opposti e delle distinzioni intellettuali, per raggiungere il mondo dell'*a-cintya*, l'impensabile, dove la realtà si manifesta come « essenza assoluta >>, indivisa e indifferenziata.

Questa fu l'esperienza che Siddhārtha Gautama ebbe

una notte, dopo aver trascorso nelle foreste sette anni di dura penitenza. Sedendo in profonda meditazione sotto il famoso Albero della Bodhi, l'albero dell'illuminazione, egli ottenne improvvisamente il chiarimento finale e definitivo di tutte le sue ricerche e di tutti i suoi dubbi nell'atto del « risveglio totale e insuperato » che fece di lui il Buddha, cioè « il Risvegliato o. Per il mondo orientale, l'immagine del Buddha nello stato di meditazione è significativa quanto l'immagine del Cristo crocifisso per l'Occidente, e ha ispirato in tutta l'Asia innumerevoli artisti che hanno creato splendide sculture.

Secondo la tradizione buddhista, subito dopo il suo risveglio il Buddha si recò a Benares, nel parco dei cerbiatti, per predicare la sua dottrina ai suoi antichi compagni eremiti. Egli la espose nella famosa enunciazione delle Quattro Nobili Verità, una densa presentazione della parte essenziale della dottrina, non molto diversa dalla diagnosi di un medico, che prima identifica la causa dei mali dell'umanità, quindi afferma che questi mali possono essere curati e infine prescrive il rimedio.

La Prima Nobile Verità indica la principale caratteristica della condizione umana, duhkha, che è dolore o frustrazione. Questa frustrazione deriva dalla difficoltà che abbiamo ad affrontare il fatto fondamentale della vita, il fatto cioè che intorno a noi tutto è precario e transitorio. « Tutte le cose nascono e muoiono o' diceva il Buddha, e l'idea che il fluire e il mutare sono aspetti fondamentali della natura sta alle radici del Buddhismo. Secondo la concezione buddhista, la sofferenza nasce ogni volta che ci opponiamo al fluire della vita e cerchiamo di attaccarci strettamente a forme fisse le quali sono tutte *mānyā*, siano esse cose, eventi, persone o idee. Questa dottrina della precarietà delle cose comprende anche l'idea che non esiste alcun ego, alcun sé

1. *Dhammapada*, VII [edizione italiana in *La saggezza dell'India*, a cura di Lin Yutang, Bompiani, Milano 1953, p. 383].

che sia il soggetto permanente delle nostre esperienze mutevoli. Il Buddhismo ritiene che l'idea di un sé individuale separato sia un'illusione, sia semplicemente un'altra forma di *maya*, un concetto intellettuale che non ha alcuna realtà. Attaccarsi a questo concetto, come a qualsiasi altra categoria fissa di pensiero, porta alla stessa frustrazione.

La Seconda Nobile Verità si occupa della causa di tutte le sofferenze, *trsnā*, che è l'attaccarsi o l'aggrapparsi; è il futile attaccamento alla vita basato su un punto di vista errato, detto *avidyā*, o ignoranza, nella filosofia buddhista. A causa di questa ignoranza, noi dividiamo il mondo che percepiamo in cose separate e distinte e cerchiamo quindi di racchiudere le forme fluide della realtà in categorie fisse create dalla mente. Finché prevale questo modo di vedere, siamo destinati a subire una frustrazione dopo l'altra. Tentando di attaccarci a cose che vediamo come fisse e persistenti, ma che in effetti sono transitorie e continuamente mutevoli, rimaniamo intrappolati in un circolo vizioso nel quale ogni azione genera altre azioni e la risposta data a ogni domanda suscita nuove domande. Nel Buddhismo, questo circolo vizioso è noto come *samsāra*, il *ciclo* di nascita-e-morte, ed è guidato dal *karman*, la catena senza fine di causa ed effetto.

La Terza Nobile Verità afferma che si può porre fine alla sofferenza e alla frustrazione. È possibile superare il circolo vizioso del *samsāra*, liberarsi dalla schiavitù del *karman*, e raggiungere uno stato di liberazione totale detto *nirvāna*. In questo stato, la falsa immagine di un sé separato è scomparsa per sempre e l'unicità di tutta la vita è diventata una sensazione costante. Il *nirvana* è l'equivalente della *moksa* della filosofia indù e, essendo uno stato di coscienza che trascende tutti i concetti intellettuali, sfugge a ogni descrizione. Raggiungere il *nirvāna* significa raggiungere il risveglio, o buddhità.

La Quarta Nobile Verità è la prescrizione del Buddha per porre fine a tutte le sofferenze mediante l'Ottuplice Sentiero dell'autoperfezionamento che porta allo stato

di buddhità. Le prime due parti di questa via, come è già stato detto, si occupano del retto vedere e del retto conoscere, cioè di una chiara introspezione nella condizione umana che è il punto di partenza necessario. Le quattro parti successive si occupano del retto agire. Esse danno le regole per il modo di vita buddhista, che è una Via Media tra estremi opposti. Le ultime due parti si occupano della retta consapevolezza e della retta meditazione e descrivono l'esperienza mistica diretta della realtà che è l'obiettivo finale.

Il Buddha non elaborò la sua dottrina fino a farne un sistema filosofico coerente, ma la considerò un mezzo per raggiungere l'illuminazione. Le sue asserzioni sul mondo si limitavano a sottolineare la precarietà di tutte le « cose ». Egli insistette sulla libertà da ogni autorità spirituale, compresa la propria, dicendo di poter solo indicare la via per arrivare alla buddhità e che poi toccava a ogni individuo percorrere fino in fondo questa via con le proprie forze. Le ultime parole del Buddha sul letto di morte esprimono bene la sua concezione del mondo e il suo atteggiamento di maestro. « Il deperimento è connaturato in tutte le cose composte » disse prima di morire. « Esercitati con assiduità ».¹

Nei primi secoli dopo la morte del Buddha, i più autorevoli monaci dell'ordine buddhista tennero diversi Grandi Concilii, durante i quali recitavano ad alta voce l'intero insegnamento o dirimevano controversie nell'interpretazione. Durante il quarto concilio, che si tenne nell'isola di Ceylon nel primo secolo d.C., la dottrina, che era stata imparata a memoria e tramandata oralmente per più di cinquecento anni, fu trascritta per la prima volta. Questo documento, scritto nella lingua Pāli, è noto come il Canone Pāli e forma la base della scuola ortodossa Hīnayāna. La scuola Mahāyāna, vice-

1. *Digha Nikaya*, XVI, 14 [edizione italiana: *Discorsi lunghi*, trad. di E. Frola, Laterza, Bari 1960].

versa, si basa su un certo numero di cosiddetti sūtra, testi sacri di vaste dimensioni, che furono scritti in sanscrito uno o due secoli dopo e che presentano l'insegnamento del Buddha in un modo molto più elaborato e sottile del Canone Pāli.

La scuola Mahāyāna si autodefinisce Grande Veicolo del Buddhismo perché offre ai suoi adepti una grande varietà di metodi, o « mezzi pratici », per raggiungere la buddhità. Questi spaziano da dottrine che mettono in rilievo la fede religiosa nell'insegnamento del Buddha, a elaborate filosofie in cui compaiono concetti che si avvicinano moltissimo al pensiero scientifico moderno.

Il primo a esporre la dottrina Mahāyāna fu Aśvaghosa, uno dei più profondi pensatori tra i patriarchi buddhisti, vissuto nel primo secolo dopo Cristo. Egli chiarì i pensieri fondamentali del buddhismo Mahāyāna – in particolare quelli relativi al concetto buddhista di « essenza assoluta » – in un piccolo libro intitolato *Mahāyānaśraddhōtpada*.* Questo testo lucido ed estremamente hello, che per molti aspetti ricorda la *Bhagavad Gita*, costituisce la prima trattazione rappresentativa della dottrina Mahayāna ed è diventato una delle fonti più importanti di tutte le scuole del buddhismo Mahāyāna.

Probabilmente Aśvaghosa ebbe una profonda influenza su Nāgārjuna, il più intellettuale tra i filosofi Mahāyāna, che si servì di una dialettica estremamente raffinata per mostrare i limiti di tutti i concetti di realtà. Con brillanti argomentazioni egli demolì le proposizioni metafisiche del suo tempo e quindi dimostrò che la realtà, in definitiva, non può essere afferrata con concetti e con idee. Perciò, egli la chiamò *sūnyatā*, « il vuoto », o « vacuità », un termine che è equivalente al *tathatā*, o « essenza assoluta » di Aśvaghosa: quando ci si rende conto della futilità di tutto il pensiero concettuale, si

* « Il risveglio della fede nel Mahāyāna », tradotto da D. T. Suzuki con il titolo *The Awakening of Faith*. Cfr. nota 1, p. 26 [N.d.T.].

percepisce la realtà come essenza assoluta pura e semplice.

L'asserzione di Nāgārjuna che la natura essenziale della realtà è vacuità è quindi ben lontana dall'essere quell'affermazione nichilista con la quale spesso viene confusa. Essa significa semplicemente che tutti i concetti elaborati dalla mente umana a proposito della realtà sono, in ultima analisi, nient'altro che vuoto. La realtà stessa, o vacuità, non è uno stato di puro non-essere, ma è la sorgente stessa di tutta la vita e l'essenza di tutte le forme.

Le concezioni del buddhismo Mahāyāna presentate fino a questo punto riflettono solo uno dei suoi aspetti, quello intellettuale e speculativo. Complementare a esso è la coscienza religiosa dei Buddhisti, la quale comporta fede, amore e compassione. Nel Mahāyāna, la vera saggezza illuminata (*bodhi*) è considerata come costituita da due elementi che D. T. Suzuki ha definito « i due pilastri che sostengono il grande edificio del Buddhismo ». Essi sono *prajnā*, che è saggezza trascendentale o intelligenza intuitiva, e *karunā*, che è amore o compassione.

Di conseguenza, nel buddhismo Mahāyāna la natura essenziale di tutte le cose non è descritta soltanto mediante i termini metafisici di essenza assoluta e vacuità, ma anche con il termine *Dharmakāya*, « il corpo dell'essere », che descrive la realtà come essa appare alla coscienza religiosa dei Buddhisti. Il *Dharmakāya* è simile al *Brahman* dell'Induismo. Esso pervade tutte le cose materiali dell'universo e si riflette anche nella mente umana come *bodhi*, la saggezza illuminata. E quindi spirituale e materiale nello stesso tempo.

L'importanza attribuita all'amore e alla compassione come momenti essenziali della saggezza ha trovato la sua più forte espressione nell'ideale del Bodhisattva, uno degli sviluppi caratteristici del buddhismo Mahāyāna. Un Bodhisattva è un essere umano altamente evoluto e vicino a divenire un Buddha, il quale non cerca l'illuminazione solo per se stesso, ma ha fatto voto di non

entrare nel nirvana prima di avere aiutato tutti gli altri esseri a raggiungere la buddhità. Questa idea risale al decisione del Buddha – presentata nella tradizione buddhista come una scelta consapevole e tutt'altro che facile – di non entrare semplicemente nel nirvāna, ma ritornare nel mondo per mostrare la strada della salve: za agli esseri umani suoi simili. L'ideale del Bodhisattva è anche coerente con la dottrina buddhista del non-io i quanto, se non esistono dei sé separati e individuali evidentemente l'idea di un individuo singolo che enti da solo nel nirvāna non ha molto senso.

L'importanza della fede, infine, è messa in rilievo nella cosiddetta scuola della « Terra Pura » del budhismo Mahāyāna. Questa scuola si fonda sulla dottrina buddhista secondo cui la natura originaria di tutti gli esseri umani è quella del Buddha, e sostiene che per entrare nel nirvāna, o nella « Terra Pura », si deve solamente avere fede nella propria originaria natura

Buddha.

Il culmine del pensiero buddhista è stato raggiunto, detta di numerosi studiosi, nella cosiddetta scuola *Avi tamsaka*, che si basa sul sūtra omonimo. Questo sūtra, è considerato il nucleo centrale del buddhismo Mahāyāna ed è esaltato da Suzuki nei termini più entusiasti:

« Per quanto riguarda l'*Avatamsaka-sūtra*, esso è realmente il coronamento del pensiero buddhista, del sentimento buddhista e dell'esperienza buddhista. A mio parere, in nessuna letteratura religiosa del mondo ci potrà mai avvicinare a una grandiosità di concezione, una profondità di sentimento, a un così gigantesco in pianto compositivo come si raggiungono in questo sūtra. Esso è l'eterna fontana della vita dalla quale nessun sentimento religioso può volgersi indietro assetata o solo parzialmente soddisfatta ».

Fu questo sūtra a stimolare più di qualsiasi altra cosa il pensiero cinese e giapponese quando il buddhismo Mahāyāna si diffuse in tutta l'Asia. Il contrasto tra i Cinesi e i Giapponesi da una parte e gli Indiani dall'altra è così grande da indurre a dire che essi rappresentano due poli della mente umana. Mentre i primi sono pratici, pragmatici e con interessi sociali, i secondi sono fantasiosi, metafisici e trascendentali. Quando i filosofi cinesi e giapponesi cominciarono a tradurre e a interpretare l'*Avatamsaka*, uno dei più grandi testi sacri prodotti dal genio religioso indiano, i due poli si combinarono per formare una nuova unità dinamica e il risultato furono in Cina la filosofia *Hua-yen* e in Giappone la filosofia *Kegon* che costituiscono, secondo Suzuki, « il punto più alto dello sviluppo del pensiero buddhista nell'Estremo Oriente degli ultimi duemila anni ».¹

Il tema centrale dell'*Avatamsaka* è l'unità e l'interrelazione di tutte le cose e di tutti gli eventi; un'idea che non solo è l'essenza stessa della concezione orientale del mondo, ma anche uno degli elementi fondamentali della concezione del mondo che emerge dalla fisica moderna. Si vedrà quindi come l'*Avatamsaka-sūtra*, questo antico testo religioso, offra le corrispondenze più sorprendenti con i modelli e le teorie della fisica moderna.

I. D.T. Suzuki, *The Essence of Buddhism*, cit., p. 54.

IL PENSIERO CINESE

Quando il Buddhismo arrivò in Cina, intorno al primo secolo dopo Cristo, incontrò una cultura che aveva più di duemila anni. In questa antica cultura, il pensiero filosofico aveva raggiunto il suo culmine durante la fase finale del periodo Chou (circa 500-221 a.C.), l'epoca aurea della filosofia cinese, e da allora in poi era sempre stato tenuto nella più alta considerazione.

Fin dall'inizio, questa filosofia ebbe due aspetti complementari. Poiché i Cinesi erano gente pratica, con una coscienza sociale altamente sviluppata, tutte le loro scuole di filosofia si interessarono, in un modo o nell'altro, dei problemi della vita nella società, dei rapporti umani, dei valori morali e del governo. Questo, tuttavia, è solo un aspetto del pensiero cinese. Complementare a esso è quello che corrisponde al lato mistico del carattere cinese, per il quale lo scopo più alto della filosofia dovrebbe consistere nel trascendere il mondo della società e della vita quotidiana per arrivare a un livello superiore di consapevolezza. Questo è il livello del saggio, l'ideale cinese di uomo illuminato che ha raggiunto l'unione mistica con l'universo.

Il saggio cinese, tuttavia, non si ferma esclusivamente

su questo elevato piano spirituale, ma si interessa con uguale impegno dei problemi del mondo. Egli unifica in sé i due lati complementari della natura umana – la saggezza intuitiva e la conoscenza pratica, la contemplazione e l'azione sociale – che i Cinesi hanno associato alle immagini del saggio e del re. Secondo Chuang-tzu, gli esseri umani pienamente realizzati « diventano santi per la loro immobilità, sovrani per la loro attività »)

Nel sesto secolo a.C., i due aspetti della filosofia cinese dettero origine a due scuole filosofiche distinte, il Confucianesimo e il Taoismo. Il Confucianesimo era la filosofia dell'organizzazione sociale, del senso comune e della conoscenza pratica; esso introdusse nella società cinese un sistema di istruzione e rigide regole di comportamento sociale. Uno dei suoi scopi principali consisteva nella formazione di una base etica per il sistema familiare cinese tradizionale, caratterizzato da una struttura complessa e dai rituali del culto degli antenati. Il 'Taoismo, viceversa, si interessava principalmente all'osservazione della natura e alla scoperta della Via, o *Tao*. La felicità umana, secondo i Taoisti, si raggiunge quando gli uomini seguono l'ordine naturale, agendo spontaneamente e affidandosi alla loro conoscenza intuitiva.

Queste due tendenze di pensiero rappresentano poli opposti della filosofia cinese, ma in Cina esse furono sempre considerate aspetti diversi di una sola e medesima natura umana, e pertanto complementari. Al Confucianesimo tutti riconoscevano una funzione importante nell'educazione dei bambini che dovevano imparare le regole e le convenzioni necessarie per la vita nella società, mentre normalmente erano gli adulti a seguire il Taoismo, allo scopo di riacquistare e sviluppare la spontaneità originaria che era stata distrutta dalle convenzioni sociali. Nei secoli undicesimo e dodicesimo, la scuola neoconfuciana tentò una sintesi del Confucianesimo, del Buddhismo e del Taoismo, che culminò nella filosofia di Chu Hsi, uno dei maggiori pensatori cinesi.

Egli fu un filosofo di grande valore, che univa una profonda conoscenza della dottrina confuciana con una penetrante comprensione del Buddhismo e del Taoismo, e che incorporò elementi di tutte e tre le tradizioni nella sua sintesi filosofica.

Il Confucianesimo trae il suo nome da K'ung fu-tzu, o Confucio, un maestro molto influente e con largo seguito, che riteneva suo compito principale trasmettere l'antica eredità culturale ai suoi discepoli. Nel fare ciò, tuttavia, egli non si limitò a una semplice trasmissione di sapere, in quanto interpretò le idee tradizionali secondo la sua personale concezione morale. I suoi insegnamenti si basavano sui cosiddetti Sei Classici, antichi testi di pensiero filosofico, di rituali, di poesia, di musica e di storia, che rappresentavano l'eredità spirituale e culturale dei « santi saggi » dell'antica Cina. La tradizione cinese ha associato Confucio con tutte queste opere, vuoi come autore, vuoi come commentatore e come curatore, ma secondo gli studiosi moderni egli non fu né l'autore, né il commentatore, e neppure il curatore di alcuno dei Classici. Le sue idee personali divennero note attraverso il *Lun Yü, o Analecta confuciana*, una raccolta di aforismi che fu compilata da alcuni dei suoi discepoli.

Il fondatore del Taoismo fu Lao-tzu, il cui nome letteralmente significa « Vecchio Maestro » e che, secondo la tradizione, era un contemporaneo più anziano di Confucio. A lui è attribuito un breve libro di aforismi che è considerato il principale testo taoista. In Cina di solito esso è chiamato semplicemente *Lao-tzu*, mentre in Occidente è generalmente noto come *Tao-tê-ching*, « Il Libro della Via e della Virtù », denominazione che gli venne data in seguito. Ho già accennato allo stile paradossale e al linguaggio possente e poetico di questo libro, che Joseph Needham considera « senza eccezione l'opera più profonda e più bella in lingua cinese ».¹

Il secondo libro taoista in ordine di importanza è il

1. J. Needham, *op. cit.*, vol. II, p. 35.

Chuang-tzu, un libro molto più lungo del *Tao-tê-ching*, il cui autore, Chuang-tzu, è vissuto secondo la tradizione circa duecento anni dopo Lao-tzu. Tuttavia, secondo gli studiosi moderni, il *Chuang-tzu*, e probabilmente anche il *Lao-tzu*, non possono essere considerati l'opera di un unico autore, ma piuttosto una raccolta di scritti taoisti compilati da autori diversi in epoche diverse.

Sia gli *Analecta confuciana* sia il *Tao-tê-ching* sono scritti nello stile compatto e suggestivo che è tipico del modo di pensare cinese. I Cinesi non erano portati al pensiero logico astratto e produssero una lingua molto diversa da quella che si sviluppò in Occidente. Molte delle parole di quella lingua potevano essere usate come sostantivi, aggettivi o verbi, e la loro successione non era determinata tanto da regole grammaticali quanto dal contenuto emotivo della frase. La parola cinese classica era molto diversa da un segno astratto che rappresenta un concetto chiaramente delineato. Era piuttosto un simbolo efficace, che aveva un forte potere di suggestione perché richiamava con vivacità alla mente un complesso indeterminato di vivide immagini e di emozioni. L'intenzione di chi parlava non era tanto quella di esprimere un'idea intellettuale, quanto di toccare e influenzare l'ascoltatore. Analogamente, il carattere scritto non era semplicemente un segno astratto, ma una forma organica — una *Gestalt* — che conservava l'intero complesso di immagini e il potere suggestivo della parola.

Poiché i filosofi cinesi si espressero in una lingua tanto adatta al loro modo di pensare, i loro scritti e le loro massime potevano essere brevi e non ben articolati, e tuttavia ricchi di immagini suggestive. E evidente che molte di queste immagini si perdono nella traduzione in una lingua occidentale. Per esempio, la traduzione di una frase del *Tao-tê-ching* può rendere solo una piccola parte del ricco complesso di idee contenute nell'originale; questa è la ragione per cui traduzioni diverse di questo libro controverso spesso sembrano testi completamente diversi. Come ha detto Fung Yu-Lan: « Occor-

rerebbero tutte le traduzioni già fatte e molte altre ancora da fare per comunicare la ricchezza del *Lao-tzu* e degli *Analecta confuciana* nella loro forma originaria ».1

I Cinesi, come gli Indiani, erano convinti che esistesse ' una realtà ultima, soggiacente alla molteplicità delle cose e degli eventi che osserviamo, e che li unifica:

« Tre grandi parole: omnicomprensività, universalità, totalità; nomi diversi per indicare un'unica realtà ».2

Essi chiamarono questa realtà il *Tao*, che originariamente significava « la Via ». Il *Tao* è la via, il procedere dell'universo, l'ordine della natura. In seguito, i Confuciani ne diedero una interpretazione differente. Essi parlarono del *Tao* dell'uomo, o del *Tao* della società umana, intendendo con esso la giusta via in senso morale.

Nel suo originario significato cosmico, il *Tao* è la realtà ultima, indefinibile, e in quanto tale è l'equivalente del *Brahman* indù o del *Dharmakaya* buddhista. Tuttavia esso differisce da questi concetti indiani per la sua qualità intrinsecamente dinamica che, nella concezione cinese, è l'essenza dell'universo. Il *Tao* è il processo cosmico nel quale tutte le cose sono immerse; il mondo è visto come flusso e mutamento ininterrotti.

Il Buddhismo indiano, con la sua dottrina della precarietà, ebbe una concezione del tutto simile, ma la considerò solo come la premessa fondamentale della condizione umana e proseguì a elaborarne le conseguenze psicologiche. I Cinesi, viceversa, non solo credevano che flusso e mutamento fossero le caratteristiche essenziali della natura, ma anche che in questi mutamenti esistessero degli schemi costanti osservabili dall'uomo. Il saggio riconosce questi schemi e regola il proprio agire in conformità con essi. In tal modo, egli

1. Fung Yu-Lan, *A Short History of Chinese Philosophy*, Macmillan, New York 1958, p. 14 [trad. it..*Storia detta filosofia cinese*, Mondadori, Milano 1956, p. 15].

2. *Chuang-tzu*, XXII, 160.

diviene « tutt'uno con il *Tao* », vive in armonia con la natura e riesce in tutto ciò che intraprende. Per usare le parole di Huai Nan-tzu, un filosofo del secondo secolo a.C.:

« Chi si conforma al corso del *Tao*, seguendo i processi naturali del Cielo e della Terra, trova facile dirigere il mondo intero ».¹

Quali sono, quindi, gli schemi della Via cosmica che l'uomo deve riconoscere? La principale caratteristica del *Tao* è la natura ciclica del suo movimento e del suo mutamento incessanti. « Il ritorno è il movimento della Via » dice Lao-tzu, e « Allontanarsi significa tornare ».² L'idea è che nella natura tutti gli sviluppi, sia quelli del mondo fisico sia quelli delle situazioni umane, presentano configurazioni cicliche di andata e ritorno, di espansione e contrazione.

Questa idea fu certamente desunta dai movimenti del Sole e della Luna e dall'alternarsi delle stagioni, ma in seguito fu anche assunta come regola di vita. I Cinesi credono che ogni volta che una situazione si sviluppa fino alle sue estreme conseguenze, essa sia costretta a invertire il proprio corso trasformandosi nel suo opposto. Questa convinzione di fondo ha dato loro coraggio e perseveranza nei momenti di dolore e li ha resi cauti e modesti nei momenti di successo. Li ha condotti alla dottrina dell'aurea mediocrità in cui credono sia i Confuciani che i Taoisti. « Il Santo » dice Lao-tzu « rifugge dall'eccesso, rifugge dallo sperpero, rifugge dal fasto ».³

Secondo la concezione cinese, è meglio avere troppo poco che avere troppo, ed è meglio lasciare un'opera incompiuta che compierla in eccesso, perché, se è vero che in questo modo non si va molto lontano, si è però sicuri di andare nella direzione giusta. Proprio come l'uomo che vuole andare sempre più lontano verso

1. Citato in f. Needham, *op. cit.*, vol. II, p. 51.

2. *Tao-tê-ching*, XL e xxv.

3. *Ibid. XXIX.*

Oriente finirà in Occidente, coloro che accumulano sempre più danaro per aumentare la loro ricchezza finiranno con l'essere poveri. La moderna società industriale che cerca continuamente di alzare il « livello di vita » e così facendo abbassa la qualità della vita per tutti i suoi membri è un esempio eloquente di questa antica saggezza cinese.

L'idea di configurazioni cicliche nel moto del *Tao* acquistò una struttura definita con l'introduzione delle polarità opposte *yin e yang*; questi sono i due poli che pongono i limiti per i cicli del mutamento:

« Quando lo *yang* ha raggiunto il suo massimo, esso si ritrae in favore dello *yin*; quando lo *yin* ha raggiunto il suo massimo, esso si ritrae in favore dello *yang* ».

Nella concezione cinese, tutte le manifestazioni del *Tao* sono generate dall'interazione dinamica di queste forze polari. Questa è un'idea antichissima e molte generazioni di uomini, hanno riflettuto sul simbolismo della coppia di archetipi *yin e yang*, fino a quando essa divenne il concetto fondamentale del pensiero cinese. In origine, i termini *yin e yang* indicavano rispettivamente i fianchi in ombra e al sole di una montagna, immagine che rende bene l'idea della relatività dei due concetti:

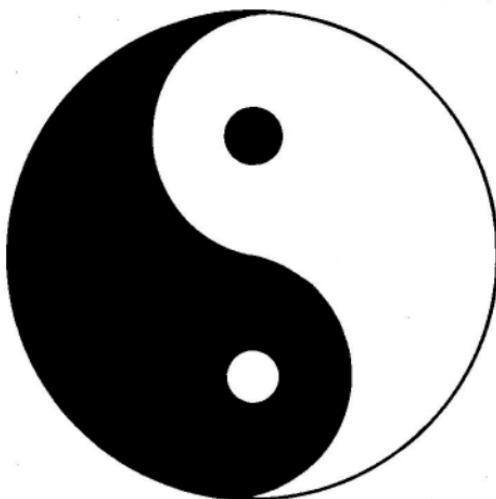
« Quello che fa comparire una volta l'oscuro ed una volta il chiaro, è il Senso [il *Tao*] ».²

Fin dai tempi più remoti, i due poli archetipi della natura furono rappresentati non solo da luminoso e oscuro, ma anche da maschile e femminile, rigido e flessibile, sopra e sotto. *Yang*, il potere creativo, maschile, forte, era associato al Cielo, mentre *yin*, l'elemento femminile e materno, buio, ricettivo, era rappresentato dalla Terra. Il Cielo sta sopra ed è pieno di movimento,

1. Wang Ch'ung, 80 d.C., citato in J. Needham, *op. cit.*, vol. IV, p. 7.

2. *The I Ching or Book of Changes*, Princeton University Press, Prince-ton, N.J. 1967, p. 297 [trad. it. *I King*, a cura di R. Wilhelm, Astrolabio, Roma 1950, p. 566].

la Terra – nella vecchia concezione geocentrica – sta sotto ed è immobile, e così *yang* divenne il simbolo del movimento e *yin* quello della quiete. Nel campo del pensiero, *yin* è la mente femminile, intuitiva e complessa, *yang* l'intelletto maschile, lucido e razionale. *Yin* è la quieta e contemplativa immobilità del saggio, *yang* la forte attività creativa del re.



Il carattere dinamico dello *yin* e dello *yang* è illustrato dall'antico simbolo cinese chiamato *T'ai-chi T'u*, o « Diagramma della Realtà Ultima »:

Questo diagramma è una disposizione simmetrica dell'oscuro *yin* e del luminoso *yang*, ma la simmetria non è statica. È una simmetria rotazionale che richiama alla mente, con estrema suggestione, un movimento ciclico continuo:

« Lo *yang* ritorna ciclicamente alle sue origini, lo *yin* raggiunge il suo massimo e lascia il posto allo *yang* ».¹

I due punti nel diagramma rappresentano l'idea che

1. Kuei Ku-tzu, quarto secolo a.C., citato in J. Needham, *op. cit.*, vol. IV, p. 6.

ogni volta una delle due forze arriva al suo massimo, essa contiene già in se stessa il seme del suo opposto.

La coppia *yin* e *yang* è il grandioso motivo conduttore che permea la cultura cinese e determina tutte le caratteristiche del tradizionale modo di vita cinese. « La tua vita » dice Chuang-tzu « è l'armonia in cui si fondono *yin* e *yang* ».¹ Essendo un popolo di contadini, i Cinesi hanno sempre fatto attenzione ai movimenti del Sole e della Luna e all'alternarsi delle stagioni. Le variazioni stagionali e i conseguenti fenomeni di crescita e di deperimento che si verificano nel mondo degli organismi viventi furono quindi visti da essi come le più evidenti manifestazioni dell'azione reciproca tra *yin* e *yang*, tra l'inverno freddo e buio e l'estate calda e luminosa. L'interazione stagionale dei due opposti si riflette anche nel cibo che mangiamo, che contiene elementi di *yin* e di *yang*. Per i Cinesi una dieta sana consiste nell'equilibrare questi elementi *yin* e *yang*.

Anche la medicina cinese tradizionale è basata sull'equilibrio di *yin* e di *yang* nel corpo umano e ogni malattia è vista come rottura di questo equilibrio. Il corpo è diviso in parti *yin* e in parti *yang*. In generale, l'interno del corpo è *yang*, la superficie del corpo è *yin*; il dorso è *yang*, la parte anteriore è *yin*; all'interno del corpo ci sono organi *yin* e organi *yang*. L'equilibrio tra tutte queste parti è mantenuto da un flusso continuo di *ch'i*, o energia vitale, lungo un sistema di « meridiani » che contengono i punti di stimolazione dell'agopuntura. A ogni organo è associato un meridiano in modo tale che i meridiani *yang* appartengono a organi *yin* e viceversa. Ogni volta che si blocca il flusso tra *yin* e *yang*, il corpo si ammala e la malattia viene curata inserendo degli aghi nei punti di stimolazione dell'agopuntura, per stimolare e ristabilire il flusso del *ch'i*.

L'azione reciproca tra *yin* e *yang*, la coppia primordiale di opposti, appare quindi come il principio che guida tutti i movimenti del *Tao*. Ma i Cinesi non si fermarono

1. Chuang-tzu, XXII, 158.

a questo punto; continuarono a studiare varie combinazioni *di yin e yang* che organizzarono in un sistema di archetipi cosmici. Questo sistema è elaborato nell'*I King*, o *Libro dei Mutamenti*.

Il *Libro dei Mutamenti* è il primo dei Sei Classici confuciani e deve essere considerato l'opera che costituisce il nucleo centrale del pensiero e della cultura cinesi. L'autorità e la stima di cui ha goduto in Cina per migliaia di anni sono paragonabili solo a quelle di scritture sacre come i *Veda* o la *Bibbia* in altre culture. Il famoso sinologo Richard Wilhelm inizia l'introduzione alla sua traduzione del libro con le seguenti parole:

« *Il Libro dei Mutamenti*, in cinese *I King*, è indiscutibilmente uno dei libri più importanti della letteratura mondiale. La sua origine risale all'antichità mitica. Di esso si sono occupati i più eminenti studiosi della Cina e continuano a farlo ancora oggi. Quasi tutto ciò che, nei tremila anni della storia culturale cinese, vi è di più grande e di più significativo o ha tratto ispirazione da questo libro, o ha esercitato una influenza sulla sua interpretazione; si può quindi affermare tranquillamente che nell'elaborazione dell'*I King* è entrata la matura saggezza di millenni ».¹



Il *Libro dei Mutamenti* è quindi un'opera cresciuta organicamente nel corso di migliaia di anni e risulta costituito da molti strati che provengono dai più importanti periodi del pensiero cinese. Il punto di partenza del libro fu una raccolta di sessantaquattro figure, o « esagram-

1. / *King*, trad. cit., dall'introduzione di R. Wilhelm, p. 33. ,

mi », del tipo qui riprodotto, che si basano sul simbolismo *yin yang* e che furono usate come oracoli. Ciascun esagramma è composto da sei linee che possono essere sia spezzate (*yin*) sia continue (*yang*); nel loro insieme, le sessantaquattro figure costituiscono tutte le possibili disposizioni di quel genere. Questi esagrammi, che saranno esaminati più in dettaglio in un prossimo capitolo, furono considerati archetipi cosmici rappresentanti le configurazioni del *Tao* nella natura e nelle situazioni umane. A ognuno di essi fu assegnato un nome accompagnato da un breve testo, chiamato « Commento per decidere », che indica il tipo di attività che si addice alla configurazione cosmica in questione. Il cosiddetto « Commento per le immagini » è un altro breve testo, aggiunto in data posteriore, che elabora il significato dell'esagramma in poche righe, spesso estremamente poetiche. Un terzo commento interpreta ciascuna delle sei linee dell'esagramma con un linguaggio ricco di immagini mitiche che in molti casi sono difficili da comprendere.

Questi tre tipi di commenti costituiscono le parti fondamentali del libro che erano usate per la divinazione. Per determinare l'esagramma corrispondente alla situazione personale dell'interrogante, veniva usato un elaborato rituale in cui ci si serviva di cinquanta bastoncini di genepi. L'idea era quella di rendere visibile nell'esagramma la configurazione cosmica di quel momento e di apprendere dall'oracolo quale tipo di attività fosse adatto in tale situazione:

« Nei mutamenti vi sono immagini, per mostrare; sono aggiunte sentenze, per delucidare; si determinano salute o sciagura, per decidere ».¹

Nel consultare l'*I King*, lo scopo non era quindi semplicemente di conoscere il futuro, ma piuttosto di scoprire la disposizione della situazione attuale in modo da poter intraprendere le azioni appropriate. Questo at-

1. Ibid., p. 585.

teggiamento innalzò l'*I King* al di sopra del livello di un ordinario libro di divinazione e ne fece un libro sapienziale.

L'uso dell'*I King* come libro sapienziale ha di fatto un'importanza di gran lunga maggiore del suo uso come oracolo. Durante tutte le epoche, esso ha ispirato le menti più eminenti della Cina, tra cui Lao-tzu, il quale trasse da questa fonte alcuni dei suoi più profondi aforismi. Confucio lo studiò intensamente e la maggior parte dei commentari al testo che costituiscono gli strati più tardi del libro risalgono alla sua scuola. Questi commentari, le cosiddette « Dieci Ali », uniscono l'interpretazione strutturale degli esagrammi con spiegazioni filosofiche.

Al centro dei commentari confuciani, come di tutto l'*I King*, sta il grande rilievo dato all'aspetto dinamico dei fenomeni. L'incessante trasformazione di tutte le cose e di tutte le situazioni è il messaggio essenziale del *Libro dei Mutamenti* :

I Mutamenti sono un libro,
 Dal quale non bisogna star lontani. Costantemente muta il Senso
 suo,
 Alterazione e moto senza requie,
 Fluiscono per i sei vuoti posti;
 Salendo e ricadendo senza dimorare,
 I solidi e i teneri si mutano.
 Racchiuderli non vale in una norma;
 E solo alteramento quello che qui opera¹

1. Ibid., p. 606.

IL TAOISMO

Delle due principali tendenze del pensiero cinese, il Confucianesimo e il Taoismo, il secondo è quello orientato in senso mistico e quindi è quello che serve di più per il nostro confronto con la fisica moderna. Come l'Induismo e il Buddhismo, il Taoismo è interessato più alla saggezza intuitiva che alla conoscenza razionale. Riconoscendo i limiti e la relatività del mondo del pensiero razionale, il Taoismo è, fondamentalmente, una via di liberazione da questo mondo, ed è paragonabile, sotto questo punto di vista, alle vie dello Yoga o del Vedanta nell'Induismo, o all'Ottuplice Sentiero del Buddha. Nel contesto della cultura cinese, la liberazione taoista significò, più specificamente, una liberazione dalle rigide regole delle convenzioni.

La diffidenza per la conoscenza e per il ragionamento convenzionali è più forte nel Taoismo che in qualsiasi altra scuola di filosofia orientale, e si basa sulla ferma convinzione che l'intelletto umano non può mai comprendere il *Tao*. Secondo Chuang-tzu:

« ... per comprenderlo perfettamente non ci vuol sa-

pienza, per discernerlo non ci vuoi intelligenza: il Santo ne fa a meno ».

Il libro di Chuang-tzu è pieno di passi che riflettono il disprezzo dei Taoisti per il ragionamento e l'argomentazione logica. Ad esempio, egli dice:

« Un cane non viene considerato valente perché è bravo ad abbaiare, un uomo non viene considerato eccellente perché è bravo a parlare ».²

« Chi discute dimostra di non avere chiarezza di idee ».³

I Taoisti consideravano il ragionamento logico come parte del mondo artificiale dell'uomo, insieme con le convenzioni sociali e con le regole morali. Essi non erano affatto interessati a questo mondo, ma concentravano totalmente la loro attenzione sull'osservazione della natura al fine di riconoscere le « caratteristiche del *Tao* »; acquisirono perciò un atteggiamento che era sostanzialmente scientifico e solo la loro profonda diffidenza per il metodo analitico impedì loro di costruire teorie scientifiche corrette. Ciononostante, l'accurata osservazione della natura, unita a una forte capacità di penetrazione mistica, portò i saggi taoisti a intuizioni profonde che sono confermate dalle teorie scientifiche moderne.

L'aver compreso che la trasformazione e il mutamento sono caratteristiche essenziali della natura fu una delle intuizioni più importanti dei Taoisti. Un passo del *Chuang-tzu* illustra chiaramente come si percepì l'importanza fondamentale del mutamento osservando il mondo organico:

« Nel trasformarsi e sorgere delle creature i germogli hanno una forma secondo la specie, una gradualità di

1. Chuang-tzu, XXII, 159.

2. Ibid., XXIV, 185.

3. Ibid., n, 14.

rigoglio e di decadenza, un flusso di cambiamenti e di trasformazioni ».¹

I Taoisti interpretarono tutti i mutamenti della natura come manifestazioni dell'interazione dinamica tra i poli opposti *yin* e *yang*, e giunsero quindi a ritenere che ogni coppia di opposti costituisce una relazione polare in cui ciascuno dei due poli è legato dinamicamente all'altro. Per la mente occidentale, questa idea dell'implicita unità di tutti gli opposti è estremamente difficile da accettare. Ci sembra del tutto paradossale l'idea che esperienze e valori che avevamo sempre creduto contrari siano, in definitiva, aspetti differenti della medesima cosa. In Oriente, tuttavia, si è sempre considerato essenziale per arrivare all'illuminazione il consiglio dato ad Arjuna nella *Bhagavad Gita* di andare « al di là delle opposizioni terrene »,² e in Cina la relazione polare tra tutti gli opposti è la base stessa del pensiero taoista. Chuang-tzu per esempio afferma:

« L'"io" è anche l'"altro", l'"altro" è anche l'"io"… Che l'"io" e l'"altro" non siano più in contrapposizione è la vera essenza del *Tao*. Solo questa essenza, che appariva come un asse, è il centro del cerchio che risponde ai mutamenti perenni ».³

Dall'idea che i movimenti del *Tao* sono una continua interazione tra opposti, i Taoisti dedussero due regole fondamentali per la condotta umana. Ogni volta che si vuol ottenere una cosa, essi dicevano, bisogna iniziare dal suo opposto. Ecco che cosa dice Lao-tzu:

Se si vuole restringere, bisogna (innanzitutto) estendere.
Se si vuole indebolire, bisogna (innanzitutto) rafforzare. Se si vuole far perire, bisogna (innanzitutto) far fiorire.

1. Ibid., XIII, 89.

2. *Bhagavad Gita*, II, 45.

3. Fung Yu-Lan, op. cit., p. 112.

Se si vuole prender possesso, bisogna (innanzitutto) offrire.
Questo è ciò che si chiama una visione sottile ».¹

D'altro canto, ogni volta che si vuoi tenere una cosa, bisogna accettare che in essa ci sia qualche cosa del suo opposto:
Ciò che è tortuoso diventa diritto. Ciò che è vuoto diventa pieno.
Ciò che è consumato diventa nuovo.²

Questo è il modo di vivere del saggio che ha raggiunto un punto di vista superiore, una prospettiva dalla quale vengono percepite chiaramente la relatività e la relazione polare di tutti gli opposti. Fra questi opposti ci sono anzitutto, i concetti di buono e di cattivo che sono interconnessi nello stesso modo in cui lo *solo yin e yang*. Essendosi reso conto della relatività di buono e cattivo, e quindi di tutte le norme morali, il saggio taoista non lotta per il buono ma cerca piuttosto di mantenere un equilibrio dinamico tra buono e cattivo. Su questo punto, Chuang-tzu è molto esplicito:

« Perciò dire: "Seguire e onorare il bene ed evitare il male" e "seguire e onorare il buongoverno ed evitare il malgoverno" significa non capire i principi del Cielo e della Terra e le qualità naturali delle creature. Sarebbe come seguire e onorare il Cielo e non tener conto della Terra, seguire e onorare lo *yin* e non tener conto dello *yang*: è chiaro che non si può fare ».³

È sorprendente che, nello stesso periodo in cui Laotzu e i suoi discepoli elaboravano la loro concezione del mondo, gli aspetti essenziali di questa visione taoista furono insegnati anche in Grecia, da un uomo i cui insegnamenti ci sono noti solo da pochi frammenti e che fu ed è ancora molto spesso frainteso. Questo « taoista » greco era Eraclito di Efeso. Il suo pensiero ha in comune

1. Tao-tê-ching, XXXVI.

2. Ibid., XXII.

3. Chuang-tzu, XVII, 108.

con quello di Lao-tzu non solo l'importanza data al mutamento continuo, espresso nel famoso detto « tutto fluisce », ma anche l'idea che tutti i mutamenti sono ciclici. Egli paragonò l'ordine del mondo a « un fuoco sempre vivente, che divampa secondo misure e si spegne secondo misure »,¹ un'immagine che in realtà è molto simile all'idea cinese del *Tao*, il quale si manifesta nell'interazione ciclica tra yin e yang.

È facile vedere in quale modo il concetto di mutamento, inteso come interazione dinamica degli opposti, abbia portato Eraclito, analogamente a Lao-tzu, alla scoperta che tutti gli opposti sono polari e quindi formano un tutto unico. « La strada all'in su e all'in giù è una sola e la medesima » disse il filosofo greco, e ancora: « il dio è giorno notte, inverno estate, guerra pace, sazietà fame ».² Come i Taoisti, egli vedeva ogni coppia di opposti come un'unità ed era ben consapevole della relatività di tutti questi concetti. Ancora una volta le parole di Eraclito: « Le cose fredde si riscaldano, il caldo si raffredda, l'umido si dissecca, \il riarsi si inumidisce »³ ci ricordano quelle di Lao-tzu: « Il difficile e il facile si completano l'un l'altro... i suoni e la voce si armonizzano l'un l'altro; il prima e il dopo si seguono l'un l'altro ».⁴

E strano che la grande somiglianza tra le concezioni del mondo di questi due saggi del sesto secolo a.C. non sia in genere conosciuta. Eraclito viene spesso menzionato in rapporto alla fisica moderna, ma quasi mai in rapporto al Taoismo. Eppure proprio questa connessione col Taoismo mostra nel modo più chiaro che la sua concezione del mondo era quella di un mistico e in tal modo, a mio giudizio, colloca nella giusta prospettiva le corrispondenze tra le sue idee e quelle della fisica moderna.

1. In G.S. Kirk, *Heraclitus-- The Cosmic Fragments*, Cambridge University Press, Cambridge 1970, p. 307 [edizione italiana: in G. Colli, *La sapienza greca*, Adelphi, Milano 1977-1980, vol. m, *Eraclito*, fr. 14, A 30].

2. Ibid., pp. 105, 184 [ed. it. cit., fr. 14, A 33 e fr. 14, A 91].

3. Ibid., p. 149 [ed. it. cit., fr. 14, A 108].

4. *Tao-tê-ching*, ii.

Quando parliamo del concetto taoista di mutamento, è importante rendersi conto che il mutamento è considerato non come la conseguenza di una qualche forza, ma piuttosto come una tendenza innata in tutte le cose e in tutte le situazioni. I movimenti del *Tao* non vengono imposti a esso, ma si verificano naturalmente e spontaneamente. La spontaneità è il principio di attività del *Tao*, e poiché la condotta umana dovrebbe essere modellata sull'operare del *Tao*, la spontaneità dovrebbe caratterizzare anche tutte le azioni umane. Per i Taoisti, dunque, agire in armonia con la natura significa agire spontaneamente e secondo la propria vera natura. Significa aver fiducia nella propria intelligenza intuitiva, che è innata nella mente umana, così come le leggi del mutamento sono innate in tutte le cose che ci circondano.

Le azioni del saggio taoista scaturiscono quindi dalla sua saggezza intuitiva, spontaneamente e in armonia con il suo ambiente. Egli non ha bisogno di forzare se stesso, né alcunché attorno a lui, ma deve soltanto adattare le sue azioni ai movimenti del *Tao*. Per usare le parole di Huai Nan-tzu:

« Colui che segue l'ordine naturale fluisce nella corrente del *Tao* ».¹

Nella filosofia taoista, un modo di agire di questo genere è chiamato *wu-wei*, un termine che letteralmente significa « non-azione » e che Joseph Needham traduce con « astenersi da attività in contrasto con la natura », giustificando questa interpretazione con una citazione da un commentario del *Chuang-tzu*:

« Non-azione non significa non fare nulla e stare in silenzio, ma lasciare che ogni cosa possa fare ciò che fa naturalmente, in modo che la sua natura sia soddisfatta ».²

1. Citato in J. Needham, *op. cit.*, vol. II, p. 88.

2. Kuo Hsiang, commentario al *Chuang-tzu*, citato in J. Needham, *op. cit.*, vol. II, p. 69.

Se ci asteniamo dall'agire in modo contrario alla natura o, come dice Needham, dall'o andare contro la naturale inclinazione delle cose », siamo in armonia con il *Tao* e quindi le nostre azioni saranno coronate da successo. Questo è il significato delle parole di Lao-tzu, apparentemente così enigmatiche: « Non agendo; non esiste niente che non si faccia ».¹

Il contrasto tra *yin* e *yang* non è solo il fondamentale principio ordinatore di tutta la cultura cinese, ma si riflette anche nelle due tendenze dominanti del pensiero cinese. Il Confucianesimo era razionale, maschile, attivo e dominatore; il Taoismo, viceversa, dava importanza a tutto ciò che era intuitivo, femminile, mistico e arrendevole. « Somma cosa è non sapere di sapere » dice Lao-tzu, e « Il Santo fa ciò che deve fare senza azioni, comunica i suoi insegnamenti senza parole ».² I Taoisti erano convinti che, mettendo in primo piano le caratteristiche femminili, arrendevoli della natura umana, fosse facilissimo condurre una vita perfettamente equilibrata in armonia con il *Tao*. Il loro ideale è riassunto nel modo migliore in un brano del *Chuang-tzu* che descrive una specie di paradiso taoista:

« Quando ancora non si era usciti dal caos, gli uomini antichi erano partecipi della placida indifferenza che permeava tutto il mondo. A quell'epoca lo *yin* e lo *yang* erano armoniosi e calmi, il loro riposo e il loro movimento non erano disturbati, le quattro stagioni giungevano a tempo debito, le diecimila creature non erano danneggiate, gli esseri viventi non morivano prematuramente. Anche se qualcuno aveva la capacità di conoscere, non la usava mai. Questo era lo stato della somma unità. A quell'epoca nessuno agiva, ma tutti seguivano sempre la spontaneità ».³

1. *Tao-tê-ching*, XLVIII.

2. *Ibid.*, LXXI-LXXII.

3. *Chuang-tzu*, XVI, 106.

9.

LO ZEN

Quando il pensiero cinese entrò in contatto con quello indiano attraverso il Buddhismo, intorno al primo secolo d.C., si ebbero due sviluppi paralleli. Da una parte, la traduzione *dei sūtra* buddhisti stimolò i pensatori cinesi e li portò a interpretare gli insegnamenti del Buddha indiano alla luce delle loro filosofie. Nacque così uno scambio estremamente fruttuoso di idee che, come abbiamo già accennato, culminò in Cina nella scuola di buddhismo *Hua yen* (in sanscrito *Avatamsaka*) e in Giappone nella scuola *Kegon*.

Dall'altra invece, il lato pragmatico della mentalità cinese rispose al forte influsso del Buddhismo indiano con la tendenza a privilegiarne gli aspetti pratici; si sviluppò così un tipo particolare di disciplina spirituale che fu chiamata *Ch'an*, un termine comunemente tradotto con meditazione. Intorno al 1200 d.C. questa filosofia *Ch'an fu* infine recepita dal Giappone; qui, col nome di Zen, è stata coltivata, come tradizione viva fino ai giorni nostri.

Lo Zen è quindi una mescolanza singolare delle filosofie e delle specificità di tre culture differenti. È un modo di vita tipicamente giapponese e tuttavia riflette il

misticismo dell' India, l'amore dei Taoisti per la naturalezza e la spontaneità e il profondo pragmatismo della mentalità confuciana.

Nonostante il suo carattere piuttosto speciale, nella sua essenza lo Zen è prettamente buddhista, perché non ha altro scopo che quello del Buddha stesso: raggiungere l'illuminazione, esperienza che nello Zen è chiamata satori. L'esperienza dell'illuminazione è l'essenza di tutte le scuole della filosofia orientale, ma lo Zen è unico in quanto si concentra esclusivamente su questa esperienza e non è interessato ad alcuna interpretazione ulteriore. Come dice Suzuki, « lo Zen è la disciplina dell'illuminazione o. Per lo Zen il risveglio del Buddha e il suo insegnamento secondo il quale tutti hanno la possibilità di raggiungere tale risveglio sono l'essenza del Buddhismo. Il resto della dottrina, esposta in voluminosi sūtra, è considerato accessorio.

L'esperienza dello Zen è quindi l'esperienza del satori e poiché, in definitiva, essa trascende tutte le categorie del pensiero, lo Zen non è interessato ad alcuna astrazione o concettualizzazione. Non ha una dottrina o una filosofia specifica, non ha dogmi né credi formali; e afferma che questa libertà da tutte le credenze rigidamente definite lo rende autenticamente spirituale.

Più di qualsiasi altra scuola del misticismo orientale, lo Zen è convinto che le parole non possono mai esprimere la verità ultima. Esso ha probabilmente ereditato questa convinzione dal Taoismo, che aveva lo stesso atteggiamento intransigente. « Uno che risponde a chi lo interroga sul *Tao* » diceva Chuang-tzu « non conosce il *Tao*. L'altro, anche se interroga sul *Tao*, non udrà parlare del *Tao* ».¹

Eppure l'esperienza Zen può essere trasmessa dal maestro all'allievo, e in effetti è stata trasmessa per molti secoli con metodi particolari, propri dello Zen. In un riassunto classico di quattro righe, lo Zen è definito:

1. Chuang-tzu, XXII, 162.

Una trasmissione speciale al di fuori delle scritture, Che non si basa su parole e lettere,
 Ma punta direttamente alla mente dell'uomo,
 Che vede nella propria natura e raggiunge la buddhità.

Questa tecnica del « puntare direttamente » costituisce la peculiarità dello Zen. Essa è tipica della mentalità giapponese la quale è più intuitiva che intellettuale e preferisce presentare i fatti come fatti, senza tanti commenti. I maestri Zen non indulgevano alla verbosità e sdegnavano qualsiasi teorizzazione e speculazione. Pertanto elaborarono metodi che consistevano nel puntare direttamente alla verità, con azioni o parole spontanee e improvvise che evidenziano i paradossi del pensiero concettuale e che, come i *koan cui* ho già accennato, sono intesi a bloccare il processo del pensiero e a rendere l'allievo pronto per l'esperienza mistica. Questa tecnica è ben illustrata dai seguenti esempi di brevi conversazioni tra maestro e discepolo. In queste conversazioni, in cui si raccoglie gran parte della letteratura Zen, il maestro parla il meno possibile e usa le sue parole per spostare l'attenzione dell'allievo dai pensieri astratti alla realtà concreta.

« Un monaco, chiedendo istruzione, disse a Bodhidharma: "Non ho la pace della mente. Ti prego rasserenala mia mente".

« "Portami la tua mente qui, dinanzi a me" replicò Bodhidharma "e io la pacificherò".

« "Ma quando cerco la mia mente" disse il monaco "non riesco a trovarla".

« "Ecco!" gridò allora Bodhidharma. "Ho pacificato la tua mente" ».¹

« Un monaco disse a Joshu: "Sono appena entrato a far parte del monastero. Ti prego, istruiscimi". « Joshu domandò: "Hai mangiato la tua zuppa di

1. A. W. Watts, trad. cit., p. 100.

riso?". Il monaco rispose: "L'ho mangiata". Joshu disse: "Allora faresti meglio a lavare la tua ciotola ».¹

Questi dialoghi rivelano un altro aspetto che è caratteristico dello Zen. L'illuminazione, nello Zen, non significa ritiro dal mondo ma, al contrario, significa partecipazione attiva alle attività quotidiane. Questo orientamento era in perfetta armonia con la mentalità cinese che attribuiva grande importanza a una vita pratica e produttiva e all'idea della perpetuazione della famiglia, e non poteva accettare il carattere monastico del Buddhismo indiano. I maestri cinesi misero sempre in rilievo che il *Ch'an*, o Zen, è la nostra esperienza quotidiana, la « mente quotidiana » come affermava Ma-tzu. Essi sottolineavano che il risveglio deve avvenire durante le attività della vita quotidiana e affermavano che quest'ultima non era per loro solo la via all'illuminazione, ma l'illuminazione stessa.

Nello Zen, *satori* significa esperienza immediata della natura-Buddha di tutte le cose. E fra queste cose vi sono, in primo luogo, le persone, gli oggetti e le attività che fanno parte della vita quotidiana, cosicché lo Zen è profondamente mistico nonostante che sottolinei gli aspetti pratici della vita. Vivendo interamente nel presente e prestando piena attenzione alle attività quotidiane, chi ha raggiunto il *satori* sente il prodigo e il mistero della vita in ogni singolo atto:

Com'è mirabile ciò, com'è misterioso!
Io trasporto legna da ardere, io attingo l'acqua.²

La perfezione Zen consiste dunque nel vivere la propria vita quotidiana in maniera naturale e spontanea. Quando fu chiesto a Po-chang di definire lo Zen, egli disse: « Quando ho fame mangio, quando sono stanco

1. In P. Reps, *Zen Flesh, Zen Bones*, Anchor Books, New York p. 96 [si veda *101 Storie Zen*, a cura di N. Senzaki e Paul Reps, Adelphi, Milano 1973, 1982⁸].

2. D.T. Suzuki, *Zen and Japanese Culture*, Bollingen Series, New York 1959, p. 16.

dormo ». Sebbene questa affermazione suoni semplice e ovvia, come tante altre dello Zen, si tratta in effetti di un compito veramente difficile. Riacquistare la spontaneità della nostra natura originaria richiede un lungo esercizio e costituisce una grande conquista spirituale. Per usare le parole di un famoso detto Zen:

Prima di praticare lo Zen, le montagne mi sembravano montagne, e i fiumi mi sembravano fiumi. Da quando pratico lo Zen, vedo che i fiumi non sono più fiumi e le montagne non sono più montagne. Ma da quando ho raggiunto l'illuminazione, le montagne sono di nuovo montagne e i fiumi di nuovo fiumi ».

Il grande rilievo che lo Zen dà alla naturalezza e alla spontaneità ne rivela in maniera chiara la matrice taoista; ma alla sua base c'è un elemento rigorosamente buddhista, cioè la convinzione che la nostra natura originaria sia perfetta e che il processo di illuminazione consista semplicemente nel diventare ciò che già siamo fin dall'inizio. Quando fu chiesto al maestro Zen Pochang come si cerca la natura-Buddha, egli rispose: « E come cavalcare il bue in cerca del bue ».

Attualmente, in Giappone esistono due scuole principali di Zen che differiscono nei loro metodi di insegnamento. La scuola Rinzai, o scuola del « cambiamento improvviso », usa il metodo dei *koan*, che abbiamo esaminato in un capitolo precedente, e dà importanza a periodici colloqui formali con il maestro, chiamati *san-zen*, durante i quali viene chiesto all'allievo di presentare il suo punto di vista sul *koan* che sta cercando di risolvere. La soluzione di un *koan* comporta lunghi periodi di intensa concentrazione, da cui si arriva all'improvviso all'esperienza del *satori*. Un maestro esperto sa quando l'allievo ha raggiunto la soglia dell'illuminazione improvvisa ed è capace di farlo precipitare nell'esperienza del *satori* con atti inaspettati, come un colpo di bacchetta o un forte grido. La scuola Soto, o scuola « graduale », evita i metodi

d'urto della scuola Rinzai e mira alla maturazione graduale dell'allievo Zen, « come la brezza primaverile che carezza i fiori aiutandoli a fiorire ».¹ Essa raccomanda come forme di meditazione « lo stare seduti quietamente » e lo svolgimento della propria normale attività di lavoro.

Sia la scuola Soto sia la scuola Rinzai attribuiscono la massima importanza allo *zazen*, o « meditazione stando seduti o, che è praticato nei monasteri Zen per molte ore ogni giorno. La posizione e il modo di respirare richiesti per questo tipo di meditazione sono la prima cosa che ogni allievo Zen deve imparare. Nella scuola Rinzai, lo *zazen* è usato per preparare la mente intuitiva alla soluzione del *koan*, mentre la scuola Soto lo considera il più importante mezzo per aiutare l'allievo a maturare e ad avvicinarsi al satori. Meglio ancora, esso è visto come l'effettiva realizzazione della propria natura-Buddha, essendo il corpo e la mente fusi in una armoniosa unità che non richiede ulteriori perfezionamenti. Come dice una poesia Zen:

Sedendo quietamente, senza far nulla, Viene la primavera, e l'erba cresce da sé.²

Poiché lo Zen afferma che l'illuminazione si manifesta nelle attività quotidiane, esso ha avuto un'enorme influenza su tutti gli aspetti del modo di vita giapponese tradizionale. Fra questi ci sono non solo le arti della pittura, della calligrafia, della progettazione dei giardini, ecc., e i vari lavori artigianali, ma anche attività ceremoniali come servire il tè o sistemare i fiori, e le arti marziali del tiro con l'arco, della spada, e del *judo*. Ognuna di queste attività è nota in Giappone come un *do*, cioè un *Tao* o « via » verso l'illuminazione. Esse servono tutte a far conoscere i diversi aspetti dell'esperienza Zen e possono essere usate per preparare la mente e per metterla in contatto con la realtà ultima.

1. In P. Kapleau, *op. cit.*, p. 49.

2. Da *Zenrin kushu*, in A.W. Watts, trad. cit., p. 146.

Ho già ricordato le lente attività ritualistiche del *cha-no-yu*, la cerimonia giapponese del tè, il movimento spontaneo della mano richiesto per la calligrafia e la pittura, e la spiritualità del *bushido*, la « via del guerriero ». Tutte queste arti sono espressioni della spontaneità, della semplicità e della totale presenza della mente tipiche della vita Zen. Mentre esse richiedono tutte un perfezionamento della tecnica, la reale padronanza è raggiunta solo quando la tecnica è trascesa e l'arte diventa un « arte spontanea », che scaturisce dall'inconscio.

Abbiamo la fortuna di avere una meravigliosa descrizione di questa « arte spontanea » nel libretto di Eugen Herrigel, *Zen in the Art of Archery*.¹ Herrigel trascorse più di cinque anni con un celebre maestro giapponese per imparare quest'arte « mistica », e nel suo libro ci fornisce un resoconto personale di come fece l'esperienza dello Zen attraverso il tiro con l'arco. Egli racconta che il tiro con l'arco gli venne presentato come un rituale religioso che viene « danzato » con movimenti spontanei, senza sforzo e senza finalità. Gli furono necessari molti anni di duro esercizio, che trasformarono il suo intero essere, per imparare a tendere l'arco « spiritualmente », con una specie di forza spontanea, e a rilasciare la corda « senza intenzione », lasciando che la freccia « cada dall'arciere come un frutto maturo ». Quando l'arciere raggiungeva la massima perfezione, l'arco, la freccia, il bersaglio e l'arciere si fondevano tutti l'uno nell'altro ed egli non faceva scoccare la freccia, ma « la freccia » stessa lo faceva per lui.

La descrizione di Herrigel del tiro con l'arco è una delle storie Zen più pure, perché egli non parla affatto dello Zen.

1. Vintage Books, New York 1971 [*trad. it. Lo Zen e il tiro con l'arco*, Adelphi, Milano 1975, 1982⁶].

III
LE CORRISPONDENZE

10. L'UNITÀ DI TUTTE LE COSE

Sebbene le tradizioni spirituali descritte negli ultimi cinque capitoli differiscano in numerosi particolari, la loro concezione del mondo è sostanzialmente la stessa. Essa si basa sull'esperienza mistica – un'esperienza diretta, non intellettuale della realtà – che possiede alcune caratteristiche fondamentali indipendenti dal contesto geografico, storico o culturale del mistico. Un indù e un taoista possono sottolineare aspetti diversi dell'esperienza; un buddhista giapponese può interpretare la propria esperienza in termini molto diversi da quelli usati da un buddhista indiano: ma gli elementi basilari della concezione del mondo che sono stati elaborati in tutte queste tradizioni sono gli stessi. Questi elementi sembrano essere anche gli aspetti fondamentali della concezione del mondo che scaturisce dalla fisica moderna.

La caratteristica più importante della concezione del mondo orientale – si potrebbe quasi dire la sua essenza – è la consapevolezza dell'unità e della mutua interrelazione di tutte le cose e di tutti gli eventi, la constatazione che tutti i fenomeni nel mondo sono manifestazioni di una fondamentale unicità. Tutte le cose sono viste come

parti interdipendenti e inseparabili di questo tutto cosmico, come differenti manifestazioni della stessa realtà ultima. Le tradizioni orientali si riferiscono costantemente a questa realtà ultima, indivisibile, che si manifesta in tutte le cose e della quale tutte le cose sono parte. Essa è chiamata *Brahman* nell'Induismo, *Dharmakāya* nel Buddhismo, *Tao* nel Taoismo. Poiché trascende tutti i concetti e tutte le categorie, i Buddhisti la chiamano anche *Tathatā* o Essenza assoluta:

« Ciò che l'animo percepisce come essenza assoluta è l'unicità della totalità di tutte le cose, il grande tutto che tutto comprende ».¹

Nella vita ordinaria, non siamo consapevoli di questa unità di tutte le cose, ma dividiamo il mondo in oggetti ed eventi separati. Naturalmente, questa divisione è utile e necessaria per muoverci nel nostro ambiente quotidiano, ma non è un aspetto fondamentale della realtà. È un'astrazione ideata dal nostro intelletto che distingue e classifica. Credere che i nostri concetti astratti di « cose » e di « eventi » separati siano realtà della natura è un'illusione. Gli Indù e i Buddhisti ci dicono che questa illusione si basa sull'*a-vidyā*, o ignoranza, prodotta da una mente che è sotto l'incantesimo della *māyā*. Lo scopo principale delle tradizioni mistiche orientali è perciò di rimettere ordine nella mente guardandola e acquietandola attraverso la meditazione. Il termine sanscrito per meditazione – *samādhi* – significa letteralmente « equilibrio mentale », che allude allo stato mentale equilibrato e tranquillo nel quale si sperimenta l'unità fondamentale dell'universo:

« Entrando nel *samādhi* di purità [si ottiene] una visione che tutto penetra e permette di divenire coscienti dell'assoluta unicità dell'universo ».²

1. Ásvaghosa, op cit., p. 55.

2. Ibid., p. 93.

La fondamentale unicità dell'universo non è solo la caratteristica principale dell'esperienza mistica, ma è anche una delle più importanti rivelazioni della fisica moderna. Essa diviene evidente a livello atomico e si manifesta tanto più chiaramente quanto più si penetra in profondità nella materia, fino al mondo delle particelle subatomiche. L'unità di tutte le cose e di tutti gli eventi sarà un tema ricorrente in tutto il corso del nostro confronto tra la fisica moderna e la filosofia orientale. Studiando i vari modelli della fisica subatomica vedremo che essi esprimono ripetutamente, in modi diversi, la stessa intuizione: i costituenti della materia e i fenomeni fondamentali ai quali essi prendono parte sono tutti in rapporto reciproco, interconnessi e interdipendenti; non possono essere compresi come entità isolate, ma solo come parti integrate del tutto.

In questo capitolo mostreremo, attraverso un'accurata analisi del processo di osservazione, come nasce nella meccanica quantistica — la teoria dei fenomeni atomici — l'idea della fondamentale interconnessione della natura.¹ Prima di affrontare questo problema, si deve riprendere in esame la distinzione tra la struttura matematica di una teoria e la sua interpretazione verbale. La struttura matematica della meccanica quantistica ha superato con successo una innumerevole quantità di prove e ora è universalmente accettata come una descrizione coerente e precisa di tutti i fenomeni atomici. Viceversa, l'interpretazione verbale, cioè l'ontologia della meccanica quantistica, poggia su un terreno molto meno solido. In effetti, in più di quarant'anni i fisici non sono riusciti a fornirne una chiara visione.

1. Sebbene abbiamo eliminato qualsiasi formalismo matematico e semplificato notevolmente, può darsi che l'analisi seguente possa egualmente apparire piuttosto arida e tecnica. Il lettore potrebbe comunque accettarla come un esercizio « yogico » che—parimenti ai numerosi esercizi di preparazione spirituale delle tradizioni orientali — non è forse molto divertente, ma può portare a una intuizione bella e profonda della natura essenziale delle cose.

La seguente analisi si basa sulla cosiddetta interpretazione di Copenaghen della meccanica quantistica, che fu elaborata da Bohr e da Heisenberg verso la fine degli anni Venti e che ancor oggi è il modello più largamente accettato. Nella mia esposizione seguirò la presentazione fatta da Henry Stapp dell'Università di California¹ che si concentra su alcuni aspetti della teoria e su un certo tipo di situazione sperimentale che si incontra spesso nella fisica subatomica. La presentazione di Stapp mostra con la massima chiarezza come la meccanica quantistica implichi una essenziale interconnessione della natura e inoltre inserisce la teoria in uno schema che può facilmente essere esteso ai modelli relativistici delle particelle subatomiche che saranno analizzati più avanti.

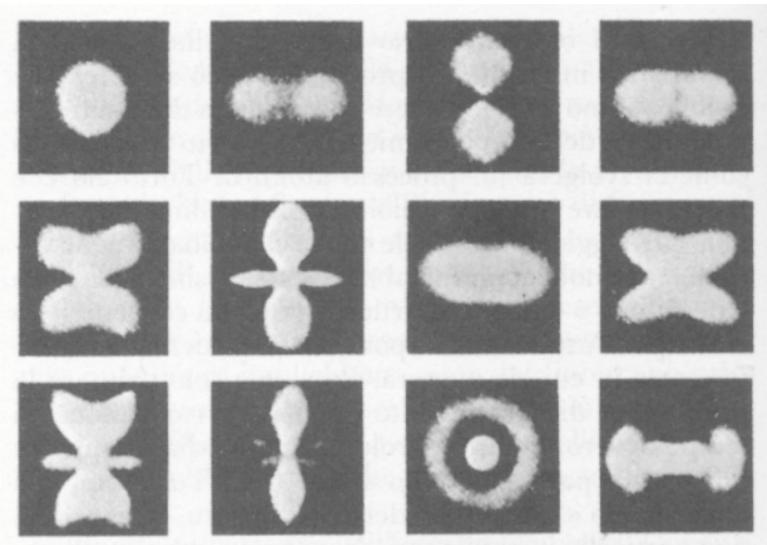
Il punto di partenza dell'interpretazione di Copenaghen è la divisione del mondo fisico in un sistema osservato (« oggetto ») e in un sistema osservatore. Il sistema osservato può essere un atomo, una particella subatomica, un processo atomico, ecc. Il sistema osservatore è costituito dall'apparato sperimentale e può comprendere uno o più osservatori umani. A questo punto nasce una seria difficoltà dal fatto che i due sistemi vengono trattati in modo diverso. Il sistema osservatore è descritto nei termini della fisica classica, ma questi termini non possono essere usati in modo coerente nella descrizione dell'« oggetto » osservato. Noi sappiamo che i concetti classici sono inadeguati a livello atomico, tuttavia dobbiamo usarli per descrivere i nostri esperimenti e per esprimere i risultati. Non c'è modo di sfuggire a questo paradosso. Il linguaggio tecnico della fisica classica è soltanto un affinamento del nostro linguaggio quotidiano ed è l'unico che abbiamo per comunicare i nostri risultati sperimentali.

1. H.P. Stapp, *S-Matrix Interpretation of Quantum Theory*, in « Physical Review », D3 (1971), pp. 1303-20.

2. Altri aspetti della meccanica quantistica saranno esaminati nei capitoli successivi.

I sistemi osservati sono descritti nella meccanica quantistica in termini di probabilità. Ciò significa che non possiamo mai prevedere con certezza dove si troverà una particella subatomica in un certo momento o come si svolgerà un processo atomico. Tutto ciò che possiamo fare è una previsione di probabilità. Per esempio, la maggior parte delle particelle subatomiche attualmente note sono instabili, cioè si disintegrano – o « decadono » – in altre particelle dopo un certo periodo di tempo. Tuttavia, non è possibile prevedere il momento esatto in cui ciò avverrà. Possiamo solo valutare la probabilità di decadimento dopo un certo periodo di tempo ovvero, in altre parole, la vita media di un gran numero di particelle dello stesso tipo. Tutto ciò vale anche per la « modalità » del decadimento. In generale, una particella instabile può decadere in varie combinazioni di altre particelle, e di nuovo non possiamo prevedere quale particolare combinazione di particelle sarà favorita. Possiamo dire soltanto che, su un grande numero di particelle, per esempio, il 60 per cento decadrà in un certo modo, il 30 percento in un altro e il 10 per cento in un terzo modo. È chiaro che tali previsioni statistiche richiedono numerose misurazioni per essere verificate. In effetti, negli esperimenti di urto della fisica delle alte energie vengono registrate e analizzate decine di migliaia di urti tra particelle per determinare la probabilità di un particolare processo.

E importante capire che la formulazione statistica delle leggi della fisica atomica e subatomica non riflette la nostra ignoranza della situazione fisica, come nel caso dell'uso del calcolo delle probabilità da parte delle società di assicurazione o dei giocatori d'azzardo. Nella meccanica quantistica siamo giunti a vedere nella probabilità un aspetto fondamentale della realtà atomica, che governa tutti i processi e persino l'esistenza della materia. Le particelle subatomiche non esistono con certezza in punti definiti, ma mostrano piuttosto « tendenze a esistere » e gli eventi atomici non avvengono con certez-



Modelli visivi di distribuzioni di probabilità.

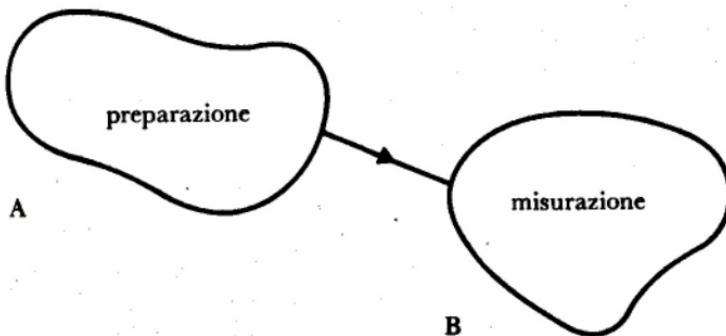
za in momenti precisi e in modi definiti, ma mostrano « tendenze ad avvenire ».

Non è possibile, per esempio, dire con sicurezza dove in un certo istante si troverà un elettrone in un atomo. La sua posizione dipende dalla forza di attrazione che lo lega al nucleo atomico e dall'influenza degli altri elettroni presenti nell'atomo. Queste condizioni determinano distribuzioni di probabilità che rappresentano le tendenze dell'elettrone a trovarsi nelle diverse regioni dell'atomo. La figura mostra alcune di queste distribuzioni di probabilità sotto forma di modelli visivi in chiaroscuro. E più probabile che l'elettrone si trovi nelle zone più chiare e meno probabile che si trovi nelle zone scure. Il punto importante è che tutta la figura nel suo insieme rappresenta l'elettrone in un dato istante. All'interno della figura non possiamo parlare di posizione dell'elettrone, ma solo delle sue tendenze a trovarsi in certe regioni. Nel formalismo matematico della meccanica quantistica, queste tendenze, o probabilità, sono rappresentate dalla cosiddetta funzione di proba-

bilità, una quantità matematica che è legata alla probabilità di trovare l'elettrone in punti diversi in istanti diversi.

Il contrasto tra i due tipi di descrizione – termini classici per il dispositivo sperimentale e funzioni di probabilità per gli oggetti osservati – porta a gravi problemi ontologici che non sono ancora stati risolti. In pratica, tuttavia, questi problemi sono aggirati descrivendo il sistema osservatore in termini-operativi, cioè in termini di istruzioni che permettono agli scienziati di progettare e di eseguire i loro esperimenti. In questo modo i dispositivi di misura e gli scienziati sono effettivamente uniti in un sistema complesso che non ha parti distinte, ben definite, e l'apparato sperimentale non deve essere descritto come un'entità fisica isolata.

Per approfondire l'esame del processo di osservazione sarà utile prendere in considerazione un caso specifico, e la più semplice entità fisica che può essere usata a questo scopo è una particella subatomica, per esempio l'elettrone. Se vogliamo osservare e misurare tale particella, dobbiamo anzitutto isolarla, o addirittura crearla, in un processo che può essere chiamato il processo di preparazione. Una volta che la particella è stata preparata per l'osservazione, se ne possono misurare le proprietà e ciò costituisce il processo di misurazione. La situazione può



Osservazione di una particella in fisica atomica.

essere rappresentata simbolicamente nel modo seguente. Una particella viene preparata nella regione A, si sposta da A a B e viene misurata nella regione B. In pratica, la preparazione e la misurazione della particella possono essere costituite da un'intera serie di processi notevolmente complessi. Negli esperimenti d'urto della fisica delle alte energie, per esempio, la preparazione delle particelle usate come proiettili consiste nel lanciarle su una traiettoria circolare e nell'accelerarle fino a quando la loro energia non è sufficientemente alta. Questo processo avviene nell'acceleratore di particelle. Quando è stata raggiunta l'energia voluta, si fa in modo che le particelle abbandonino l'acceleratore (A) e si spostino verso la zona del bersaglio (B) dove esse urteranno altre particelle. Questi urti avvengono in una camera a bolle nella quale le particelle producono tracce visibili che vengono fotografate. Le proprietà delle particelle sono quindi ricavate mediante un'analisi matematica delle loro tracce; tale analisi può essere molto complessa e viene spesso eseguita con l'aiuto di un calcolatore. Tutti questi processi e attività costituiscono l'atto della misurazione.

Il punto importante in questa analisi dell'osservazione è che la particella costituisce un sistema intermedio che collega i processi che avvengono in A e in B. Essa esiste e ha significato solo in questo contesto; non come un'entità isolata ma come un qualcosa che collega tra loro i processi di preparazione e di misurazione. Le proprietà della particella non possono essere definite indipendentemente da questi processi. Se vengono modificate le modalità di preparazione o di misurazione, cambieranno anche le proprietà della particella.

D'altra parte, il fatto che parliamo della «particella o, come di qualsiasi altro sistema osservato, indica che abbiamo in mente qualche entità fisica indipendente che viene prima preparata e poi misurata. Nella fisica atomica, quindi, il problema fondamentale relativo all'osservazione è che – usando le parole di Henry Stapp – il sistema osservato deve venire isolato per essere defi-

nito, ma deve interagire per essere osservato ».¹ Nella meccanica quantistica questo problema viene risolto in modo pragmatico con la richiesta che, per un certo intervallo di tempo tra la sua preparazione e la successiva misura, il sistema osservato sia libero da perturbazioni esterne causate dal processo di osservazione. Ci si può aspettare che tale condizione si realizzi nel caso in cui i dispositivi di preparazione e di misura siano materialmente separati da una grande distanza, cosicché l'oggetto osservato debba spostarsi dalla zona di preparazione a quella di misurazione.

Ma quanto deve essere grande questa distanza? In linea di principio, essa dev'essere infinita. Nel contesto della meccanica quantistica, il concetto di entità fisica isolata può essere definito con precisione solo se questa entità è infinitamente lontana dal sistema di osservazione. Ovviamente, in pratica ciò non è possibile; ma non è nemmeno necessario. A tale proposito dobbiamo ricordare l'atteggiamento di fondo della scienza moderna, secondo la quale tutti i concetti e le teorie scientifiche sono approssimati.² Nel nostro caso, questo significa che il concetto di entità fisica isolata non richiede necessariamente una definizione precisa, ma può essere definito approssimativamente. Ciò viene fatto nel modo descritto qui appresso.

L'oggetto osservato è una manifestazione dell'interazione tra processi di preparazione e di misurazione. Di solito, questa interazione è complessa e comporta molti effetti che si fanno sentire a distanze diverse; nel linguaggio della fisica, si dice che essa ha vari « raggi d'azione ». Ora, se il tipo di interazione che prevale ha un raggio d'azione grande, la manifestazione di questo effetto a grande raggio si propagherà a grandi distanze. Essa sarà quindi libera da perturbazioni esterne e potrà essere considerata come una entità fisica isolata. Nel

1. H.P. Stapp, *op. cit.*, p. 1303.

2. Si veda p. 48.

contesto della meccanica quantistica, le entità fisiche isolate sono quindi idealizzazioni che hanno significato solo nella misura in cui la parte più importante dell'interazione ha un raggio d'azione grande. Una situazione di questo tipo può essere definita matematicamente in modo preciso. Da un punto di vista fisico, ciò significa che i dispositivi di misura sono posti a distanza tale che la loro interazione principale avviene mediante lo scambio di una particella oppure, nei casi più complicati, di un insieme di particelle. Saranno sempre presenti anche altri effetti, ma fino a quando la distanza a cui si trovano i dispositivi di misura è abbastanza grande, questi effetti possono essere trascurati. Solo quando questi dispositivi non sono posti a distanza sufficiente, diventano prevalenti gli effetti a piccolo raggio. In tal caso, l'intero sistema macroscopico forma un tutto unico e il costrutto « oggetto osservato » non è più valido.

La meccanica quantistica rivela quindi un'essenziale interconnessione dell'universo e ci fa capire che non possiamo scomporre il mondo in unità elementari con esistenza indipendente. Quando studiamo la materia in profondità, scopriamo che essa è composta da particelle, ma queste non sono i « mattoni fondamentali » nel senso di Democrito e di Newton. Sono soltanto idealizzazioni, utili da un punto di vista pratico, ma prive di significato fondamentale. Come dice Niels Bohr, « le particelle materiali isolate sono astrazioni, poiché le loro proprietà sono definibili ed osservabili solo mediante la loro interazione con altri sistemi ».¹

L'interpretazione di Copenaghen della meccanica quantistica non è accettata universalmente. Esistono molte proposte alternative e i problemi filosofici implicati in tali questioni sono ben lontani dall'essere risolti. Sembra tuttavia che l'interconnessione universale delle cose e degli eventi sia una caratteristica fondamentale della realtà atomica, che non dipende da una particolare interpretazione della teoria matematica. Il seguente

1. N. Bohr, *Atomic Physics and Me Description of Nature*, cit., p. 57.

passo, tratto da un recente articolo di David Bohm, uno dei principali oppositori dell'interpretazione di Copenaghen, conferma questo fatto nel modo più eloquente:

« Si è condotti a una nuova concezione di totalità ininterrotta che nega l'idea classica della possibilità di analizzare il mondo in parti esistenti in maniera separata e indipendente... Abbiamo rovesciato la consueta concezione classica secondo la quale le "parti elementari" indipendenti del mondo sono la realtà fondamentale e i vari sistemi sono solo forme e disposizioni particolari e contingenti di tali parti. Anzi, diciamo che la realtà fondamentale è l'inseparabile interconnessione quantistica di tutto l'universo e che le parti che hanno un comportamento relativamente indipendente sono solo forme particolari e contingenti dentro a questo tutto ».¹

A livello atomico, quindi, gli oggetti materiali solidi della fisica classica si dissolvono in distribuzioni di probabilità che non rappresentano probabilità di cose, ma piuttosto probabilità di interconnessioni. La meccanica quantistica ci costringe a vedere l'universo non come una collezione di oggetti fisici separati, bensì come una complicata rete di relazioni tra le varie parti di un tutto unificato. Questo, peraltro, è anche il tipo di esperienza che i mistici orientali hanno del mondo, e alcuni di essi hanno espresso tale esperienza con parole che sono quasi identiche a quelle usate dai fisici atomici. Eccone due esempi:

« ... L'oggetto materiale diventa qualcosa di diverso da ciò che attualmente vediamo, non più un oggetto separato sullo sfondo o nell'ambito del resto della Natura, bensì una parte indivisibile e, in modo sottile, persino

1. D. Bohm e B. Hiley, *On the Intuitive Understanding of Nonlocality as Implied by Quantum Theory*, in « Foundations of Physics », v (1975), pp. 96, 102.

una espressione dell'unità di tutto ciò che vediamo ».¹

« Le cose derivano il loro essere e la loro natura dalla mutua dipendenza e non sono nulla di per se stesse ».²

Se queste asserzioni potrebbero essere scambiate per un resoconto di come appare la natura nella fisica atomica, le altre due che seguono, formulate da fisici atomici, potrebbero a loro volta essere lette come una descrizione dell'esperienza mistica della natura:

« Una particella elementare non è una entità non ulteriormente analizzabile, che esiste in maniera indipendente. Essa è, in sostanza, un insieme di relazioni che si protendono verso le altre cose ».³

« Il mondo appare così come un complicato tessuto di eventi, in cui diverse specie di connessioni si alternano, si sovrappongono e si combinano, determinando la struttura del tutto ».⁴

L'immagine di una rete cosmica di connessioni reciproche che emerge dalla moderna fisica atomica è stata ampiamente usata in Oriente per trasmettere l'esperienza mistica della natura. Per gli Indù, *Brahman* è il filo unificatore della rete cosmica, la base ultima di tutto l'essere:

« Ciò in cui sono tessuti il cielo, la terra e lo spazio intermedio, la mente assieme a tutti i sensi, questo *Atman* unico è quello che si deve conoscere ».⁵

Nel Buddhismo, l'immagine della rete cosmica ha una funzione ancora più grande. Il nucleo centrale dell'*Avatamsaka-sūtra*, uno dei più importanti testi del

1. S. Aurobindo, *The Syntesis of Yoga*, Aurobindo Ashram Press, Pondicherry, India 1957, p. 993 [trad. it. *La sintesi dello Yoga*, Ubaldini, Roma 1967, vol. 111, pp. 278-279].

2. Nāgārjuna, citato in T.R.V. Murti, *The Central Philosophy of Buddhism*, Allen & Unwin, London 1955, p. 138.

3. H.P. Stapp, *op. cit.*, p. 1310.

4. W. Heisenberg, trad. cit., pp. 109-110.

5. Mundaka-upanisad, II, III, 5.

buddhismo Mahāyāna,¹ è la descrizione del mondo come una rete perfetta di mutue relazioni, nella quale tutte le cose e tutti gli eventi interagiscono l'uno con l'altro in un modo infinitamente complesso. Per illustrare questa realtà universale di interrelazione, i buddhisti Mahāyāna hanno inventato numerose allegorie e similitudini, alcune delle quali verranno esaminate più avanti, quando si parlerà della versione relativistica della filosofia della rete » della fisica moderna. La rete cosmica, infine, svolge un ruolo di primo piano nel Buddhismo tantrico, un ramo del Mahāyāna che ha avuto origine in India intorno al terzo secolo d.C. e che attualmente costituisce la scuola più importante del Buddhismo tibetano. I testi sacri di questa scuola sono chiamati Tantra, un termine la cui radice sanscrita significa « tessere » e che allude all'intreccio e all'interdipendenza di tutte le cose e di tutti gli eventi.

Nel misticismo orientale questo intreccio universale comprende sempre l'osservatore umano e la sua coscienza, e ciò è vero anche nella fisica atomica. A livello atomico, gli « oggetti » possono essere compresi solo in termini di interazione tra i processi di preparazione e di misurazione. L'ultimo anello di questa catena di processi si trova sempre nella coscienza dell'osservatore umano. Le misure sono interazioni che creano « sensazioni » nella nostra coscienza – per esempio, la sensazione visiva di un lampo di luce o di una macchia scura su una lastra fotografica – e le leggi della fisica atomica ci dicono con quale probabilità un oggetto atomico darà origine a una certa sensazione se lo mettiamo in condizione di interagire con noi. « La scienza naturale » dice Heisenberg « non è semplicemente una descrizione e una spiegazione della natura; essa è parte dell'azione reciproca tra noi e la natura ».²

La caratteristica decisiva della fisica atomica è che

I. Si veda p. 117.

2. W. Heisenberg, trad. cit., p. 85.

l'osservatore umano non è necessario solo per osservare le proprietà di un oggetto, ma è necessario anche per determinare queste proprietà. Nella fisica atomica, non possiamo parlare delle proprietà di un oggetto in quanto tale; esse hanno un significato solo nel contesto dell'interazione dell'oggetto con l'osservatore. Come dice Heisenberg, « ciò che osserviamo non è la natura in se stessa ma la natura esposta ai nostri metodi di indagine ».¹ L'osservatore decide come predisporre il dispositivo di misura e la soluzione adottata determina, almeno in parte, le proprietà dell'oggetto osservato. Se viene modificato il dispositivo sperimentale, le proprietà dell'oggetto osservato cambieranno a loro volta.

Ciò può essere illustrato nel semplice caso di una particella subatomica. Quando si studia una particella di questo tipo, si può scegliere di misurare, tra le altre quantità, la posizione della particella e la sua quantità di moto (una grandezza definita come prodotto della massa della particella per la sua velocità). Vedremo nel prossimo capitolo che un'importante legge della meccanica quantistica – il principio di indeterminazione di Heisenberg – stabilisce che queste due quantità non possono mai essere misurate contemporaneamente e precisamente. Possiamo ottenere una conoscenza precisa della posizione della particella senza poter sapere nulla della sua quantità di moto (e quindi della sua velocità), oppure viceversa; o altrimenti possiamo ottenere una conoscenza approssimata e imprecisa di entrambe queste quantità. La cosa importante è che questa limitazione non ha nulla a che fare con l'imperfezione delle nostre tecniche di misura. È una limitazione di principio inherente alla realtà atomica. Se decidiamo di misurarne con precisione la posizione, semplicemente la particella *non ha* una quantità di moto ben definita e se decidiamo di misurarne la quantità di moto, la particella non ha una posizione ben definita.

Nella fisica atomica, quindi, lo scienziato non può

1. Ibid., p. 63.

assumere il ruolo di osservatore distaccato e obiettivo, ma viene coinvolto nel mondo che osserva fino al punto di influire sulle proprietà degli oggetti osservati. John Wheeler considera questo coinvolgimento dell'osservatore come l'aspetto più importante della meccanica quantistica e ha quindi suggerito di sostituire il termine « osservatore » con « partecipatore ». Ecco che cosa dice Wheeler:

« Nel principio quantistico nulla è più importante di questo fatto, e cioè che esso distrugge il concetto di mondo inteso come "qualcosa che sta fuori di qui", con l'osservatore a distanza di sicurezza, separato da esso da lastre di vetro spesse venti centimetri. Anche quando osserva un oggetto così minuscolo come un elettrone, l'osservatore deve spaccare il vetro: deve entrare, deve installare il dispositivo di misura che ha scelto. Sta a lui decidere se misurare la posizione o la quantità di moto. L'installazione del dispositivo per misurare una delle due grandezze gli impedisce e gli esclude la possibilità di installare il dispositivo per misurare l'altra grandezza. Inoltre la misurazione cambia lo stato dell'elettrone. Dopo, l'universo non sarà mai più lo stesso. Per descrivere ciò che è accaduto, bisogna eliminare la vecchia parola "osservatore" e sostituirla con il nuovo termine "partecipatore". In un certo qual modo, l'universo è un universo partecipatorio ».¹

L'idea di « partecipazione invece di osservazione » è stata formulata solo recentemente nella fisica moderna, ma è un'idea ben nota a qualsiasi studioso di misticismo. La conoscenza mistica non può mai essere raggiunta solo con l'osservazione, ma unicamente mediante la totale partecipazione con tutto il proprio essere. Il concetto di partecipatore è quindi fondamentale nella visione orientale del mondo, e i mistici orientali l'hanno spinto fino alle sue estreme conseguenze, fino al punto in

I. Citato in J. Mehra, a cura di, *The Physicist's Conception of Nature*, D. Reidel, Dordrecht. Holland 1973, p. 244.

cui osservatore e osservato, soggetto e oggetto, non solo sono inseparabili ma diventano anche indistinguibili. I mistici non si contentano di una situazione analoga a quella della fisica atomica, nella quale osservatore e osservato non possono essere separati, ma possono ancora essere distinti. Essi si spingono molto oltre, e nella meditazione profonda arrivano a uno stato in cui cade completamente la distinzione tra osservatore e osservato, dove soggetto e oggetto si fondono in un tutto unico indifferenziato. Come dicono le *Upanisad*:

« Laddove esiste dualità, ivi l'uno odora l'altro, l'uno vede l'altro, l'uno parla all'altro... ma, allorché tutto è diventato il sé di ognuno, l'odore di chi e mediante che cosa potrà percepire? chi si potrà vedere, e mediante che cosa? a chi e mediante che cosa si potrà parlare? ».¹

Questa è quindi la comprensione definitiva dell'unità di tutte le cose. Essa viene raggiunta – così ci dicono i mistici – in uno stato di coscienza nel quale la propria individualità si dissolve in un'unità indifferenziata, dove si trascende il mondo dei sensi e la nozione di « cosa » è dimenticata. Per usare le parole di Chuangtzu,

« Lascio inerte il corpo e bandisco l'intelletto. Abbandonando la forma e respingendo la conoscenza, faccio parte del gran Tutto. Questo intendo per sedere e dimenticare ».²

La fisica moderna, naturalmente, opera in un contesto molto diverso e non può andare così lontano nell'esperienza dell'unità di tutte le cose. Tuttavia essa ha compiuto, con la teoria atomica, un grande passo avanti verso la concezione del mondo dei mistici orientali. La meccanica quantistica ha abolito la nozione di oggetti fondamentalmente separati, ha introdotto il concetto di partecipatore in sostituzione di quello di osservatore e

1. Brhad-āranyaka-upanisad, IV, v, 15.
2. Chuang-tcu, vi, 47.

può darsi persino che ritenga necessario includere la coscienza umana nella descrizione del mondo.¹ Essa è giunta a vedere l'universo come una inestricabile rete di relazioni fisiche e mentali le cui parti sono definite soltanto dalle loro relazioni con il tutto. Per riassumere la concezione del mondo che emerge dalla fisica atomica, appaiono perfettamente appropriate le parole di un buddhista tantrico, il Lama Anagarika Govinda:

« Il Buddhista non crede in un mondo esterno indipendente o che esiste separatamente, tra le cui forze dinamiche egli può inserirsi. Il mondo esterno e il suo mondo interiore sono per lui due facce di uno stesso tessuto in cui i fili di tutte le forze, di tutti gli avvenimenti, di tutte le forme di coscienza e dei loro oggetti sono intrecciati in una inestricabile rete di relazioni infinite e reciprocamente condizionate ».²

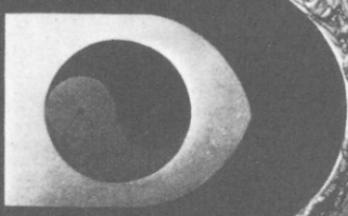
1. Questo punto sarà ulteriormente discusso nel capitolo XVIII.

2. A. Govinda, *Foundations of Tibetan Mysticism*, Samuel Weiser, New York 1947, p. 39 [trad. it. *I fondamenti del misticismo tibetano*, Ubaldini, Roma 1972, p. 89].

DIE XVII OCTOBRIS AN: MCMXLVII

CONTRARIA SUNT COMPLEMENTA

DOM: NIELS HENRIK DAVID BOHR



11.
AL DI LÀ DEI MONDO
DEGLI OPPosti

Quando i mistici orientali ci dicono che essi percepiscono tutte le cose e tutti gli eventi come manifestazioni di una fondamentale unicità, ciò non significa che essi asseriscano che tutte le cose sono uguali. Essi riconoscono l'individualità delle cose, ma nello stesso tempo sono consapevoli che tutte le differenze e tutti i contrasti sono relativi, all'interno di un'unità che tutto comprende. Poiché nel nostro stato di coscienza normale questa unità di tutti i contrasti – e in particolare l'unità degli opposti – è estremamente difficile da accettare, essa costituisce uno degli aspetti più sconcertanti della filosofia orientale. Tuttavia è un'intuizione che sta alle radici stesse della concezione orientale del mondo.

Gli opposti sono concetti astratti che appartengono al mondo del pensiero e in quanto tali sono relativi. Con il solo atto di concentrare la nostra attenzione su un qualsiasi concetto noi creiamo il suo opposto. Come dice Lao-tzu,¹ « tutti nel mondo riconoscono il bello come bello; in questo modo si ammette il brutto. Tutti riconoscono il bene come bene; in questo modo si ammette il

non-bene ». Il mistico trascende questo mondo dei concetti intellettuali, e nel trascenderlo diventa consapevole della relatività e del rapporto polare di tutti gli opposti. Egli si rende conto che buono e cattivo, piacere e dolore, vita e morte non sono esperienze assolute che appartengono a categorie diverse, ma sono semplicemente due facce della stessa realtà: le parti estreme di un tutto unico. Raggiungere la consapevolezza che tutti gli opposti sono polari, e quindi costituiscono un'unità, è considerato nelle tradizioni spirituali dell'Oriente una delle più alte mete dell'uomo. « Sii eterno nella verità, al di là delle opposizioni terrene » è il consiglio di Krsria nella *Bhagavad Gita*, e lo stesso consiglio viene dato ai seguaci del Buddhismo. Per esempio, D.T. Suzuki scrive:

« L'idea fondamentale del Buddhismo è di superare il mondo degli opposti, un mondo costruito dalle distinzioni intellettuali e dalla corruzione delle emozioni, e di comprendere il mondo spirituale della non-distinzione, che comporta il conseguimento di un punto di vista assoluto ».¹

L'intero insegnamento buddhista – e di fatto tutto il misticismo orientale – ruota attorno a questo punto di vista assoluto che viene raggiunto nel mondo di *a-cintya*, o « non-pensiero », nel quale l'unità di tutti gli opposti diviene una esperienza viva. Dice una poesia Zen:

Al crepuscolo il gallo annunzia l'aurora; A mezzanotte, il sole risplendente.²

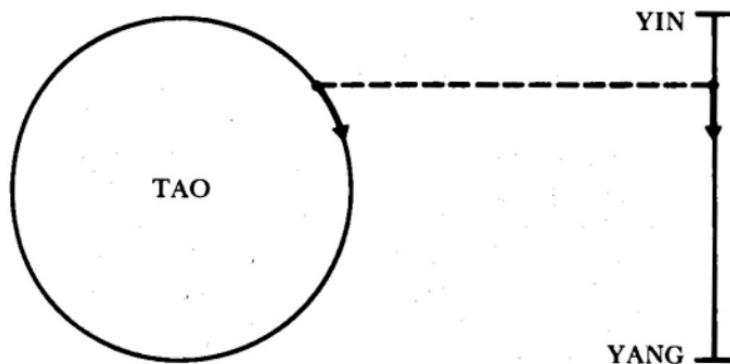
L'idea che tutti gli opposti sono polari – che luce e buio, vincere e perdere, buono e cattivo sono soltanto differenti aspetti dello stesso fenomeno – è uno dei principi fondamentali del modo di vita orientale. Poiché tutti gli opposti sono interdipendenti, il loro conflitto non può mai finire con la vittoria totale di uno dei poli, ma sarà sempre una manifestazione dell'azione recipro-

1. D.T. Suzuki, *The Essence of Buddhism*, cit., p. 18.

2. Citato in A.W. Watts, trad. cit., p. 129.

ca tra l'uno e l'altro polo. In Oriente, una persona virtuosa non è perciò quella che affronta l'impossibile compito di battersi per il bene e di sconfiggere il male, bensì quella che è capace di mantenere un equilibrio dinamico tra il bene e il male.

Questa idea di equilibrio dinamico è essenziale per il modo in cui l'unità degli opposti è sperimentata nel misticismo orientale. Non è mai un'identità statica, ma sempre un'interazione dinamica tra due estremi. Questo punto è stato messo in evidenza in modo particolarmente ampio dai saggi cinesi con il loro simbolismo dei poli archetipici *yin* e *yang*. All'unità soggiacente allo *yin* e allo *yang* essi davano il nome di *Tao* e la consideravano come un processo che determina la loro azione reciproca: « Quello che fa comparire una volta l'oscuro ed una volta il chiaro, è il Senso [il *Tao*] ».¹



Unità dinamica degli opposti polari.

L'unità dinamica degli opposti polari può essere illustrata con il semplice esempio di un moto circolare e della sua proiezione. Si consideri un punto che si muove lungo una circonferenza. Se questo movimento viene proiettato su uno schermo, esso diventa una oscillazione

1. 1 King, trad. cit., p. 566.

tra due punti estremi. (Per rispettare l'analogia con il pensiero cinese, abbiamo scritto TAO nella circonferenza e contrassegnato i punti estremi dell'oscillazione con YIN e YANG). Il punto gira sulla circonferenza con velocità costante, ma nella proiezione rallenta quando raggiunge le estremità, inverte il moto e quindi accelera di nuovo, poi rallenta ancora una volta e così via, in cicli senza fine. In ogni proiezione di questo tipo, il moto circolare apparirà come un'oscillazione tra due punti opposti, ma nel movimento stesso gli opposti sono unificati e superati. Questa immagine di una unificazione dinamica degli opposti era in realtà profondamente radicata nella mente dei pensatori cinesi, come si può vedere dal passo del Chuang-tzu già citato:

« Che l'"io" e l'"altro" non siano più in contrapposizione è la vera essenza del *Tao*. Solo questa essenza, che appariva come un asse, è il centro del cerchio che risponde ai mutamenti perenni ».¹

Una delle principali polarità della vita è quella tra il lato femminile e quello maschile della natura umana. Come succede con la polarità tra buono e cattivo o tra vita e morte, tendiamo a sentirci a disagio di fronte alla polarità maschio/femmina che è in noi stessi, e siamo quindi portati a dare risalto a uno o all'altro di questi aspetti. La società occidentale ha tradizionalmente favorito più l'aspetto maschile che quello femminile. Invece di riconoscere che la personalità di ogni uomo e di ogni donna è il risultato di una azione reciproca tra l'elemento maschile e quello femminile, essa ha stabilito un ordine statico in cui si suppone che tutti gli uomini siano maschili e tutte le donne femminili, e ha assegnato all'uomo i ruoli guida e la maggior parte dei privilegi della società. Questo atteggiamento si è tradotto in una eccessiva importanza data a tutti gli aspetti yang – o maschili – della natura umana: attività, pensiero razio-

1. Si veda p. 133.



Śiva Maheśvar^a, (a sinistra) e Śiva Ardhanārī (a destra), Elephanta, India, VIII secolo d.C.

nale, competitività, aggressività, e così via. Le modalità di coscienza yin – o femminili – che possono essere descritte con termini quali intuitivo, religioso, mistico, occulto o psichico, sono state costantemente soffocate nella nostra società di tendenze maschiliste.

Nel misticismo orientale, queste modalità femminili vengono sviluppate e si cerca di realizzare un'unità tra i due aspetti della natura umana. Un essere umano pienamente realizzato è quello che, secondo le parole di Lao-tzu, « sa d'esser maschile e si mantiene femminile ». In molte tradizioni orientali, l'equilibrio dinamico tra le modalità di coscienza maschile e femminile è lo scopo principale della meditazione ed è spesso illustrato in opere artistiche. Una stupenda scultura di Siva nel tempio indù di Elephanta presenta tre facce del dio: sulla destra, il suo profilo maschile che mostra virilità e forza di volontà; a sinistra, il suo aspetto femminile –

dolce, affascinante, seducente – e nel centro la sublime unione dei due aspetti nella magnifica testa di Siva Maheśvara, il Grande Signore, che irradia serena tranquillità e distacco trascendente. Nello stesso tempio, iva a è anche rappresentato in forma androgina, metà uomo, metà donna; i movimenti sinuosi del corpo del dio e il sereno distacco della sua faccia simboleggiano, di nuovo, l'unificazione dinamica del maschio e della femmina.

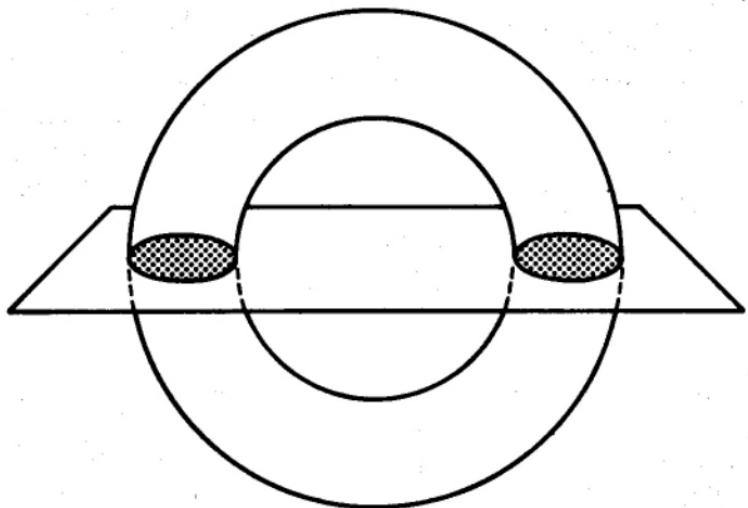
Nel Buddhismo tantrico, la polarità maschio/femmina è spesso illustrata con l'aiuto di simboli sessuali. La saggezza intuitiva è vista come la qualità passiva, femminile, della natura umana, l'amore e la compassione come la qualità attiva, maschile, e l'unione di entrambe nel processo di illuminazione è rappresentata con estatici amplessi sessuali di divinità maschili e femminili. I mistici orientali affermano che si può avere l'esperienza dell'unione della propria mascolinità e della propria femminilità solo quando si è raggiunto un livello superiore di coscienza, nel quale il mondo del pensiero e del linguaggio è trasceso e tutti gli opposti appaiono come un'unità dinamica.

Ho già sostenuto che un livello di questo genere è stato raggiunto nella fisica moderna. L'esplorazione del mondo subatomico ha rivelato una realtà che continuamente trascende il linguaggio e il ragionamento, e l'unificazione di concetti che finora erano sembrati opposti e non conciliabili risulta essere una delle più sorprendenti caratteristiche di questa nuova realtà. Questi concetti apparentemente inconciliabili non sono generalmente gli stessi di cui si occupano i mistici orientali – sebbene talvolta lo siano – ma la loro unificazione a un livello di realtà non ordinario corrisponde all'unificazione di cui parla il misticismo orientale. I fisici moderni dovrebbero perciò essere in grado di raggiungere una comprensione profonda di alcuni dei principali insegnamenti dell'Estremo Oriente col metterli in relazione con le esperienze che essi hanno nel loro specifico settore di studio. In effetti, un piccolo ma crescente numero di

giovani fisici ha trovato così il più valido e stimolante approccio al misticismo orientale.

Nella fisica moderna, esempi di unificazione di concetti opposti si possono trovare a livello subatomico, dove le particelle sono sia distruttibili sia indistruttibili, dove la materia è sia continua sia discontinua e dove forza e materia sono soltanto aspetti diversi dello stesso fenomeno. In tutti questi esempi, che verranno esaminati ampiamente nei prossimi capitoli, risulta che lo schema dell'opposizione dei concetti, derivata dalla nostra esperienza quotidiana, è troppo ristretto per il mondo delle particelle subatomiche. La teoria della relatività è fondamentale per la descrizione di questo mondo e nel contesto « relativistico » i concetti classici sono superati nel passaggio a un numero superiore di dimensioni, lo spazio-tempo quadridimensionale. Gli stessi concetti di spazio e di tempo, che erano sembrati completamente distinti, sono stati unificati nella fisica relativistica. Su questa unità fondamentale si basa l'unificazione dei concetti opposti ricordata sopra. Come avviene per l'unità degli opposti di cui fanno esperienza i mistici, essa si verifica ad un « livello superiore », cioè con una ulteriore dimensione, e si presenta come una unità dinamica, perché lo spazio-tempo relativistico è una realtà intrinsecamente dinamica nella quale gli oggetti sono anche processi e tutte le forme sono configurazioni dinamiche.

Per rendersi conto di come si realizza l'unificazione di entità apparentemente separate quando si aggiunge un'ulteriore dimensione non è strettamente necessaria la teoria della relatività, in quanto tale unificazione può anche essere sperimentata passando da una a due dimensioni, oppure da due a tre. Nell'esempio precedente del moto circolare e della sua proiezione, i poli opposti dell'oscillazione in una dimensione (lungo una linea) sono unificati nel moto circolare in due dimensioni (su un piano). Il disegno rappresenta un altro esempio, che comporta il passaggio da due a tre dimensioni. Esso mostra un anello a forma di « ciambella » tagliato oriz-



zontalmente da un piano. Nelle due dimensioni di quel piano, la sezione appare composta da due dischi completamente separati, ma in tre dimensioni questi dischi appaiono come parti di un unico oggetto. In modo analogo, entità che sembrano separate e non conciliabili vengono unificate, nella teoria della relatività, col passaggio da tre a quattro dimensioni. Il mondo quadridimensionale della teoria della relatività è il mondo nel quale forza e materia sono unificate; in esso la materia può apparire sotto forma di particelle discontinue o come campo continuo. In questi casi, tuttavia, non possiamo più visualizzare efficacemente tale unità. I fisici possono « fare esperienza » del mondo quadridimensionale dello spazio-tempo attraverso il formalismo matematico astratto delle loro teorie, ma la loro immaginazione visiva — come quella di qualsiasi altra persona

è limitata al mondo tridimensionale dei sensi. Gli schemi del nostro linguaggio e del nostro pensiero si sono sviluppati in questo mondo tridimensionale e perciò troviamo estremamente difficile trattare la realtà quadridimensionale della fisica relativistica.

I mistici orientali, d'altra parte, sembrano in grado di

percepire direttamente e concretamente una realtà multidimensionale. Nello stato di profonda meditazione essi trascendono il mondo tridimensionale della vita quotidiana e avvertono una realtà completamente diversa, nella quale gli opposti sono unificati in un tutto organico. Quando i mistici tentano di esprimere questa esperienza con parole, si trovano di fronte agli stessi problemi dei fisici che tentano di interpretare la realtà multidimensionale della fisica relativistica. Ecco come si esprime il Lama Govinda:

« ... si raggiunge un'esperienza di dimensionalità superiore attraverso l'integrazione delle esperienze di centri e di livelli di coscienza diversi. Di qui l'indescrivibilità di certe esperienze di meditazione sul piano della coscienza tridimensionale e nell'ambito di un sistema di ragionamento che riduce le possibilità di espressione, imponendo ulteriori limiti al processo del pensiero ».¹

Il mondo quadridimensionale della teoria della relatività non è l'unica situazione della fisica moderna nella quale concetti apparentemente contraddittori e inconciliabili si rivelano nient'altro che differenti aspetti della stessa realtà. Forse il caso più noto di tale unificazione di concetti contraddittori è quello dei concetti di particella e di onda nella fisica atomica.

A livello atomico, la materia ha un aspetto duale: si manifesta come particella e come onda. L'aspetto che essa presenta dipende dalla situazione: in alcuni casi predomina l'aspetto corpuscolare, in altri quello ondulatorio; e questa natura duale è tipica anche della luce e di tutte le altre radiazioni elettromagnetiche. La luce, per esempio, è emessa e assorbita sotto forma di « quanti », o fotoni, ma quando viaggiano attraverso lo spazio queste particelle di luce appaiono come campi elettrici e magnetici variabili che presentano tutti i comportamenti caratteristici delle onde. Normalmente, gli elettroni sono considerati particelle, eppure quando un fascio di

1. A. Govinda, trad. cit., p. 132.

queste particelle viene fatto passare attraverso una fenditura sottile esso viene diffratto proprio come un raggio di luce; in altre parole, anche gli elettroni si comportano come onde.



Questo aspetto duale della materia e della radiazione è in effetti estremamente sconcertante e ha dato origine a molti dei « *koan* quantistici » che hanno portato alla formulazione della teoria dei quanti. La rappresentazione di un'onda che è sempre estesa nello spazio è fondamentalmente diversa da quella di una particella che implica una posizione precisa. Ci volle molto tempo perché i fisici accettassero il fatto che la materia si manifesta in modi che sembrano escludersi a vicenda: che le particelle sono anche onde e le onde sono anche particelle.

Esaminando i due disegni, un profano potrebbe forse pensare che sia possibile risolvere la contraddizione dicendo che il disegno a destra rappresenta semplicemente una particella che si muove seguendo una forma d'onda. Tuttavia, questa considerazione nasce dall'aver frainteso il concetto di onda. In natura non esistono particelle che si muovono seguendo forme d'onda. In un'onda sull'acqua, per esempio, le particelle d'acqua non si spostano con l'onda ma si muovono circolarmente mentre l'onda si propaga. Analogamente, le particelle d'aria in un'onda acustica oscillano soltanto avanti e indietro, ma non si propagano insieme con l'onda. Ciò che viene trasportato dall'onda è la perturbazione che provoca il fenomeno ondulatorio, ma non particelle materiali. Nella meccanica quantistica, perciò, non ci riferiamo alla traiettoria di una particella quando diciamo che la particella è anche un'onda. Ciò che inten-

diamo è che la forma d'onda nel suo insieme è una manifestazione della particella. La rappresentazione di onde che si propagano è quindi totalmente diversa da quella di particelle in moto; tanto differente, per usare le parole di Victor Weisskopf, « quanto l'idea di onde in un lago rispetto a quella di un banco di pesci che nuotano nella stessa direzione ».¹



Un'onda sull'acqua.

I fenomeni ondulatori si incontrano in tutta la fisica in un gran numero di situazioni diverse, e in ciascun caso possono essere descritti con il medesimo formalismo matematico. Si usano le stesse espressioni matematiche per descrivere un'onda luminosa, una corda di chitarra che vibra, un'onda acustica, o un'onda sull'acqua. Nella meccanica quantistica, queste stesse espressioni vengono usate per descrivere le onde associate alle particelle; in questo caso, tuttavia, le onde sono molto più astratte. Esse sono strettamente legate alla natura statistica della meccanica quantistica, cioè al fatto che i fenomeni atomici possono essere descritti solo in termini di probabilità. L'informazione sulle probabilità di una particella è contenuta in una quantità chiamata funzione di probabilità e la forma matematica di questa quantità è quella di un'onda, cioè essa è simile alle espressioni usate per la descrizione di altri tipi di onde. Le onde associate alle

1. V.F. Weisskopf, *Physics in the Twentieth Century - Selected Essays*, M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 1972, p. 30.

particelle, tuttavia, non sono onde tridimensionali reali », come le onde sull'acqua o le onde acustiche, ma sono « onde di probabilità », quantità matematiche astratte legate alle probabilità di trovare le particelle in vari punti e con varie proprietà.

L'introduzione delle onde di probabilità risolve, in un certo senso, il paradosso delle particelle che si comportano come onde, ponendolo in un contesto completamente nuovo, ma nello stesso tempo porta a un'altra coppia di concetti opposti che è persino più fondamentale, quella dell'esistenza e della non-esistenza. Anche questa coppia di opposti è superata dalla realtà atomica. Non possiamo mai dire che una particella atomica esiste in un dato punto, né che non esiste. Essendo una distribuzione di probabilità, la particella ha tendenza a esistere in luoghi diversi e quindi manifesta uno strano tipo di realtà fisica tra l'esistenza e la non-esistenza. Perciò non possiamo descrivere lo stato di una particella in termini di concetti rigidamente opposti. In un dato punto, la particella non è né presente, né assente; non cambia la sua posizione, ma nemmeno rimane in quiete. Ciò che muta è la distribuzione di probabilità e quindi la tendenza della particella ad esistere in dati luoghi. Per usare le parole di Robert Oppenheimer:

« Per esempio, alla domanda se la posizione dell'elettrone resti sempre la stessa, dobbiamo rispondere "no"; alla domanda se la posizione dell'elettrone cambi col passare del tempo, dobbiamo rispondere "no"; alla domanda se esso sia fermo, dobbiamo rispondere "no"; alla domanda se esso sia in movimento, dobbiamo rispondere "no" ».¹

La realtà del fisico atomico, come la realtà del mistico orientale, trascende lo schema ristretto dei concetti opposti. Perciò le parole di Oppenheimer ci sembrano riecheggiare quelle delle *Upanisad*:

« Costui si muove, Costui non si muove; Costui è lontano, Costui è vicino; Costui è all'interno di questo Tutto, Costui è anche all'esterno di questo Tutto ». 1

Forza e materia, particelle e onde, movimento e quiete, esistenza e non-esistenza: questi sono alcuni dei concetti opposti o contraddittori che sono stati superati nella fisica moderna. Di tutte queste coppie di opposti, l'ultima sembra essere la più fondamentale, eppure nella fisica atomica dobbiamo andare addirittura al di là dei concetti di esistenza e di non-esistenza. Questo è l'aspetto della meccanica quantistica più difficile da accettare e che sta al centro della continua discussione sulla sua interpretazione. Nello stesso tempo, il superamento dei concetti di esistenza e di non-esistenza è anche uno degli aspetti più sconcertanti del misticismo orientale. Come i fisici atomici, i mistici orientali si occupano di una realtà che si trova al di là dell'esistenza e della non-esistenza, ed essi mettono frequentemente in risalto questo fatto importante. Così si esprime Aśvaghosa:

« L'essenza assoluta non è né ciò che è esistenza, né ciò che è non-esistenza, né ciò che è a un tempo esistenza e non-esistenza, né ciò che non è a un tempo esistenza e non-esistenza ».²

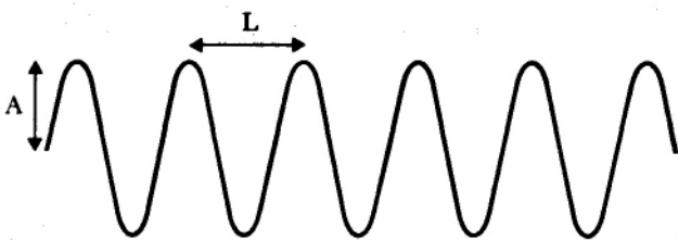
Posti di fronte a una realtà che giace al di là della opposizione dei concetti, i fisici e i mistici devono adottare un modo di pensare particolare, nel quale la mente non si fissa nello schema rigido della logica classica, ma continua a muoversi e spostare il suo punto di vista. Nella fisica atomica, per esempio, attualmente siamo abituati a usare sia il concetto di particella sia quello di onda nella nostra descrizione della materia. Abbiamo imparato a destreggiarci con queste due rappresentazioni, passando dall'una all'altra e viceversa, per essere

1. Īśa-upanisad, 5.

2. Aśvaghosa, op. cit., p. 59.

all'altezza della realtà atomica. Questo è precisamente il modo di procedere dei mistici orientali quando cercano di interpretare la loro esperienza di una realtà al di là degli opposti. Come dice il Lama Govinda, « il modo orientale di pensare consiste soprattutto nel girare intorno all'oggetto della contemplazione... un'impressione sfaccettata, cioè pluridimensionale che si forma dalla sovrapposizione di singole impressioni ottenute da punti di vista differenti ».¹

Per vedere come in fisica atomica si possa passare dalla rappresentazione corpuscolare a quella ondulatoria e viceversa, esaminiamo più dettagliatamente i concetti di onda e di particella. Un'onda è una forma che vibra nello spazio e nel tempo. Possiamo osservarla in un dato istante di tempo e allora vediamo una figura periodica nello spazio, come nell'esempio seguente:



Questa forma d'onda è caratterizzata dall'ampiezza A, l'estensione della vibrazione, e dalla lunghezza d'onda L, la distanza tra due creste successive. In alternativa, possiamo invece osservare il moto di un punto definito dell'onda e vedremo allora un'oscillazione caratterizzata da una certa frequenza, cioè dal numero di volte che il punto oscilla su e giù in un secondo. Esaminiamo ora il concetto di particella. Secondo le idee classiche,

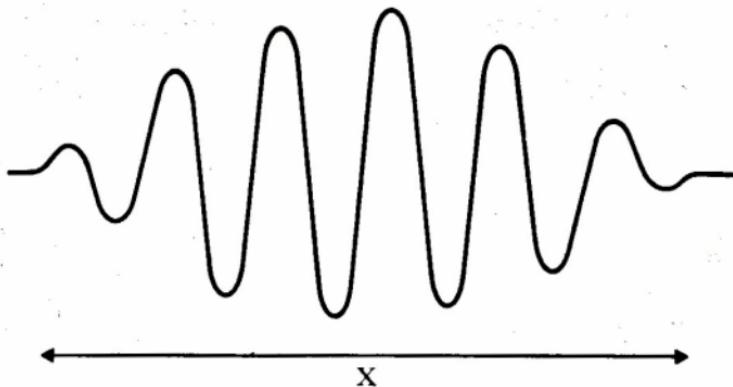
1. A. Govinda, *Logic and Symbol in the Multi-Dimensional Conception of the Universe*, in « Main Currents », XXV (1969), p. 60.

una particella ha una posizione ben definita in qualsiasi istante, e il suo stato di moto può essere descritto in funzione della sua velocità e della sua energia cinetica. Le particelle che si muovono a velocità elevate hanno anche un'energia elevata. In realtà, i fisici si servono raramente della « velocità » per descrivere lo stato di moto della particella, ma usano piuttosto una grandezza chiamata « quantità di moto », definita come il prodotto della massa della particella per la sua velocità.

La meccanica quantistica associa le proprietà di un'onda di probabilità alle proprietà della particella corrispondente mettendo in relazione l'ampiezza dell'onda in un dato punto con la probabilità di trovare la particella in quel punto. Nei punti in cui l'ampiezza è grande, abbiamo un'alta probabilità di trovare la particella e dove l'ampiezza è piccola, anche la probabilità è piccola. Per esempio, l'onda della figura precedente ha la stessa ampiezza lungo tutta la sua lunghezza (si deve pensare che il disegno si prolunghi indefinitamente sia a destra che a sinistra) e quindi la particella si può trovare dovunque lungo l'onda con la stessa probabilità.¹

L'informazione sullo stato di moto della particella è contenuta nella lunghezza d'onda e nella frequenza dell'onda. La lunghezza d'onda è inversamente proporzionale alla quantità di moto della particella, il che significa che un'onda con piccola lunghezza d'onda corrisponde a una particella che si muove con una grande quantità di moto (e quindi con elevata velocità). La frequenza dell'onda è proporzionale all'energia della particella; un'onda con frequenza elevata indica che la particella ha grande energia. Nel caso della luce, per esempio, la luce viola ha un'alta frequenza e una piccola

1. In questo esempio, non bisogna pensare che sia più probabile trovare la particella nei punti in cui le onde hanno le creste, invece che in quelli dove si trovano i ventri. La figura statica dell'onda è semplicemente « l'istantanea » di una vibrazione continua durante la quale ogni punto lungo l'onda raggiunge la sommità di una cresta a intervalli periodici.



Un pacchetto d'onda corrispondente a una particella situata in qualche punto nella regione X.

lunghezza d'onda e perciò è formata da fotoni con elevata energia ed elevata quantità di moto, mentre la luce rossa ha bassa frequenza e grande lunghezza d'onda, che corrispondono a fotoni di bassa energia e bassa quantità di moto.

Un'onda estesa come quella del nostro esempio non ci dice molto riguardo alla posizione della particella corrispondente. Essa si può trovare dovunque lungo l'onda con la stessa probabilità. Molto spesso, tuttavia, abbiamo a che fare con situazioni in cui la posizione della particella è nota con una certa precisione, per esempio nella descrizione di un elettrone in un atomo. In tal caso, le probabilità di trovare la particella in vari punti devono essere confinate in una data regione di spazio. Al di fuori di questa regione le probabilità devono essere nulle. Ciò può essere ottenuto con una forma d'onda come quella del disegno che corrisponde a una particella confinata nella regione X. Una figura di questo tipo viene chiamata pacchetto d'onda.¹ Essa è composta da

1. Per semplicità, qui trattiamo solo il caso unidimensionale in cui la posizione della particella viene individuata in qualche punto lungo una linea. Le distribuzioni di probabilità riportate a p. 152 sono esempi bidimensionali che corrispondono a pacchetti d'onda più complicati.

molti treni d'onda indefinitamente estesi, con diverse lunghezze d'onda, che interferiscono l'uno con l'altro distruttivamente al di fuori della regione X, cosicché l'ampiezza totale — e quindi la probabilità di trovare lì la particella — è zero, mentre invece dentro la regione X interferiscono in modo da formare la figura rappresentata nel disegno. Questa figura fa vedere che la particella si trova in qualche punto interno alla regione X, ma non ci permette di localizzarla ulteriormente. Per i punti interni alla regione X possiamo solo assegnare le probabilità per la presenza della particella. (È più probabile che la particella si trovi nella zona centrale, dove le ampiezze di probabilità sono grandi, e meno probabile che si trovi verso gli estremi del pacchetto d'onda, dove le ampiezze sono piccole). La lunghezza del pacchetto d'onda rappresenta quindi l'incertezza nella posizione della particella.

La proprietà importante di un pacchetto d'onda del genere è che esso non ha una lunghezza d'onda definita, cioè le distanze tra due creste successive non sono uguali lungo tutta la figura. C'è una dispersione in lunghezza d'onda che dipende dalla lunghezza del pacchetto d'onda; più è corto il pacchetto, più ampia è la dispersione. Ciò non ha nulla a che fare con la meccanica quantistica, ma deriva semplicemente dalle proprietà delle onde. I pacchetti d'onda non hanno una lunghezza d'onda definita. La meccanica quantistica entra in gioco quando associamo la lunghezza d'onda alla quantità di moto della particella corrispondente. Se il pacchetto d'onda non ha una lunghezza d'onda ben definita, la particella non ha una quantità di moto ben definita. Ciò significa che non solo c'è una incertezza nella posizione della particella, che corrisponde alla lunghezza del pacchetto d'onda, ma c'è anche una incertezza nella sua quantità di moto, prodotta dalla dispersione in lunghezza d'onda.

da. Queste due incertezze sono interdipendenti, perché la dispersione in lunghezza d'onda (cioè l'incertezza della quantità di moto) dipende dalla lunghezza del pacchetto d'onda (cioè dall'incertezza della posizione). Se vogliamo localizzare la particella con maggiore precisione, cioè se vogliamo confinare il pacchetto d'onda in una regione più piccola, ciò porta a un aumento della dispersione in lunghezza d'onda e quindi a un aumento nell'incertezza della quantità di moto della particella.

La forma matematica precisa di questa relazione tra le incertezze nella posizione e nella quantità di moto di una particella è nota come principio di indeterminazione di Heisenberg. Esso indica che, nel mondo subatomico, non possiamo mai conoscere contemporaneamente la posizione e la quantità di moto di una particella con grandissima precisione. Quanto meglio conosciamo la posizione, tanto più incerta diventa la quantità di moto, e viceversa. Possiamo decidere di effettuare una misura precisa di una delle due quantità, ma allora resteremo completamente all'oscuro dell'altra. È importante comprendere, come è stato già posto in evidenza nel capitolo precedente, che questa non è una limitazione dovuta all'imperfezione delle nostre tecniche di misura, ma è una limitazione di principio. Se decidiamo di misurare con precisione la posizione della particella, essa semplicemente non ha una quantità di moto ben definita, e viceversa.

La relazione tra le incertezze nella posizione e nella quantità di moto della particella non è l'unica forma in cui si può esprimere il principio di indeterminazione. Analoghe relazioni valgono fra altre quantità, per esempio tra l'intervallo di tempo in cui avviene un processo atomico e l'energia in esso coinvolta. Ciò può essere visualizzato abbastanza facilmente rappresentando il nostro pacchetto d'onda non come una forma nello spazio, ma come una forma che vibra nel tempo. Quando la particella passa per un particolare punto di osservazione, le vibrazioni della forma d'onda in quel punto inizieranno con piccole ampiezze che aumente-

ranno e poi diminuiranno nuovamente fino a quando la vibrazione cesserà completamente. Il tempo impiegato dal passaggio di questa forma d'onda rappresenta l'intervallo durante il quale la particella attraversa il nostro punto di osservazione. Possiamo dire che il passaggio avviene in questo intervallo di tempo, ma non possiamo precisarlo ulteriormente. La durata del passaggio della vibrazione rappresenta quindi l'incertezza nella posizione temporale dell'evento.

Ora, come la forma spaziale del pacchetto d'onda non ha una lunghezza d'onda ben definita, la corrispondente oscillazione che vibra nel tempo non ha una frequenza ben definita. La dispersione in frequenza dipende dalla durata della forma d'onda e poiché la teoria quantistica associa la frequenza dell'onda all'energia della particella, la dispersione in frequenza corrisponde a una incertezza nell'energia della particella. L'incertezza nella posizione di un evento nel tempo risulta quindi collegata a una incertezza nell'energia allo stesso modo in cui una incertezza nella posizione di una particella nello spazio è collegata a una incertezza nella quantità di moto. Ciò significa che non possiamo mai conoscere con grande precisione sia l'istante nel quale avviene un evento sia l'energia in esso coinvolta. Eventi che avvengono entro un breve intervallo di tempo comportano una grande incertezza nell'energia; eventi che comportano una precisa quantità di energia possono essere individuati solo all'interno di un lungo intervallo di tempo.

L'importanza fondamentale del principio di indeterminazione consiste nel fatto che esso esprime i limiti dei nostri concetti classici in una precisa forma matematica. Abbiamo già osservato precedentemente che il mondo subatomico appare come una rete di relazioni tra le varie parti di un tutto unico. I nostri concetti classici, derivati dall'ordinaria esperienza macroscopica, non sono del tutto adeguati a descrivere questo mondo. Anzitutto, il concetto di una entità fisica distinta quale la particella è un'idealizzazione che non ha alcun significato fondamentale. Essa può essere definita solo in rapporto

to alle sue connessioni con il tutto, e queste connessioni sono di natura statistica: probabilità invece di certezze. Quando descriviamo le proprietà di un'entità di questo tipo in termini di concetti classici – come posizione, energia, quantità di moto, ecc. – troviamo che esistono coppie di concetti che sono in relazione tra di loro e che non possono essere definiti simultaneamente in modo preciso. Più forziamo uno dei concetti sull'oggetto » fisico, più l'altro concetto diventa indeterminato, e la precisa relazione tra i due è espressa dal principio di indeterminazione.

Per permettere una migliore comprensione di questa relazione tra coppie di concetti classici, Niels Bohr ha introdotto l'idea di complementarità. Egli considerò la rappresentazione corpuscolare e quella ondulatoria come due descrizioni complementari della stessa realtà, ciascuna delle quali è solo parzialmente adeguata e con un limitato campo di applicazione. Ognuna delle due rappresentazioni è necessaria per dare una descrizione completa della realtà atomica, ed entrambe devono essere applicate entro i limiti fissati dal principio di indeterminazione.

Questa idea di complementarità è diventata un aspetto essenziale del modo col quale i fisici riflettono sulla natura e Bohr ha spesso suggerito che potrebbe essere un concetto utile anche fuori della fisica; in effetti la nozione di complementarità si è dimostrata estremamente utile duemilacinquecento anni fa. Essa svolse un ruolo essenziale nel pensiero cinese antico che era basato sull'intuizione secondo la quale i concetti opposti stanno in rapporto polare, o complementare, l'uno rispetto all'altro. I saggi cinesi rappresentavano questa complementarità degli opposti con gli archetipi polari *yin* e *yang* e consideravano la loro interazione dinamica come l'essenza di tutti i fenomeni naturali e di tutte le situazioni umane.

Niels Bohr fu ben consapevole della corrispondenza tra il suo concetto di complementarità e il pensiero cinese. Durante una sua visita in Cina, nel 1937, quando

la sua interpretazione della meccanica quantistica era già stata completamente elaborata, egli fu profondamente colpito dall'antica idea cinese di opposti polari, e da allora conservò un profondo interesse per la cultura orientale. Dieci anni più tardi Bohr fu fatto nobile in riconoscimento dei suoi notevoli risultati scientifici e per gli importanti contributi alla vita culturale danese; e quando gli fu chiesto di scegliere un soggetto adatto al suo stemma, la sua scelta cadde sul simbolo cinese del T'ai Chi che rappresenta la relazione di complementarità degli archetipi opposti yin e yang. Scegliendo questo simbolo per il suo stemma assieme al motto *Contraria sunt complemento* (gli opposti sono complementari), Niels Bohr riconobbe una profonda armonia tra l'antica saggezza orientale e la scienza occidentale moderna.

12. LO SPAZIO-TEMPO

La fisica moderna ha confermato nel modo più drammatico una delle idee fondamentali del misticismo orientale: tutti i concetti che usiamo per descrivere la natura sono limitati; non sono aspetti della realtà, come tendiamo a credere, ma creazioni della mente; sono parti della mappa, non del territorio. Ogni volta che estendiamo il campo della nostra esperienza, i limiti della nostra mente razionale diventano evidenti e siamo costretti a modificare, o persino ad abbandonare, alcuni dei nostri concetti.

Le idee di spazio e di tempo hanno un posto preminente nella nostra mappa della realtà. Esse servono a ordinare cose ed eventi nel nostro ambiente e sono quindi di capitale importanza non solo nella vita quotidiana, ma anche nei nostri tentativi di comprendere la natura attraverso la scienza e la filosofia. Non c'è legge della fisica che per la sua formulazione non richieda l'uso dei concetti di spazio e di tempo. La profonda modifica di questi concetti fondamentali determinata dalla teoria della relatività fu perciò una delle più grandi rivoluzioni nella storia della scienza.
La fisica classica era basata sull'idea sia di uno spazio

assoluto, tridimensionale, indipendente dagli oggetti materiali in esso contenuti e regolato dalle leggi della geometria euclidea, sia di un tempo inteso come dimensione separata, anch'esso assoluto, che scorre uniformemente e indipendentemente dal mondo materiale. In Occidente, questi concetti di spazio e di tempo erano così profondamente radicati nella mente di filosofi e scienziati che furono assunti come proprietà vere e indiscusse della natura.

La convinzione che la geometria, più che far parte della struttura che usiamo per descrivere la natura, sia inherente a questa ha le sue origini nel pensiero greco. La geometria assiomatica era l'aspetto principale della matematica greca ed ebbe una profonda influenza sulla filosofia greca. Il suo metodo, che consisteva nel partire da assiomi indiscutibili per ricavarne dei teoremi mediante il ragionamento deduttivo, divenne caratteristico del pensiero filosofico greco; la geometria fu perciò al centro di tutte le attività intellettuali e costituì la base dell'educazione filosofica. Si dice che la porta dell'Accademia di Platone in Atene recasse la scritta « Non entri chi non conosce la geometria ». I Greci ritenevano che i loro teoremi matematici fossero espressioni di verità eterne ed esatte riguardanti il mondo reale, e che le forme geometriche fossero manifestazioni della bellezza assoluta. La geometria era considerata la combinazione perfetta della logica e della bellezza e pertanto era ritenuta di origine divina. Di qui il detto di Platone, « il dio è geometra ».

Poiché la geometria era vista come la rivelazione del dio, era ovvio per i Greci ritenere che i cieli dovessero avere forme geometriche perfette; ciò volle dire che i corpi celesti dovevano muoversi su orbite circolari. Per presentare il quadro in modo ancor più geometrico si pensò che i corpi celesti fossero fissati a una serie di sfere cristalline concentriche che si muovevano come un tutto unico, con la Terra nel centro.

Nei secoli successivi, la geometria greca continuò a esercitare una forte influenza sulla filosofia e sulla scien-

za dell'Occidente. Gli *Elementi* di Euclide furono il libro di testo classico nelle scuole europee fino all'inizio di questo secolo, e la geometria euclidea venne considerata la vera natura dello spazio per più di duemila anni. Fu necessaria l'opera di Einstein perché scienziati e filosofi si rendessero conto che la geometria non è inerente alla natura, ma è imposta a essa dalla nostra mente. Dice Henry Margenau:

« Al centro della teoria della relatività c'è il riconoscimento che la geometria... è una costruzione dell'intelletto. Solo accettando questa scoperta, la mente può sentirsi libera di modificare le nozioni tradizionali di spazio e di tempo, di riesaminare tutte le possibilità utilizzabili per definirle, e di scegliere quella formulazione che più concorda con l'esperienza ».¹

La filosofia orientale, a differenza di quella greca, ha sempre sostenuto che lo spazio e il tempo sono costruzioni della mente. I mistici orientali consideravano questi concetti — come tutti gli altri concetti intellettuali — relativi, limitati e illusori. In un testo buddhista, per esempio, troviamo le seguenti parole:

« Il Buddha insegnava, o monaci, che... il passato, il futuro, lo spazio fisico,... e le singole cose non fossero che nomi, forme di pensiero, parole di uso comune, realtà puramente superficiali ».²

Quindi, nell'Estremo Oriente la geometria non raggiunse mai la considerazione di cui godeva nell'antica Grecia, sebbene ciò non significhi che gli Indiani e i Cinesi ne avessero una scarsa conoscenza. Essi se ne servivano ampiamente per costruire altari di precise forme geometriche, per misurare i terreni e per tracciare le mappe celesti, ma mai per determinare verità astratte ed eterne. Questo atteggiamento filosofico si riflette anche nel fatto che l'antica scienza orientale general-

1. Citato in P.A. Schilpp, trad. cit., pp. 196-197.

2. *Mādhyamika Kārikā Vrtti*, citato in T.V.R. Murti, op. cit., p. 198.

mente non ritenne necessario far rientrare la natura in uno schema geometrico di linee rette e di cerchi perfetti. A tale proposito, le osservazioni di Joseph Needham sull'astronomia cinese sono molto interessanti:

« Gli [astronomi] cinesi non sentirono la necessità di forme [geometriche] di spiegazione: gli esseri che costituivano l'organismo universale seguivano il loro *Tao* ciascuno secondo la propria natura, e i loro movimenti avrebbero potuto essere trattati nella forma essenzialmente "non rappresentativa" dell'algebra. I Cinesi furono quindi liberi dall'ossessione degli astronomi europei per il cerchio inteso come la più perfetta delle figure, ... né fecero l'esperienza dello stretto vincolo medioevale delle sfere cristalline ».'

Gli antichi scienziati e filosofi orientali possedevano già l'atteggiamento, tanto fondamentale per la teoria della relatività, secondo il quale le nostre nozioni di geometria non sono proprietà assolute e immutabili della natura, bensì costruzioni intellettuali. Secondo le parole di Aśvaghosa,

« Sia chiaro che lo spazio non è altro che un modo di particolarizzazione che non ha esistenza reale di per se stesso... Lo spazio esiste solo in relazione alla nostra coscienza che particolarizza ».²

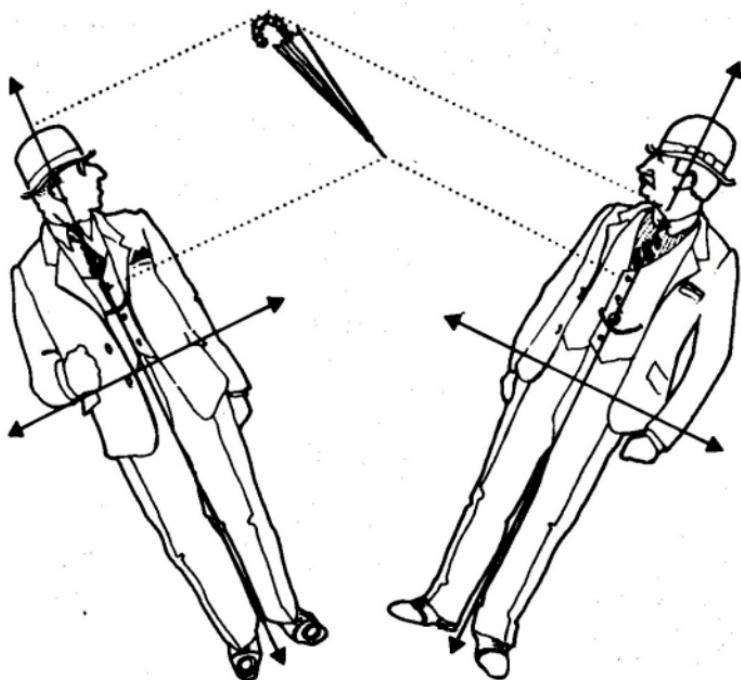
Queste stesse considerazioni valgono per la nostra idea di tempo. I mistici orientali collegano entrambe le nozioni di spazio e di tempo a particolari stati di coscienza. Essendo in grado, mediante la meditazione, di oltrepassare lo stato ordinario, essi si sono resi conto che i concetti convenzionali di spazio e di tempo non sono la verità ultima. La loro esperienza mistica porta a concetti di spazio e tempo più raffinati, che per molti aspetti somigliano a quelli della fisica moderna così come sono presentati dalla teoria della relatività.

I. J. Needham, *op. cit.*, vol. III, p. 458. 2. Aśvaghosa, *op. cit.*, p. 107.

Qual è, dunque, questa nuova concezione dello spazio e del tempo che emerge dalla teoria della relatività? Essa si basa sulla scoperta che tutte le misure di spazio e tempo sono relative. Ovviamente, la relatività delle specificazioni spaziali non costituiva nulla di nuovo. Si sapeva bene prima di Einstein che la posizione di un oggetto nello spazio può essere definita solo rispetto a qualche altro oggetto. Di solito, ciò viene fatto servendosi di tre coordinate e il punto dal quale si misurano le coordinate può essere chiamato la posizione dell'« osservatore ».

Perché la relatività di tali coordinate risulti chiara, immaginiamo due osservatori che galleggiano nello spazio e che osservano un ombrello, come nel disegno. L'osservatore A vede l'ombrelllo alla sua sinistra e leggermente inclinato, cosicché l'estremo superiore è un po' più vicino a lui. L'osservatore B, viceversa, vede l'ombrelllo alla sua destra inclinato in modo tale che l'estremità superiore risulta più distante. Estendendo questo esempio bidimensionale alle tre dimensioni, diventa chiaro che tutte le specificazioni spaziali — quali, « sinistra », « destra », « sopra », « sotto », obliquo », ecc. — dipendono dalla posizione dell'osservatore e sono quindi relative. Ciò era noto molto prima della teoria della relatività. Per quanto riguarda il tempo, tuttavia, la situazione nella fisica classica era completamente differente. Si supponeva infatti che l'ordine temporale tra due eventi fosse indipendente da qualsiasi osservatore, e alle specificazioni che si riferivano al tempo — quali, « prima », « dopo », o « simultaneamente » — veniva dato un significato assoluto, indipendente da qualsiasi sistema di coordinate.

Einstein riconobbe che anche le specificazioni temporali sono relative e dipendono dall'osservatore. Nella vita quotidiana, l'impressione di poter ordinare gli eventi attorno a noi in un'unica sequenza temporale è creata dal fatto che la velocità della luce — 300.000 chilometri al secondo — è tanto grande rispetto a qualsiasi altra velocità della quale possiamo avere un'espe-



Due osservatori, A e II, che osservano un ombrello.

rienza diretta, che possiamo supporre di star osservando gli eventi nell'istante stesso in cui essi avvengono. Tuttavia ciò non è affatto vero, poiché la luce richiede un certo tempo per andare dall'evento all'osservatore. Normalmente, questo tempo è talmente piccolo che la propagazione della luce può considerarsi istantanea; ma quando l'osservatore si muove ad alta velocità rispetto al fenomeno osservato, il breve intervallo di tempo tra l'istante in cui avviene un evento e l'istante in cui lo si osserva svolge un ruolo decisivo nello stabilire la sequenza degli eventi. Einstein comprese che, in un caso come questo, osservatori in moto con velocità diverse ordineranno diversamente gli eventi nel tempo.¹ Due

1. Per ottenere questo risultato è essenziale tener conto del fatto che la velocità della luce è la stessa per tutti gli osservatori.

eventi che un osservatore vede come simultanei possono avvenire in diverse sequenze temporali per altri osservatori. A velocità ordinarie, le differenze sono talmente piccole che non possono essere rivelate, ma quando le velocità si avvicinano a quella della luce, esse danno luogo ad effetti misurabili. Nella fisica delle alte energie, in cui gli eventi sono interazioni tra particelle che si muovono con velocità quasi uguale a quella della luce, la relatività del tempo è ben dimostrata e ha ricevuto conferma da innumerevoli esperimenti.¹

La relatività del tempo ci costringe anche ad abbandonare il concetto newtoniano di spazio assoluto. Tale spazio era immaginato come qualcosa che in ciascun istante conteneva una definita configurazione di materia; ora però si è visto che la simultaneità è un concetto relativo, che dipende dallo stato di moto dell'osservatore, e quindi non è più possibile definire un preciso istante di tempo uguale per tutto l'universo. Un evento lontano che avviene in un particolare istante per un osservatore può avvenire prima o dopo per un altro osservatore. Non si può dunque parlare in senso assoluto dell'*« universo in un dato istante »*: non esiste uno spazio assoluto indipendente dall'osservatore.

La teoria della relatività ha quindi dimostrato che tutte le misure che implicano spazio e tempo perdono il loro significato assoluto e ci ha costretti ad abbandonare i concetti classici di spazio e tempo assoluti. L'importanza fondamentale di questa evoluzione è stata espressa chiaramente da Mendel Sachs con le seguenti parole:

« L'effettiva rivoluzione avvenuta con la teoria di Einstein... fu l'abbandono dell'idea secondo la quale il sistema di coordinate spazio-temporali ha un significato

1. Si noti che in questo caso l'osservatore è in quiete nel suo laboratorio, ma gli eventi che egli osserva sono prodotti da particelle che si muovono con velocità differenti. L'effetto è lo stesso. Ciò che conta è il moto *relativo* tra l'osservatore e gli eventi osservati, mentre è irrilevante quale dei due si muove rispetto al laboratorio.

obiettivo come entità fisica indipendente. Al posto di questa idea, la teoria della relatività suggerisce che le coordinate spazio e tempo sono soltanto elementi di un linguaggio che viene usato da un osservatore per descrivere il suo ambiente ».

Questa affermazione di un fisico contemporaneo mostra la stretta affinità che c'è tra le nozioni di spazio e di tempo nella fisica moderna e quelle dei mistici orientali, i quali sostengono, con parole già da noi citate, che spazio e tempo « non sono altro che nomi, forme di pensiero, parole di uso comune ».

Poiché spazio e tempo sono ora ridotti al ruolo soggettivo di elementi del linguaggio usato da un particolare osservatore per descrivere i fenomeni naturali dal suo punto di vista, ciascun osservatore descriverà quei fenomeni in modo diverso. Per astrarre alcune leggi naturali universali dalle loro descrizioni, gli osservatori devono formulare queste leggi in modo tale che esse abbiano la stessa forma in tutti i sistemi di coordinate, cioè per tutti gli osservatori, qualunque sia la loro posizione e il loro moto relativo. Questa condizione è nota come principio di relatività ed è stata, in effetti, il punto di partenza della teoria omonima. È interessante notare come questa teoria fosse già contenuta in forma embrionale in un paradosso che si presentò ad Einstein all'età di soli sedici anni. Egli provò a immaginare come sarebbe apparso un fascio di luce a un osservatore che viaggiasse insieme con esso alla stessa velocità, e concluse che tale osservatore avrebbe visto il fascio di luce come un campo elettromagnetico che oscillava su e giù senza propagarsi, cioè senza formare un'onda. Tuttavia, in fisica non si conosce un tale campo elettromagnetico. Il giovane Einstein pensò allora che, se era così, la stessa cosa che a un osservatore appariva come un ben noto

fenomeno elettromagnetico, cioè un'onda luminosa, a un altro osservatore sarebbe apparsa come un fenomeno che contraddiceva le leggi della fisica, e questo non gli sembrò possibile. Negli anni successivi, Einstein capì che il principio di relatività può essere soddisfatto, nella descrizione dei fenomeni elettromagnetici, solo se tutte le specificazioni, non solo spaziali ma *anche* temporali, sono relative. Le leggi della meccanica, che governano i fenomeni associati ai corpi in movimento, e le leggi dell'elettrodinamica, la teoria dell'elettricità e del magnetismo, possono allora essere formulate in uno schema « relativistico » comune che, insieme con le tre coordinate spaziali, incorpori il tempo come quarta coordinata che deve essere specificata rispetto all'osservatore.

Per verificare se il principio di relatività è soddisfatto, cioè se le equazioni di una certa teoria appaiono le stesse in tutti i sistemi di coordinate, si deve naturalmente essere in grado di tradurre le specificazioni spazio-temporali da un sistema di coordinate, o « sistema di riferimento », all'altro. Tali traduzioni, o « trasformazioni », come vengono chiamate, erano già ben note e ampiamente usate nella fisica classica. Per esempio, la trasformazione tra i due sistemi di riferimento rappresentati a pag. 191 esprime ciascuna delle due coordinate dell'osservatore A (una orizzontale e 'altra verticale, indicate nel disegno dalle linee orientate che si intersecano) come combinazione delle coordinate dell'osservatore **B**, e viceversa. Le espressioni esatte possono essere ricavate facilmente con l'aiuto della geometria elementare.

Nella fisica relativistica, si presenta una situazione nuova, perché alle tre coordinate spaziali si aggiunge il tempo come quarta dimensione. Poiché le trasformazioni tra differenti sistemi di riferimento esprimono ciascuna coordinata di un sistema come combinazione delle coordinate dell'altro, in generale una coordinata spaziale in un sistema apparirà, in un altro sistema, come combinazione sia delle coordinate spaziali sia di quella temporale. Siamo in presenza di una situazione comple-

tamente nuova. Ogni variazione del sistema di coordinate ricombina spazio e tempo in un modo matematicamente ben definito. Pertanto i due concetti non possono più essere separati, poiché ciò che è spazio per un osservatore sarà combinazione di spazio e tempo per l'altro. La teoria della relatività ha dimostrato che lo spazio non è tridimensionale e il tempo non è una entità separata. Entrambi sono profondamente e inseparabilmente connessi e formano un continuo quadridimensionale chiamato « spazio-tempo ». Questo concetto di spazio-tempo fu introdotto da Hermann Minkowski in una famosa conferenza del 1908 con le seguenti parole:

« Le concezioni di spazio e tempo che desidero esporvi sono sorte dal terreno della fisica sperimentale, e in ciò sta la loro forza. Esse sono fondamentali. D'ora in poi lo spazio di per se stesso e il tempo di per se stesso sono condannati a svanire in pure ombre, e solo una specie di unione tra i due concetti conserverà una realtà indipendente ».¹

I concetti di spazio e tempo sono talmente fondamentali per la descrizione dei fenomeni naturali che la loro modificazione comporta un cambiamento dell'intero schema teorico di cui ci serviamo in fisica per descrivere la natura. Nel nuovo schema, spazio e tempo sono trattati sullo stesso piano e sono connessi in modo inseparabile: nella fisica relativistica non possiamo mai parlare di spazio senza parlare di tempo, e viceversa. Ogni volta che ci si occupa di fenomeni che comportano elevate velocità, si deve usare questo nuovo schema di interpretazione.

Il legame profondo che esiste tra spazio e tempo era ben noto in astronomia, in un contesto diverso, molto prima della teoria della relatività. Gli astronomi e gli astrofisici hanno a che fare con distanze estremamente grandi e di nuovo, in questo caso, diventa importante il

1. In A. Einstein e altri, *The Principle of Relativity*, Dover, New York 1923, p. 75.

fatto che la luce impieghi un certo intervallo di tempo per andare dall'oggetto osservato all'osservatore. Poiché la velocità della luce è finita, gli astronomi non osservano mai l'universo nel suo stato attuale, ma guardano sempre indietro, nel passato. Per andare dal Sole alla Terra, la luce impiega otto minuti, e quindi, in ogni momento, noi vediamo il Sole come era otto minuti prima. Analogamente, vediamo la stella più vicina come essa era quattro anni fa, e con i nostri potenti telescopi possiamo vedere le galassie come erano milioni di anni fa.

Il fatto che la velocità della luce è finita non rappresenta in alcun modo un problema per gli astronomi, anzi costituisce un grande vantaggio. Permette loro di osservare tutte le fasi dell'evoluzione di stelle, ammassi stellari o galassie guardando semplicemente nello spazio e indietro nel tempo. Tutti i tipi di fenomeni che sono avvenuti nei milioni di anni del passato possono effettivamente essere osservati in qualche punto del cielo. Gli astronomi sono quindi abituati a riconoscere l'importanza del legame che esiste tra spazio e tempo. Quello che la teoria della relatività ci dice di nuovo è che questo legame è importante non solo quando abbiamo a che fare con grandi distanze, ma anche quando abbiamo a che fare con grandi velocità. Persino qui sulla Terra la misura di una distanza non è indipendente dal tempo, perché essa richiede la specificazione dello stato di moto dell'osservatore, e quindi un riferimento al tempo.

L'unificazione dello spazio e del tempo comporta — come è già stato detto nel capitolo precedente — una unificazione di altri concetti fondamentali, e questa funzione unificatrice è l'aspetto più caratteristico della struttura della relatività. Concetti che nella fisica non relativistica sembravano del tutto privi di qualsiasi relazione, ora sono considerati semplicemente aspetti diversi di un medesimo concetto. La sua funzione unificatrice conferisce alla struttura della relatività una grande eleganza e una profonda bellezza dal punto di vista matematico. Molti anni di lavoro con la teoria della relatività

ci hanno portato ad apprezzare questa eleganza e a impadronirci perfettamente del suo formalismo matematico; tuttavia ciò è stato di scarso aiuto per la nostra intuizione. Non abbiamo alcuna esperienza sensoriale diretta dello spazio-tempo quadridimensionale né degli altri concetti relativistici. Ogni volta che studiamo dei fenomeni naturali che comportano alte velocità, ci risulta molto difficile trattare questi concetti sia a livello di intuizione sia a livello di linguaggio ordinario.

Per esempio, nella fisica classica si è sempre dato per scontato che un regolo ha la stessa lunghezza in moto o in quiete. La teoria della relatività ha mostrato che ciò non è vero. La lunghezza di un oggetto dipende dal suo moto rispetto all'osservatore e cambia con la velocità di quel moto. La variazione è tale che l'oggetto si contrae nella direzione del moto. La lunghezza del regolo è massima in un sistema di riferimento nel quale esso è in quiete e diminuisce col crescere della velocità rispetto all'osservatore. Durante gli esperimenti di « diffusione » della fisica delle alte energie, in cui le particelle si urtano a grandissime velocità, la contrazione relativistica raggiunge valori così elevati che particelle di forma sferica vengono schiacciate fino ad assumere la forma di « frittelle ».

È importante comprendere che non ha alcun senso chiedersi quale sia la lunghezza « reale » di un oggetto, proprio come nella vita quotidiana non ha senso chiedersi quale sia la lunghezza reale dell'ombra di una persona. L'ombra è la proiezione su un piano bidimensionale di un insieme di punti dello spazio tridimensionale e la sua lunghezza è diversa a seconda dell'angolo di proiezione. Analogamente, la lunghezza di un oggetto in moto è la proiezione, su uno spazio tridimensionale, di un insieme di punti dello spazio-tempo quadridimensionale; essa è diversa in sistemi di riferimento diversi.

Ciò che è vero per le lunghezze, è vero anche per gli intervalli di tempo. Anche essi dipendono dal sistema di riferimento, ma al contrario delle distanze spaziali diventano tanto più lunghi quanto più aumenta la velocità.

rispetto all'osservatore. Ciò significa che gli orologi in moto rallentano e il tempo scorre più lentamente. Questi orologi possono essere di tipi svariati: orologi meccanici, orologi atomici, o addirittura il battito del cuore dell'uomo. Se di una coppia di gemelli uno dei due partisse per un veloce viaggio di andata e ritorno nello spazio esterno, al suo rientro a casa risulterebbe più giovane del fratello, perché dal punto di vista di quest'ultimo, rimasto a terra, tutti i suoi « orologi » – il battito del cuore, il flusso del sangue, le onde cerebrali, ecc. – sarebbero rallentati durante il viaggio. Il viaggiatore, naturalmente, non si accorgerebbe di alcunché di insolito, ma al suo ritorno si renderebbe improvvisamente conto che ora il fratello gemello è molto più vecchio. Questo « paradosso dei gemelli » è forse il più famoso paradosso della fisica moderna. Esso ha provocato accese discussioni nelle riviste scientifiche, ancora non completamente sopite: una prova eloquente del fatto che la realtà descritta dalla teoria della relatività non può essere afferrata facilmente dalla nostra intelligenza ordinaria.

Il rallentamento degli orologi in moto, per quanto possa sembrare incredibile, è facilmente sottoposto a verifica nella fisica delle particelle. La maggior parte delle particelle subatomiche sono instabili, cioè dopo un certo periodo di tempo si disintegrano in altre particelle. Numerosi esperimenti hanno confermato il fatto che la vita media¹ di una di queste particelle instabili dipende dal suo stato di moto e aumenta con la sua velocità. Particelle che si muovono con una velocità pari all'80 per cento di quella della luce vivono circa 1,7 volte di più delle loro « gemelle » lente, mentre con una velocità pari al 99 per cento della velocità della luce vivono circa 7

1. Forse è bene fare una piccola precisazione tecnica. Quando parliamo della vita di un determinato tipo di particella instabile, intendiamo sempre la vita media. A causa del carattere statistico della fisica subatomica, non possiamo fare alcuna affermazione precisa sulle singole particelle.

volte più a lungo. Anche in questo caso ciò non significa che cambia la vita media reale della particella. Dal punto di vista della particella, la sua vita media è sempre la stessa, ma dal punto di vista dell'osservatore nel laboratorio l'« orologio interno » della particella ha rallentato e perciò essa vive più a lungo.

Tutti questi effetti relativistici sembrano strani soltanto perché con i nostri sensi non possiamo fare alcuna esperienza diretta del mondo quadridimensionale dello spazio-tempo, ma possiamo osservarne soltanto le « immagini » tridimensionali. Queste immagini hanno aspetti diversi in diversi sistemi di riferimento; oggetti in moto appaiono diversi da oggetti fermi e orologi in moto scandiscono il tempo con ritmo diverso. Questi effetti possono sembrare paradossali se non comprendiamo che essi sono soltanto le proiezioni di fenomeni quadri-dimensionali, proprio come le ombre sono proiezioni di oggetti tridimensionali. Se potessimo visualizzare la realtà dello spazio-tempo quadridimensionale, non ci sarebbe nulla di paradossale.

I mistici orientali, come è stato detto sopra, sembrano in grado di raggiungere stati di coscienza non ordinari, nei quali trascendono il mondo tridimensionale della vita quotidiana per provare l'esperienza di una realtà superiore, pluridimensionale. Aurobindo per esempio parla di « un mutamento sottile che fa sì che la vista veda in una specie di quarta dimensione ».¹ Le dimensioni di questi stati di coscienza non sono forse le stesse con le quali abbiamo a che fare nella fisica relativistica, ma è sorprendente il fatto che esse abbiano condotto i mistici a nozioni di spazio e tempo che sono molto simili a quelle della teoria della relatività.

In tutto il misticismo orientale sembra essere presente una profonda intuizione del carattere « spazio-temporale » della realtà. Viene ribadito con insistenza che spazio e tempo sono uniti in maniera inseparabile, un fatto

1. S. Aurobindo, trad. cit., p. 278.

questo peculiare della fisica relativistica. Questa nozione intuitiva di spazio e tempo ha trovato, forse, la sua esposizione più chiara e la sua elaborazione di più vasta portata nel Buddhismo, e in particolare nella scuola *Avatamsaka* del buddhismo *Mahāyāna*. *L'Avatamsaka-sūtra*, sul quale si basa tale scuola,¹ fornisce una viva descrizione dell'esperienza che si ha del mondo nello stato di illuminazione. La consapevolezza di una « compenetrazione di spazio e tempo » – un'espressione perfetta per descrivere lo spazio-tempo è ripetutamente sottolineata nel *sūtra* ed è vista come una caratteristica essenziale dello stato di illuminazione della mente. Per usare le parole di D.T. Suzuki:

« Il significato dell'*Avatamsaka* e della sua filosofia è incomprensibile a meno di non provare una volta... uno stato di totale dissolvimento in cui non c'è più distinzione tra mente e corpo, soggetto e oggetto... Ci guardiamo intorno e sentiamo che... ogni oggetto è connesso con ogni altro oggetto... non solo spazialmente, ma temporalmente. ... Come realtà di pura esperienza, non c'è spazio senza tempo, non c'è tempo senza spazio; essi si compenetrano ».²

Difficilmente si potrebbe trovare un modo migliore per descrivere il concetto relativistico di spazio-tempo. Confrontando la citazione di Suzuki con quella, riportata precedentemente, di Minkowski, è interessante anche notare che sia il fisico sia il buddhista sottolineano il fatto che le loro concezioni di spazio-tempo sono basate sull'esperienza: in un caso su esperimenti scientifici, nell'altro sull'esperienza mistica.

A parer mio, la particolare disposizione dell'intuito dei mistici orientali a dare importanza al concetto di tempo è una delle ragioni principali per cui, in genere, le

1. Si veda p. 117.

2. D.T. Suzuki, *Prefazione a B.L. Suzuki, Mahāyāna Buddhism*, Allen & Unwin, London 1959, p. 33 [trad. it. *Buddhismo Mahāyāna*, Sansoni, Firenze 1959].

loro idee sulla natura sembrano corrispondere molto più da vicino alle concezioni scientifiche moderne di quanto non facciano quelle della maggior parte dei filosofi greci. La filosofia della natura dei Greci era, nel suo insieme, essenzialmente statica e in buona parte si basava su considerazioni geometriche. Si potrebbe dire che era estremamente « non-relativistica », e la sua profonda influenza sul pensiero occidentale può essere certamente uno dei motivi per cui noi abbiamo difficoltà concettuali tanto grandi di fronte ai modelli relativistici della fisica moderna. Le filosofie orientali, viceversa, sono filosofie dello « spazio-tempo » e quindi la loro intuizione spesso si avvicina moltissimo alle concezioni della natura suggerite dalle nostre moderne teorie relativistiche.

Essendo basate sulla consapevolezza che spazio e tempo sono intimamente connessi e compenetrati, le concezioni del mondo della fisica moderna e del misticismo orientale sono entrambe intrinsecamente dinamiche e contengono il tempo e il mutamento come propri elementi essenziali. Questo punto sarà esaminato dettagliatamente nel prossimo capitolo, e costituisce il secondo tema importante, a cui si farà costante riferimento nel nostro confronto tra fisica e misticismo orientale (il primo è quello dell'unità di tutte le cose e di tutti gli eventi). Studiando i modelli relativistici e le teorie della fisica moderna, vedremo che ognuno di essi è una straordinaria esemplificazione dei due elementi basilari della concezione orientale del mondo: l'unicità fondamentale dell'universo e il suo carattere intrinsecamente dinamico.

La teoria della relatività, nella forma esaminata finora, è nota come « teoria speciale della relatività ». Essa fornisce uno schema che vale per la descrizione tanto dei fenomeni associati ai corpi in moto, quanto di quelli associati all'elettricità e al magnetismo; gli elementi caratteristici fondamentali di questo schema sono la relatività dello spazio e del tempo e la loro unificazione in uno spazio-tempo quadridimensionale.

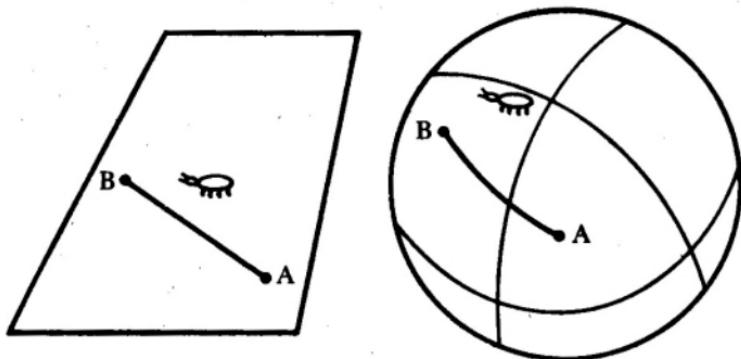
Nella « teoria generale della relatività », lo schema della teoria speciale è stato esteso fino a includere la gravità. L'effetto della gravità, secondo la relatività generale, è di curvare lo spazio-tempo. Di nuovo, questo fatto è estremamente difficile da visualizzare. Possiamo facilmente immaginare una superficie curva bidimensionale, come per esempio il guscio di un uovo, perché vediamo una superficie curva del genere nello spazio tridimensionale. Il significato del termine curvatura per superfici curve bidimensionali è quindi del tutto chiaro; ma quando si trasferisce questo concetto allo spazio tridimensionale – per non parlare dello spazio-tempo quadridimensionale – la nostra immaginazione ci abbandona. Poiché non possiamo guardare lo spazio tridimensionale «dall'esterno», non riusciamo a immaginare come possa essere «curvato in qualche direzione».

Per comprendere il significato dello spazio-tempo curvo, dobbiamo servirci, come analogie, di superfici curve bidimensionali. Immaginiamo, per esempio, la superficie di una sfera. Il fatto decisivo che rende possibile l'analogia con lo spazio-tempo è che la curvatura è una proprietà intrinseca alla superficie e può essere misurata senza uscire nello spazio tridimensionale. Un insetto bidimensionale, confinato sulla superficie della sfera e incapace di percepire lo spazio tridimensionale, potrebbe lo stesso scoprire che la superficie sulla quale vive è curva, purché sia in grado di eseguire misurazioni geometriche.

Per capire come questo possa avvenire, dobbiamo confrontare la geometria del nostro insetto sulla sfera con quella di un altro insetto simile che viva su una superficie piana.¹ Supponiamo che i due insetti comincino il loro studio della geometria tracciando una linea retta, definita come il percorso più breve tra due punti.

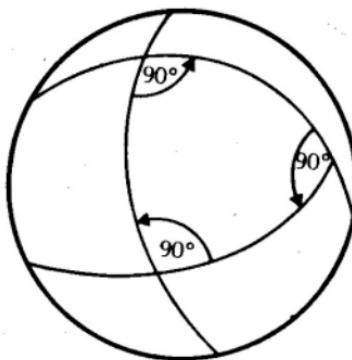
1. I seguenti esempi sono tratti da R.P. Feynman, R.B. Leighton e M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, Addison-Wesley, Reading, Mass. 1966 [trad. it. *La fisica di Feynman*. Inter European Editions. Amsterdam 1975, vol. II, cap. XLII].

Il risultato è indicato nella figura. Vediamo che l'insetto sulla superficie piana ha disegnato una vera e propria linea retta, ma cosa ha fatto l'insetto sulla sfera? Per lui, la linea che ha disegnato è la più breve tra quelle che uniscono i punti A e B, poiché qualsiasi altra linea che può tracciare risulterebbe più lunga; ma noi, dal nostro



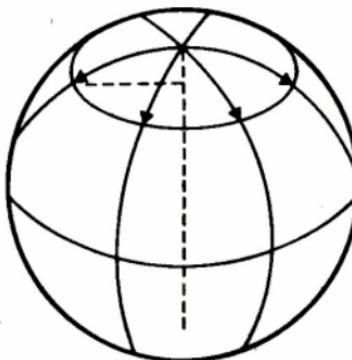
Come si traccia una « linea retta » su un piano e su una sfera.

punto di vista, ci accorgiamo che questa linea è una curva (per la precisione, si tratta di un arco di cerchio massimo). Supponiamo ora che i due insetti studino i triangoli. L'insetto sul piano troverà che la somma dei tre angoli di qualsiasi triangolo è uguale a due angoli retti, cioè 180° ; l'insetto sulla sfera scoprirà invece che nei suoi triangoli la somma degli angoli è sempre maggiore di 180° . Per triangoli piccoli, la differenza in eccesso è piccola, ma essa cresce a mano a mano che i triangoli diventano più grandi e, come caso limite, il nostro insetto sulla sfera sarà addirittura in grado di disegnare triangoli con tre angoli retti. Infine, vediamo che cosa succede quando i due insetti tracciano dei cerchi e ne misurano la circonferenza. L'insetto sul piano troverà che la circonferenza è sempre uguale a 2π volte il raggio, indipendentemente dalle dimensioni del cerchio. L'insetto sulla sfera, viceversa, noterà che la circonferenza è



Su una sfera un triangolo può avere tre angoli retti.

sempre minore di 2 volte il raggio. Come si può vedere nella figura qui sotto, il nostro punto di vista tridimensionale ci permette di capire che quello che l'insetto considera il raggio del suo cerchio è in effetti una curva che è sempre maggiore del raggio vero del cerchio.



Come si traccia una circonferenza su una sfera.

Via via che i due insetti continuano a studiare la geometria, quello sul piano scoprirà gli assiomi e le leggi della geometria euclidea, ma il suo collega sulla sfera scoprirà leggi diverse. La differenza sarà piccola per figure geometriche piccole, ma aumenterà a mano a

mano che le figure geometriche diventeranno più grandi. L'esempio dei due insetti fa vedere che possiamo sempre determinare se una superficie è curva oppure no semplicemente effettuando misurazioni geometriche sulla superficie e confrontando i risultati con quelli previsti dalla geometria euclidea. Se c'è una discrepanza, la superficie è curva, e più grande è la discrepanza — per una data dimensione della figura — maggiore è la curvatura.

Nello stesso modo, possiamo definire come spazio tridimensionale curvo uno spazio nel quale non è più valida la geometria euclidea. In esso, le leggi della geometria saranno di tipo diverso, « non euclideo ». Una geometria non euclidea di questo genere fu introdotta dal matematico Georg Riemann nel diciannovesimo secolo, come idea matematica puramente astratta, e si ritenne che fosse niente di più che questo fino al momento in cui Einstein propose la rivoluzionaria ipotesi che lo spazio tridimensionale in cui viviamo è di fatto curvo. Secondo la teoria di Einstein, la curvatura dello spazio è prodotta dai campi gravitazionali dei corpi. Dovunque sia presente un oggetto con massa, lo spazio circostante è curvo, e il grado di curvatura, vale a dire il grado in cui la geometria devia da quella di Euclide, dipende dalla massa dell'oggetto.

Le equazioni che mettono in relazione la curvatura dello spazio con la distribuzione di materia presente in esso sono chiamate equazioni del campo di Einstein. Possono essere applicate non solo per determinare le variazioni locali di curvatura nelle vicinanze di stelle e pianeti, ma anche per scoprire se c'è una curvatura globale dello spazio su larga scala. In altre parole, le equazioni di Einstein possono essere usate per determinare la struttura dell'universo nel suo insieme. Purtroppo, esse non danno una risposta univoca, ma possono avere soluzioni matematiche diverse; queste diverse soluzioni costituiscono i vari modelli dell'universo studiati in cosmologia, alcuni dei quali verranno esaminati nel prossimo capitolo. Determinare quale di essi corri-

sponda alla struttura reale del nostro universo è il compito principale della cosmologia dei nostri giorni.

Poiché nella teoria della relatività lo spazio non può mai essere separato dal tempo, la curvatura prodotta dalla gravità non può rimanere limitata allo spazio tridimensionale, ma deve estendersi allo spazio-tempo quadridimensionale. E questo è, in effetti, quanto prevede la teoria generale della relatività. In uno spazio-tempo curvo, le distorsioni prodotte dalla curvatura riguardano non solo le relazioni spaziali descritte dalla geometria, ma anche le durate degli intervalli di tempo. Il tempo non scorre con la stessa rapidità che avrebbe nello « spazio-tempo piano », e col variare della curvatura da punto a punto, in rapporto alla distribuzione della massa dei corpi, varia corrispondentemente lo scorrere del tempo. È importante rendersi conto, tuttavia, che questa variazione dello scorrere del tempo può essere vista solo da un osservatore che rimanga in un luogo diverso da quello degli orologi usati per misurare tale variazione. Se l'osservatore, per esempio, si spostasse in un luogo nel quale il tempo scorre più lentamente, anche tutti i suoi orologi rallenterebbero e quindi egli non avrebbe alcun mezzo per misurare tale effetto.

Nel nostro ambiente terrestre, gli effetti della gravità sullo spazio e sul tempo sono talmente piccoli da essere insignificanti, ma nell'astrofisica, che tratta con corpi di grande massa, quali pianeti, stelle e galassie, la curvatura dello spazio-tempo è un fenomeno importante. Finora tutte le osservazioni hanno confermato la teoria di Einstein e ci spingono quindi a credere che lo spazio-tempo sia di fatto curvo. Gli effetti più drastici della curvatura dello spazio-tempo si manifestano durante la contrazione — o « collasso » — gravitazionale di una stella di grande massa. Secondo le idee correnti dell'astrofisica, nel corso della sua evoluzione ogni stella raggiunge uno stadio durante il quale essa si contrae a causa della mutua attrazione gravitazionale tra le sue particelle. Poiché l'attrazione aumenta rapidamente col diminuire della distanza tra le particelle, la contrazione accelera, e

se la stella ha una massa sufficientemente grande, pari a più di due volte quella del Sole, nessun processo conosciuto può impedire che la contrazione prosegua indefinitamente.

A mano a mano che la stella si contrae e diventa più densa, la forza di gravità sulla sua superficie cresce sempre più, e di conseguenza continua ad aumentare anche la curvatura dello spazio-tempo nella regione circostante. A causa della crescente forza di gravità sulla superficie della stella, diventa sempre più difficile allontanarsene, e alla fine la stella raggiunge uno stadio in cui dalla sua superficie non può sfuggire nulla, neanche la luce. A questo stadio diciamo che attorno alla stella si forma un « orizzonte degli eventi », perché nessun segnale può allontanarsi da essa per comunicare un evento qualsiasi al mondo esterno. Lo spazio attorno alla stella è quindi talmente curvo che tutta la luce rimane confinata al suo interno e non può uscirne. Noi non siamo in grado di vedere una stella di questo tipo, perché la sua luce non può mai raggiungerci e per questo motivo la chiamiamo buco nero. L'esistenza dei buchi neri fu prevista già nel 1916, sulla base della teoria della relatività; recentemente l'argomento è stato posto al centro dell'attenzione dalla scoperta di alcuni fenomeni stellari che sembrerebbero indicare l'esistenza di una stella pesante che ruota attorno a una compagna invisibile, la quale potrebbe essere un buco nero.

I buchi neri sono tra gli oggetti più affascinanti e più misteriosi studiati dall'astrofisica moderna e illustrano nel modo più spettacolare gli effetti della teoria della relatività. La forte curvatura dello spazio-tempo attorno ad essi non solo impedisce a tutta la loro luce di raggiungerci, ma ha un effetto altrettanto impressionante sul tempo. Se un orologio, che ci trasmette i suoi segnali, si trovasse sulla superficie di una stella che si sta contraendo, noi osserveremmo che questi segnali rallentano a mano a mano che la stella si approssima all'orizzonte degli eventi finché, una volta che la stella fosse diventata un buco nero, non ci giungerebbe più nessun segnale.

dall'orologio. Per un osservatore esterno, lo scorrere del tempo sulla superficie della stella rallenta con la contrazione della stella e si ferma del tutto all'orizzonte degli eventi. La contrazione completa della stella avviene quindi in un tempo infinito. Tuttavia la stessa stessa non avverte nulla di particolare quando si contrae oltre l'orizzonte degli eventi. Il tempo continua a scorrere normalmente e la contrazione è completata dopo un periodo finito di tempo, quando la stella si è contratta in un punto di densità infinita. Allora, quanto tempo occorre realmente per la contrazione: un tempo finito o un tempo infinito? Nel mondo della teoria della relatività, una domanda di questo tipo è priva di senso. La durata della vita di una stella che si contrae, come tutti gli altri intervalli di tempo, è relativa e dipende dal sistema di riferimento dell'osservatore.

Nella teoria generale della relatività, i concetti classici di spazio e di tempo come entità assolute e indipendenti sono totalmente aboliti. Non solo sono relative tutte le misurazioni riguardanti lo spazio e il tempo, poiché dipendono dallo stato di moto dell'osservatore, ma l'intera struttura dello spazio-tempo è inestricabilmente legata alla distribuzione della materia. Lo spazio è curvo in misura diversa e il tempo scorre diversamente in punti diversi dell'universo. Siamo quindi giunti a comprendere che le idee di spazio euclideo tridimensionale e di tempo che scorre linearmente sono limitate alla nostra esperienza ordinaria del mondo fisico e devono essere completamente abbandonate quando ampliamo questa esperienza.

Anche i saggi orientali parlano di ampliamento della loro esperienza del mondo durante gli stati superiori di coscienza, e affermano che questi stati comportano un'esperienza totalmente diversa dello spazio e del tempo. Essi insistono sul fatto che non solo, durante la meditazione, vanno al di là dell'ordinario spazio tridimensionale, ma anche — e sottolineano questo con vigore ancora maggiore — trascendono l'ordinaria consapevolezza del tempo. Invece di una successione lineare di

istanti, essi percepiscono — così dicono — un presente infinito, eterno, e tuttavia dinamico. Nelle seguenti citazioni, tre mistici orientali — il saggio taoista Chuang-tzu, il sesto patriarca Zen Hui-neng e lo studioso contemporaneo di Buddhismo D.T. Suzuki — parlano dell'esperienza di questo « eterno presente »:

« Dimentichiamo il trascorrere del tempo; dimentichiamo i contrasti di opinioni. Facciamoci assorbire dall'infinito e occupiamo in esso il nostro posto ».¹

« L'assoluta tranquillità è il momento presente. Sebbene sia in questo momento, questo momento non ha limiti, e quivi è eterno diletto ».²

« In questo mondo spirituale non ci sono suddivisioni di tempo come passato, presente e futuro; esse si sono contratte in un singolo istante del presente nel quale la vita freme nel suo vero senso... Il passato e il futuro sono entrambi racchiusi in questo momento presente di illuminazione e questo momento presente non è qualcosa che sta in quiete con tutto ciò che contiene, ma si muove incessantemente ».³

È quasi impossibile parlare dell'esperienza di eterno presente, perché tutte le parole come « eterno », « presente », « passato », « istante », ecc., si riferiscono all'idea convenzionale di tempo. È quindi estremamente difficile comprendere cosa vogliano dire i mistici in passi come quelli citati; ma qui, di nuovo, la fisica moderna può facilitare la comprensione, in quanto può essere usata per illustrare con esempi grafici come le sue teorie trascendano le nozioni ordinarie di tempo.

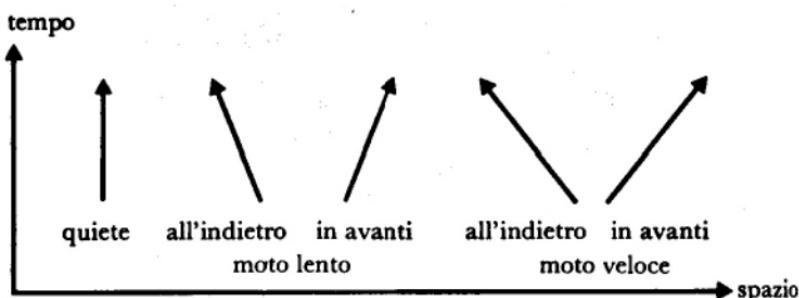
Nella fisica relativistica, la storia di un oggetto, per esempio di una particella, può essere rappresentata in un cosiddetto diagramma spazio-tempo » (si veda figura a p. 210). In questi diagrammi, la direzione orizzontale

1. *Chuang-tzu*, n. 16.

2. Hui-neng, citato in A.W. Watts, trad. cit., p. 214.

3. D.T. Suzuki, *On Indian Mahāyāna Buddhism*, cit., pp. 148-149.

rappresenta lo spazio,' e la direzione verticale il tempo. La traiettoria della particella nello spazio-tempo si chiama la sua « linea di universo ». Anche quando è in quiete, la particella si muove nel tempo e in tal caso la sua « linea di universo » è una retta verticale. Se la



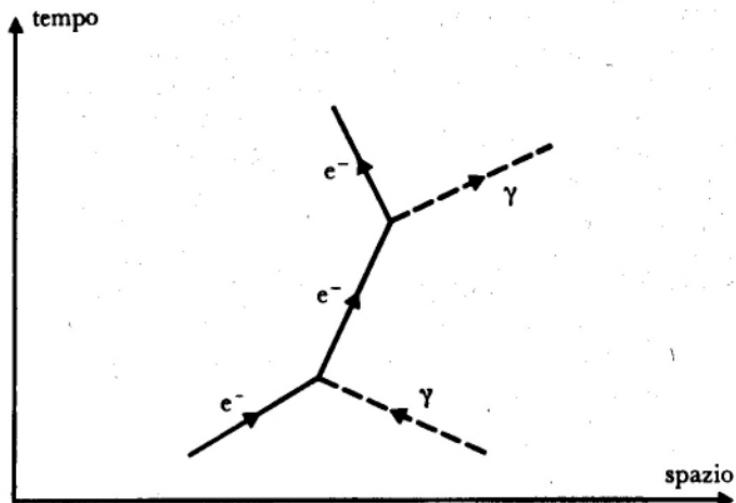
Linee di universo di varie particelle.

particella si muove nello spazio, la sua linea di universo sarà inclinata, con un'inclinazione tanto maggiore quanto più grande è la velocità della particella. Si noti che le particelle possono muoversi solo in avanti nel tempo, ma sia in avanti che indietro nello spazio. Le loro linee di universo possono avere inclinazioni diverse rispetto all'orizzontale, ma non possono mai diventare perfettamente orizzontali, poiché ciò significherebbe che una particella viaggia da un punto all'altro in un tempo nullo.

I diagrammi spazio-tempo sono usati nella fisica relativistica per rappresentare le interazioni tra varie particelle. Per ciascun processo, possiamo tracciare un diagramma e associare ad esso una espressione matematica definita che ci dà la probabilità che si verifichi il processo. Per esempio, l'urto, o « diffusione », tra un elettrone e un fotone può essere rappresentato con il seguente

In questi diagrammi, lo spazio ha una sola dimensione; le altre due dimensioni sono state eliminate per poter disegnare il diagramma su un piano.

diagramma. Questo diagramma dev'essere letto nel seguente modo (a cominciare dal basso verso l'alto, secondo la direzione del tempo): un elettrone (indicato con e^- poiché ha carica negativa) urta un fotone (indicato con γ) ; il fotone è assorbito dall'elettrone che continua



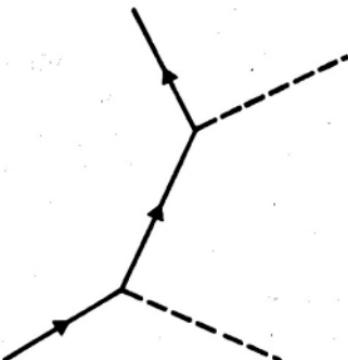
Diffusione elettrone fotone.

la sua traiettoria con velocità diversa (e di conseguenza varia la pendenza della linea di universo); dopo un certo tempo l'elettrone emette nuovamente il fotone e inverte la sua direzione di moto.

La teoria che fornisce lo schema interpretativo adeguato per questi diagrammi spazio-tempo e per le espressioni matematiche a essi associate si chiama « teoria dei campi ». Si tratta di una delle più importanti teorie relativistiche della fisica moderna, i cui concetti fondamentali saranno esaminati più avanti. Per la nostra discussione dei diagrammi spazio-tempo, sarà sufficiente conoscere due aspetti particolari di questa teoria. Il primo è il fatto che tutte le interazioni comportano la creazione e la distruzione di particelle, come l'assorbimento e l'emissione del fotone nel nostro dia-

gramma; il secondo aspetto è la simmetria di fondo che esiste tra particelle e antiparticelle. Per ogni particella, esiste un antiparticella con massa uguale e carica opposta. L'antiparticella dell'elettrone, per esempio, viene chiamata positrone e in genere è indicata col simbolo e^+ . Il fotone, non avendo carica, è l'antiparticella di se stesso. Coppie di elettroni e positroni possono essere create spontaneamente da fotoni e possono ritrasformarsi in fotoni nel processo inverso di annichilazione.

I diagrammi spazio-tempo possono essere notevolmente semplificati se si adotta il seguente artificio. La freccia su una linea di universo non viene più usata per indicare la direzione del moto della particella (ciò comunque non è necessario, poiché tutte le particelle si muovono in avanti nel tempo, cioè verso l'alto nel diagramma), ma viene invece usata per distinguere tra particelle e antiparticelle: se la freccia punta verso l'alto, indica una particella (ad esempio un elettrone), se punta verso il basso, indica una antiparticella (per esempio un positrone). Il fotone, che coincide con la propria antiparticella, è rappresentato con una linea di universo senza alcuna freccia. Con questa modifica, possiamo ora omettere tutti i simboli nel nostro diagramma senza provocare alcuna confusione: le linee con frecce rappresentano elettroni, quelle senza frecce fotoni. Per rendere il diagramma ancora più semplice, possiamo anche



Diffusione elettrone fotone.

omettere gli assi dello spazio e del tempo, ricordando che la direzione del tempo va dal basso verso l'alto e che la direzione in avanti nello spazio va da sinistra a destra. Con queste semplificazioni, il diagramma spazio-tempo per la diffusione elettrone-fotone avrà l'aspetto della figura precedente. Se vogliamo invece rappresentare un processo di diffusione tra un fotone e un positrone, possiamo tracciare lo stesso diagramma e invertire semplicemente la direzione delle frecce, come nella figura seguente:

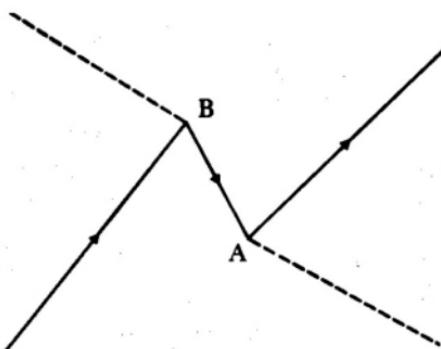


Diffusione positrone fotone.

Finora, non c'è stato nulla di insolito nella nostra discussione sui diagrammi spazio-tempo. Li abbiamo letti dal basso verso l'alto, secondo la nostra idea convenzionale di tempo che scorre linearmente. L'aspetto insolito si trova nei diagrammi che contengono linee di positroni, come in quello che rappresenta una diffusione positrone-fotone. Il formalismo matematico della teoria dei campi suggerisce che queste linee possono essere interpretate in due modi: o come positroni che si muovono in avanti nel tempo, o come elettroni *che si muovono all'indietro nel tempo!* Dal punto di vista matematico, le due interpretazioni sono identiche; la stessa espressione descrive una antiparticella che si muove dal passato verso il futuro, oppure una particella che si muove dal futuro verso il passato. Possiamo quindi vedere i nostri

due diagrammi come rappresentazioni dello stesso processo che si evolve in direzioni diverse nel tempo. Entrambi possono essere interpretati come diffusione di elettroni e fotoni, ma in un processo le particelle si muovono in avanti nel tempo, nell'altro si muovono all'indietro. 1 La teoria relativistica delle interazioni tra particelle presenta quindi una perfetta simmetria rispetto alla direzione del tempo. Tutti i diagrammi spazio-tempo possono essere letti in entrambe le direzioni. Per ogni processo, esiste un processo equivalente in cui la direzione del tempo è invertita e le particelle sono sostituite da antiparticelle.²

Per vedere in che modo questa sconcertante caratteristica del mondo delle particelle subatomiche influenza le nostre concezioni dello spazio e del tempo, consideriamo il processo illustrato nel seguente diagramma:



Processo di diffusione al quale prendono parte fotoni, elettroni e un positrone.

1. Le linee tratteggiate sono sempre interpretate come fotoni, che si muovono in avanti o all'indietro nel tempo, dato che l'antiparticella del fotone è il fotone stesso.

2. Dati sperimentali recenti fanno pensare che ciò potrebbe non essere vero per un processo particolare in cui intervengano « interazioni superdebolì ». A parte questo processo, per il quale non è ancora chiaro il ruolo della simmetria rispetto all'inversione del tempo, tutte le interazioni tra particelle sembrano presentare una simmetria fondamentale per quanto riguarda la direzione del tempo.

Leggendo il diagramma nel modo convenzionale, dal basso verso l'alto, lo possiamo interpretare come segue: un elettrone (rappresentato da una linea a tratto continuo) e un fotone (rappresentato da una linea tratteggiata) si avvicinano l'uno all'altro; nel punto A il fotone crea una coppia elettrone-positrone, l'elettrone si allontana rapidamente verso destra, il positrone verso sinistra; il positrone e l'elettrone iniziale entrano quindi in collisione nel punto B, si annichilano l'uno con l'altro e durante questo processo creano un fotone che si allontana rapidamente verso sinistra. In alternativa, possiamo anche interpretare il processo come l'interazione di due fotoni con un singolo elettrone che prima si sposta in avanti nel tempo, quindi all'indietro e poi nuovamente in avanti. Per questa interpretazione, seguiamo semplicemente le frecce sulla linea di universo dell'elettrone per tutto il suo percorso; l'elettrone si sposta verso il punto B dove emette un fotone e inverte la sua direzione, per viaggiare all'indietro nel tempo fino al punto A; qui assorbe il fotone iniziale, inverte nuovamente la sua direzione e si allontana rapidamente in avanti nel tempo. In un certo senso, la seconda interpretazione è molto più semplice, perché seguiamo soltanto la linea di universo di una particella. D'altra parte, notiamo immediatamente che così facendo incorriamo in serie difficoltà di linguaggio. L'elettrone viaggia « prima » verso il punto B e « poi » verso il punto A; eppure l'assorbimento del fotone in A avviene prima dell'emissione dell'altro fotone in B.

Il modo migliore per evitare queste difficoltà è di vedere diagrammi spazio-tempo di questo genere non come registrazioni cronologiche delle traiettorie delle particelle nel tempo, ma piuttosto come figure quadri-dimensionali nello spazio-tempo, che rappresentano una rete di eventi interconnessi, ai quali non va attribuita alcuna direzione definita del tempo. Poiché tutte le particelle possono muoversi in avanti e all'indietro nel tempo, proprio come possono muoversi a destra e a sinistra nello spazio, non ha alcun senso imporre sui

diagrammi un flusso unidirezionale del tempo. Essi sono semplicemente mappe quadridimensionali tracciate nello spazio-tempo in modo tale che non possiamo parlare di sequenze temporali. Per usare le parole di Louis de Broglie:

« Nello spazio-tempo, tutto ciò che per ciascuno di noi costituisce il passato, il presente e il futuro è dato in blocco... Ciascun osservatore col passare del suo tempo scopre, per così dire, nuove porzioni dello spazio-tempo, che gli appaiono come aspetti successivi del mondo materiale, sebbene in realtà l'insieme degli eventi che costituiscono lo spazio-tempo esistesse già prima di essere conosciuto ».¹

Questo, quindi, è il pieno significato dello spazio-tempo nella fisica relativistica. Spazio e tempo sono del tutto equivalenti, essi sono unificati in un continuo quadridimensionale nel quale le interazioni tra le particelle possono estendersi in qualsiasi direzione. Se vogliamo raffigurare queste interazioni, dobbiamo rappresentarle in una « istantanea quadridimensionale » che copra l'intero intervallo di tempo come pure l'intera regione di spazio. Per ottenere la sensazione esatta del mondo relativistico delle particelle, dobbiamo « dimenticare il trascorrere del tempo », come dice Chuang-tzu; ed è per questo che i diagrammi spazio-tempo della teoria dei campi possono essere un'analogia utile per capire l'esperienza dello spazio-tempo dei mistici orientali. La pertinenza dell'analogia è resa evidente dalle seguenti considerazioni del Lama Govinda a proposito della meditazione buddhista:

« ... Se parliamo dell'esperienza spaziale ottenuta nella meditazione, abbiamo a che fare con una dimensione del tutto diversa... In questa esperienza spaziale, la successione temporale è trasformata in una simultanea coesistenza, l'esistenza parallela delle

1. In P.A. Schilpp, trad. cit., p. 64.

cose..., e anche questa non rimane statica, ma diventa un *continuum* vivente in cui tempo e spazio sono integrati... ».¹

Sebbene i fisici usino il loro formalismo matematico e i loro diagrammi per rappresentare « in blocco » le interazioni nello spazio-tempo quadridimensionale, essi dicono che nel mondo reale ogni osservatore può fare esperienza dei fenomeni solo in una successione di sezioni dello spazio-tempo, cioè in una sequenza temporale. I mistici, viceversa, sostengono di poter realmente percepire la pienezza di un intervallo dello spazio-tempo nel quale il tempo non fluisce più. Ad esempio, Dogen, un maestro Zen, dice:

« La maggior parte delle persone crede che il tempo trascorra; in realtà esso sta sempre là dov'è. Questa idea del trascorrere può essere chiamata tempo, ma è un'idea inesatta; infatti, dato che lo si può vedere solo come un trascorrere, non si può comprendere che esso sta proprio dov'è ».²

Molti dei maestri orientali mettono in rilievo che il pensiero deve svolgersi nel tempo, ma che l'intuito può trascenderlo. « L'intuito » dice Govinda « è legato allo spazio di una dimensione superiore ed è, quindi, senza tempo ».³ Lo spazio-tempo della fisica relativistica è anch'esso uno spazio privo di tempo, che appartiene a una dimensione superiore. In esso, tutti gli eventi sono interconnessi, ma le connessioni non sono causali. Le interazioni tra particelle possono essere interpretate in termini di causa ed effetto solo quando i diagrammi spazio-tempo sono letti in una determinata direzione, per esempio dal basso verso l'alto. Quando vengono considerati come figure quadridimensionali prive di

1. A. Govinda, trad. cit., p. 112.

2. Dogen Zenji, *Shobogenzo*, in J. Kennett, *Selling Water by the River*, Vintage Books, New York 1972, p. 140.

3. A. Govinda, trad. cit., p. 266.

una direzione definita del tempo, non c'è un « prima » né un « dopo », e quindi nessuna relazione di causalità.

In maniera analoga, i mistici orientali affermano che nel trascendere il tempo essi trascendono anche il mondo della causa e dell'effetto. Come le nostre ordinarie nozioni di spazio e tempo, la causalità è un'idea limitata a una certa esperienza del mondo e deve essere abbandonata quando questa esperienza viene ampliata. Così si esprime Swami Vivekananda:

« Tempo, spazio e causalità sono la lente attraverso la quale si vede l'Assoluto ... Nell'Assoluto in se stesso non ci sono né tempo, né spazio, né causalità ».¹

Le tradizioni spirituali orientali indicano ai loro seguaci vari modi per andare al di là dell'ordinaria esperienza del tempo e per liberarsi dalla catena di causa ed effetto: dal vincolo del *karman*, come dicono gli Indù e i Buddhisti. Perciò è stato detto che il misticismo orientale è una liberazione dal tempo. In un certo senso, la stessa cosa si può dire della fisica relativistica.

1. S. Vivekananda, *Jnana Yoga*, Ramakrishna-Vivekananda Center, New York 1972, p. 109 [trad. it. *Jnana Yoga*, Ubaldini, Roma 1963, p. 77].

13. L'UNIVERSO DINAMICO

Lo scopo principale del misticismo orientale è di riuscire a cogliere tutti i fenomeni che avvengono nel mondo come manifestazioni di una stessa realtà ultima. Questa realtà è vista come l'essenza dell'universo, che sta alla base e unifica la moltitudine di cose e di eventi che osserviamo. Gli Indù la chiamano *Brahman*, i Buddhisti *Dharmakāya* (il corpo dell'essere), o *Tathatā* (essenza assoluta), e i taoisti *Tao*; e ciascuno afferma che essa trascende i nostri concetti intellettuali e sfugge a ulteriori descrizioni. Questa essenza ultima, tuttavia, non può essere separata dalle sue molteplici manifestazioni. E peculiare della sua vera natura manifestarsi in innumerevoli forme che nascono e scompaiono, trasformandosi l'una nell'altra in un processo senza fine. Nel suo aspetto fenomenico, l'Uno cosmico è quindi intrinsecamente dinamico e la comprensione di questa sua natura dinamica ha un'importanza basilare in tutte le scuole del misticismo orientale. D.T. Suzuki scrive per esempio a proposito della scuola *Kegon* del buddhismo *Mahāyāna*:

« L'idea centrale della scuola *Kegon* è di afferrare

nella sua dinamicità l'universo, la cui caratteristica è di evolversi continuamente, di essere sempre in quella interna disposizione al movimento che è la vita ».

Questa insistenza su movimento, flusso e mutamento non è caratteristica solo delle tradizioni mistiche orientali, ma costituisce un aspetto essenziale della concezione del mondo dei mistici in tutte le epoche. Nella Grecia antica, Eraclito insegnava che « tutto fluisce » e paragonava il mondo a un fuoco perenne, e in Messico, il mistico yaqui Don Juan parla di « mondo fugace » e afferma che « un uomo di conoscenza deve essere leggero e fluido ».²

Nella filosofia indiana, i termini più importanti usati da Indù e Buddhisti hanno connotazioni dinamiche. Il vocabolo *brahman* deriva dalla radice sanscrita *brh* – crescere – e suggerisce quindi una realtà che è dinamica e viva. Come dice S. Radhakrishnan, « la parola *brahman* significa "crescita", e suggerisce l'idea della vita, del moto e del progresso ».³ Le *Upanisad* si riferiscono al *Brahman* come a « questo incorporeo, immortale, mobile »;⁴ lo associano quindi al moto, anche se trascende tutte le forme.

Il *Rg-veda* usa un altro termine, *Rta*, per esprimere la natura dinamica dell'universo. Questa parola deriva dalla radice *r*, muoversi; il suo significato originale nel *Rg-veda* è « il corso di tutte le cose », « l'ordine della natura ». Esso ha una funzione importante nelle leggende dei *Veda* ed è connesso con tutte le divinità vediche. L'ordine della natura fu concepito dai veggenti vedici non come una legge divina statica ma come un principio dinamico inerente all'universo. Questa idea non è dissimile dalla concezione cinese del *Tao* – « la Via » – inteso come la via secondo la quale opera l'universo,

1. D.T. Suzuki, *The Essence of Buddhism*, cit., p. 53.

2. C. Castaneda, trad. cit., pp. 10-11.

3. S. Radhakrishnan, *Indian Philosophy*, Macmillan, New York 1958, p. 173 [trad. it. *La filosofia indiana*, Einaudi, Torino 1974, p. 162].

4. *Brhad-āranyaka-upanisad*, II, III, 3.

cioè l'ordine della natura. Come i veggenti vedici, i saggi cinesi interpretarono il mondo in termini di flusso e mutamento, e quindi diedero all'idea di ordine cosmico un significato essenzialmente dinamico. Entrambi i concetti, *Rta* e *Tao*, furono in seguito trasferiti dal loro iniziale livello cosmico al livello umano e vennero interpretati in senso morale: *Rta* come la legge universale cui devono obbedire tutti, dèi e uomini, e *Tao* come il giusto modo di vivere.

Il concetto vedico di *Rta* anticipa l'idea di *karman* che fu introdotta in seguito per esprimere l'interazione dinamica di tutte le cose e di tutti gli eventi. *Karman* significa « azione » e indica l'interrelazione « attiva », o dinamica, di tutti i fenomeni. Per usare le parole della *Bhagavad Gītā*, « ... Tutte le azioni si verificano nel tempo per l'intrecciarsi delle forze della natura ».¹ Il Buddha riprese il concetto tradizionale di *karman* e diede ad esso un nuovo significato, estendendo l'idea di interconnessioni dinamiche alla sfera delle situazioni umane. In questo modo, *karman* acquistò il significato di catena senza fine di causa ed effetto nella vita umana che il Buddha aveva spezzato raggiungendo lo stato di illuminazione.

Anche l'Induismo ha trovato molti modi di esprimere la natura dinamica dell'universo in un linguaggio mitico. Così Krsna dice nella *Gita*: « Sparirebbero questi mondi, se io non dessi più luogo a questo mio operare »,² e Siva, il Danzatore Cosmico, è forse la più perfetta personificazione dell'universo dinamico. Mediante la sua danza, Siva sostiene i multiformi fenomeni nel mondo e unifica tutte le cose immergendole nel suo ritmo e facendole partecipare alla danza: una splendida immagine dell'unità dinamica dell'universo.

Il quadro generale che emerge dall'Induismo è quello di un cosmo organico, che cresce e si muove ritmicamente; di un universo nel quale tutto è fluido e in continua

1. *Bhagavad Gītā*, vili, 3. 2. *Ibid.*, in, 24.

trasformazione, mentre tutte le forme statiche sono *māyā*, cioè esistono solo come concetti illusori. Quest'ultima idea – la precarietà di tutte le forme – è il punto di partenza del Buddhismo. Il Buddha insegnava che « tutte le cose composte sono precarie », e che tutte le sofferenze del mondo derivano dal nostro tentativo di attaccarsi a forme fisse – oggetti, persone o idee invece di accettare il mondo nei suoi movimenti e nei suoi mutamenti. La concezione dinamica del mondo è quindi alla radice stessa del Buddhismo. Dice S. Radhakrishnan:

« Una straordinaria filosofia del dinamismo venne formulata dal Buddha duemilacinquecento anni fa... Impressionato dalla transitorietà degli oggetti, dall'incessante mutamento e trasformazione delle cose, il Buddha formulò una filosofia del mutamento. Egli riduce le sostanze, le anime, le monadi, le cose, a forze, a movimenti, a sequenze e a processi, adottando una concezione dinamica della realtà ».¹

I Buddhisti chiamano questo mondo di mutamento incessante *samsāra*, che significa, letteralmente, « incessantemente in moto », e affermano che in esso non c'è nulla cui valga la pena di attaccarsi. Quindi, per i Buddhisti un essere illuminato è colui che non si oppone al flusso della vita, ma che ne segue il movimento. Quando al monaco Yün-men della scuola *Ch'an* fu chiesto: « Che cos'è il Tao? », egli rispose semplicemente: « Cammina! ». Di conseguenza, i Buddhisti chiamano il Buddha anche il *Tathāgata*, ovvero « colui che viene e quindi va ». Nella filosofia cinese, la realtà che fluisce e muta continuamente viene chiamata il *Tao* ed è vista come un processo cosmico nel quale sono coinvolte tutte le cose. Come i Buddhisti, i Taoisti dicono che non bisognerebbe opporre resistenza al flusso, ma si dovrebbero conformare ad esso le proprie azioni. Questo, d'altra parte, è l'atteggiamento caratteristico del saggio,

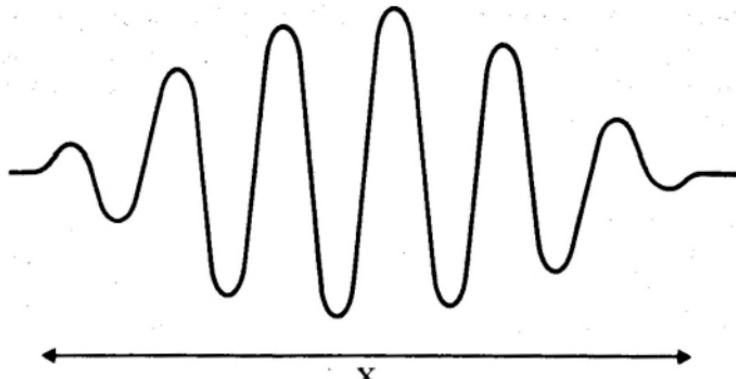
1. S. Radhakrishnan, *op. cit.*, pp. 373-374.

cioè dell'essere illuminato. Se il Buddha è colui « che viene e quindi va », il saggio taoista è colui che « fluisce », come dice Huai Nan-tzu,¹ « nella corrente del *Tao* ».

Più si studiano i testi religiosi e filosofici degli Indù, dei Buddhisti e dei Taoisti, più risulta evidente che in ognuno di essi il mondo è concepito in termini di movimento, di flusso e di mutamento. Questa qualità dinamica della filosofia orientale sembra essere una delle sue caratteristiche più importanti. I mistici orientali vedono l'universo come una rete inestricabile, le cui interconnessioni sono dinamiche e non statiche. Questa rete cosmica è viva: si muove, cresce e muta continuamente. Anche la fisica moderna è giunta a concepire l'universo come una siffatta rete di relazioni e, come il misticismo orientale, ha riconosciuto che questa rete è intrinsecamente dinamica. Nella meccanica quantistica, l'aspetto dinamico della materia si manifesta come conseguenza della natura ondulatoria delle particelle subatomiche, assumendo un significato ancora più essenziale nella teoria della relatività, nella quale l'inseparabilità dello spazio-tempo implica che l'esistenza della materia non può essere separata dalla sua attività. Le proprietà delle particelle subatomiche possono perciò essere comprese solo in un contesto dinamico, in termini di movimento, interazione e trasformazione.

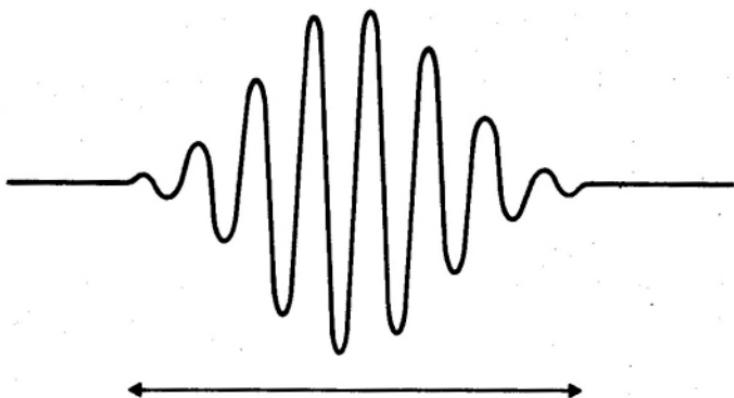
Secondo la meccanica quantistica, le particelle sono anche onde e ciò implica che esse si comportino in modo molto singolare. Ogni volta che una particella subatomica viene confinata in una piccola regione di spazio, essa reagisce al proprio confinamento muovendosi dentro. Più piccola è la regione di confinamento, più veloce è l'« agitazione » della particella entro tale regione. Questo comportamento è un tipico « effetto quantistico », una caratteristica del mondo subatomico che non ha analoghi macroscopici. Per capire come questo

1. Si veda p. 136.



Un pacchetto d'onda.

avvenga, dobbiamo ricordare che le particelle sono rappresentate, nella meccanica quantistica, da pacchetti d'onda. Come abbiamo già visto in precedenza,¹ la lunghezza di un tale pacchetto d'onda rappresenta l'incertezza nella posizione della particella. Per esempio, la forma d'onda nella figura in alto corrisponde a una particella che si trova in qualche punto della regione X: dove esattamente si trovi non possiamo dire con certez-



Compressione del pacchetto d'onda in una regione più piccola. 1. Si veda pp. 180-181.

za. Se desideriamo circoscrivere con più precisione la particella, cioè se vogliamo confinarla in una regione più piccola, dobbiamo comprimere il pacchetto d'onda in questa regione come nella figura in basso. Ciò, tuttavia, influenzera la lunghezza d'onda del pacchetto d'onda e quindi la velocità della particella. Come conseguenza, la particella si muoverà nella sua regione di confinamento, e quanto più piccola sarà questa regione tanto più veloce sarà il suo moto.

La tendenza delle particelle a reagire con il moto al confinamento implica uno stato di fondamentale « agitazione » della materia che è caratteristico del mondo subatomico. In questo mondo, la maggior parte delle particelle materiali sono legate alle strutture molecolari, atomiche e nucleari e perciò non sono in quiete ma hanno insita una tendenza a muoversi: esse sono intrinsecamente agitate. Secondo la meccanica quantistica, la materia non è quindi mai inerte, ma è costantemente in uno stato di moto. A livello macroscopico, gli oggetti materiali che ci circondano sembrano passivi e inerti, ma quando ingrandiamo un frammento apparentemente « morto » di pietra o di metallo, vediamo che ribolle di attività. Quanto più lo guardiamo da vicino, tanto più esso appare vivo. Tutti gli oggetti materiali nel nostro ambiente sono costituiti da atomi che si legano l'uno all'altro in vari modi per formare un'enorme varietà di strutture molecolari che non sono rigide e immobili, ma oscillano secondo la loro temperatura e in armonia con le vibrazioni termiche del loro ambiente. Negli atomi in vibrazione, gli elettroni sono legati al nucleo atomico da forze elettriche che cercano di tenerli più vicino possibile, ed essi reagiscono a questo confinamento roteando tutt'intorno ad altissima velocità. Nei nuclei, infine, i protoni e i neutroni sono compressi in un volume minuscolo dalle intense forze nucleari e di conseguenza si agitano con velocità inimmaginabili.

La fisica moderna, quindi, rappresenta la materia non come passiva *e* inerte, bensì in una danza e in uno stato di vibrazione continui, le cui figure ritmiche sono

determinate dalle strutture molecolari, atomiche e nucleari. Questo è anche il modo in cui i mistici orientali vedono il mondo materiale. Essi sottolineano tutti che l'universo deve essere afferrato nella sua dinamicità, mentre si muove, vibra e danza; che la natura non è in equilibrio statico ma dinamico. Per usare le parole di un testo taoista:

« La quiete in quiete non è la vera quiete. Soltanto quando c'è quiete in movimento può apparire il ritmo spirituale che pervade cielo e terra ».¹

In fisica ci accorgiamo della natura dinamica dell'universo non soltanto quando scendiamo alle piccole dimensioni – al mondo degli atomi e dei nuclei – ma anche quando ci rivolgiamo alle dimensioni molto grandi, al mondo delle stelle e delle galassie. Mediante i nostri potenti telescopi osserviamo un universo in moto incessante: nubi di gas idrogeno in rotazione si contraggono per formare stelle, riscaldandosi durante questo processo fino a diventare fuochi che ardono nel cielo. Quando hanno raggiunto quello stadio, esse continuano ancora a ruotare, ed alcune emettono nello spazio materiali che si muovono a spirale verso l'esterno e si condensano in pianeti, i quali ruotano a loro volta attorno alla stella. Infine, dopo milioni di anni, quando la stella ha consumato la maggior parte del suo combustibile, costituito da idrogeno, essa si espande e poi si contrae nuovamente nella fase finale del collasso gravitazionale. Durante questa fase di forte contrazione possono avvenire esplosioni gigantesche e la stella può persino trasformarsi in un buco nero. Tutte queste attività – la formazione di stelle dalle nubi di gas interstellari, la loro contrazione e successiva espansione e il loro collasso finale – possono essere osservate effettivamente in un qualche punto del cielo.

1. *Ts'ai-ken t'an*, citato in T. Leggett, *A First Zen Reader*, C.E. Tuttle, Rutland, Vermont 1972, p. 229; e in N.W. Ross, *Three Ways of Asian Wisdom*, Simon & Schuster, New York 1966, p. 144.

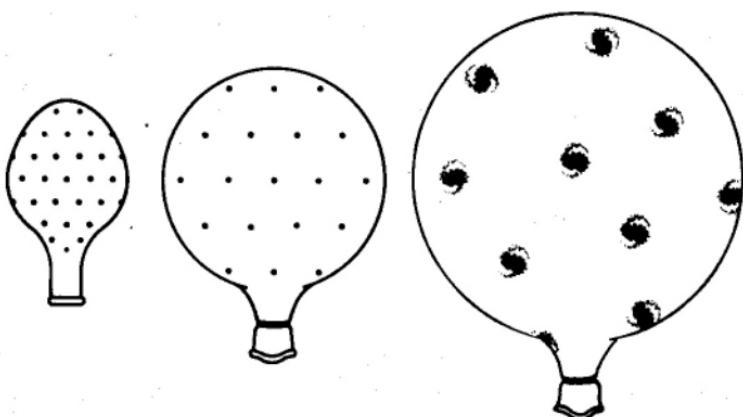
Queste stelle che ruotano, che si contraggono, che si espandono o che esplodono sono raggruppate in galassie di forme svariate — dischi piatti, sfere, spirali, ecc. — che a loro volta non sono in quiete ma ruotano. La nostra galassia, la Via Lattea, è un immenso disco di stelle e gas che gira nello spazio come un'enorme ruota, cosicché tutte le sue stelle — compreso il Sole e i suoi pianeti — si muovono intorno al centro della galassia. In effetti, l'universo è pieno di galassie disseminate nell'intero spazio che riusciamo ad osservare, e tutte sono in rotazione come la nostra.

Quando studiamo l'universo nel suo insieme, con i suoi milioni di galassie, raggiungiamo la massima scala di spazio e tempo; e ancora una volta, a quel livello cosmico, scopriamo che l'universo non è statico, bensì in espansione! Fu questa una delle più importanti scoperte dell'astronomia moderna. Un'analisi precisa della luce proveniente dalle galassie lontane ha rivelato che l'intero complesso delle galassie si espande e che lo fa seguendo uno schema preciso: la velocità di recessione di ogni galassia che osserviamo è proporzionale alla distanza della galassia stessa. Quanto più essa è distante, tanto più velocemente si allontana da noi; se si raddoppia la distanza, raddoppia anche la velocità di recessione. Ciò è vero non solo per le distanze misurate a partire dalla nostra galassia, ma vale con qualsiasi punto di riferimento. In qualunque galassia vi capitasse di trovarvi, osservereste le altre galassie allontanarsi velocemente da voi: le galassie più vicine si allontanerebbero alla velocità di alcune migliaia di chilometri al secondo, le più lontane a velocità superiori, e quelle lontanissime a velocità prossime a quella della luce. La luce delle galassie che si trovano ancora più lontane non ci raggiungerà mai, in quanto esse si allontanano da noi più velocemente della velocità della luce. La loro luce è, secondo le parole di Sir Arthur Eddington, « come un corridore su una pista in espansione con il traguardo che si allontana più rapidamente di quanto egli riesca a correre ».

Per formarci un'idea più precisa del modo in cui

l'universo si espande, dobbiamo ricordare che lo schema teorico adatto per studiarne le caratteristiche su larga scala è la teoria generale della relatività di Einstein. Secondo questa teoria, lo spazio non è « piatto », ma « curvo », e il modo preciso in cui esso è incurvato è legato alla distribuzione di materia secondo le equazioni einsteiniane del campo. Queste equazioni possono essere usate per determinare la struttura dell'universo nel suo insieme: esse sono il punto di partenza della cosmologia moderna.

Quando parliamo di universo in espansione nel contesto della relatività generale, intendiamo un'espansione in una dimensione superiore. Come nel caso dello spazio curvo, possiamo visualizzare tale concetto solo con l'aiuto di una analogia bidimensionale. Immagi-



niamo un palloncino con un gran numero di punti sulla sua superficie: il palloncino rappresenta l'universo, la sua superficie curva bidimensionale rappresenta lo spazio curvo tridimensionale, e i puntini sulla superficie sono le galassie in quello spazio. Quando il palloncino viene gonfiato, tutte le distanze tra i puntini aumentano. Qualunque sia il punto sul quale si fissi l'attenzione, tutti gli altri punti si allontaneranno da esso. L'universo si espande nello stesso modo: qualunque sia la galassia

nella quale un osservatore si trovi, tutte le altre galassie si allontaneranno da lui.

Viene spontaneo porsi la seguente domanda a proposito dell'universo in espansione: in quale modo ha avuto inizio tutto ciò? Dalla relazione tra la distanza di una galassia e la sua velocità di recessione — nota come legge di Hubble — si può calcolare il momento iniziale dell'espansione, o, in altre parole, l'età dell'universo. Supponendo che non vi sia stata alcuna variazione nella velocità di espansione, il che non è affatto certo, si ottiene un'età dell'ordine di dieci miliardi di anni. Questa, quindi, è l'età dell'universo. Oggi, la maggior parte degli studiosi di cosmologia crede che l'universo sia venuto in essere in un drammatico evento all'incirca dieci miliardi di anni fa, quando l'intera sua massa scaturì dall'esplosione di una piccola sfera di fuoco primordiale. L'attuale espansione dell'universo è vista come la spinta residua di questa esplosione iniziale. Secondo tale modello del « big-bang » (grande esplosione), l'istante in cui avvenne questa gigantesca esplosione segnò l'inizio dell'universo e l'inizio dello spazio e del tempo. Se vogliamo sapere cosa c'era prima di quel momento, incontriamo nuovamente serie difficoltà di pensiero e di linguaggio. Come dice Sir Bernard Lovell:

« Qui raggiungiamo la grande barriera del pensiero, perché cominciamo a lottare con i concetti di spazio e tempo prima che essi esistessero così come noi li conosciamo in base alla nostra esperienza quotidiana. Mi sento come se fossi improvvisamente entrato in un grande banco di nebbia nel quale il mondo familiare è scomparso ».¹

Per quanto riguarda il futuro dell'universo in espansione, le equazioni di Einstein non forniscono una risposta univoca, ma sono compatibili con parecchie soluzioni che corrispondono a differenti modelli dell'universo.

I. A.C.B. Lovell, *The Individual and the Universe*, Harper, New York 1959, p. 93.

Alcuni modelli prevedono che l'espansione continuerà per sempre; secondo altri, l'espansione sta rallentando e alla fine diventerà una contrazione. Questi modelli descrivono un universo oscillante, che si espande per miliardi di anni, poi si contrae fino a quando la sua massa totale è concentrata in una piccola sfera di materia, quindi si espande nuovamente e così via, in un processo senza fine.

Questa idea di un universo che periodicamente si espande e si contrae, nella quale compare una scala di tempo e spazio di proporzioni enormi, è comparsa non solo nella cosmologia moderna, ma era già presente nell'antica mitologia indiana. Gli Indù, che percepivano l'universo come un cosmo organico e in movimento ritmico, furono in grado di elaborare cosmologie evolutive che si avvicinano molto ai nostri modelli scientifici moderni. Una di queste cosmologie è basata sul mito indù di *17Tb* — il gioco divino — nella quale *Brahman* si trasforma nel mondo) *Lila* è un gioco ritmico che continua in cicli senza fine, durante i quali l'Uno diviene i molti e i molti ritornano nell'Uno. Nella *Bhagavad Gītā*, il dio Krsna descrive il gioco ritmico di creazione con le seguenti parole:

« Tutti gli esseri... alla fine di un *kalpa* [o ciclo] cosmicol tornano alla mia realtà; e al principio del ciclo successivo di nuovo io li emetto.

« Avvalendomi di quella realtà che è la mia propria, sempre di nuovo emetto tutta questa molteplicità di esistenti, priva di ogni potere, dal momento che giace sotto il dispotismo della *prakrti* [o natura].

« E tali atti non mi vincolano neppure, o possessore della ricchezza, poiché io sto a sedere come colui che non è impegnato, non essendo io condizionato da attaccamento in questi atti.

« Avendo me come guida, la natura dà origine all'insieme delle cose mobili e delle immobili; con questo

1. Si veda p. 105.

mezzo [per questa via]... il mondo si volge e di nuovo si volge ».¹

I saggi indù non ebbero timore di identificare questo ritmico gioco divino con l'evoluzione del cosmo nel suo insieme. Essi ritenevano che l'universo si espadesse e si contraesse periodicamente e diedero il nome di *kalpa* all'inimmaginabile intervallo di tempo che va dall'inizio alla fine di una creazione. La grandiosità di questo antico mito è in realtà impressionante: alla mente umana sono occorsi più di duemila anni per arrivare di nuovo a un concetto simile.

Dal mondo dell'infinitamente grande, dall'universo che si espande, torniamo ora al mondo dell'infinitamente piccolo. La fisica del ventesimo secolo è stata caratterizzata da una capacità sempre crescente di penetrazione in questo mondo di dimensioni submicroscopiche, e si è spinta fino al livello degli atomi, dei nuclei e dei loro costituenti. Questa esplorazione del mondo submicroscopico è stata motivata da una domanda basilare che ha occupato e stimolato il pensiero umano in tutte le epoche: di che cosa è fatta la materia? Fin dagli inizi della filosofia naturale, l'uomo ha riflettuto su questo problema, cercando di trovare il « materiale » fondamentale di cui è fatta tutta la materia; ma solo nel nostro secolo è stato possibile cercare una risposta effettuando degli esperimenti. Con l'aiuto di una tecnologia estremamente raffinata, i fisici furono in grado di esplorare dapprima la struttura degli atomi, scoprendo che sono formati da nucleo ed elettroni, e quindi la struttura dei nuclei atomici, scoprendo che sono formati da protoni e neutroni, chiamati comunemente nucleoni. Negli ultimi due decenni, i fisici hanno compiuto un ulteriore passo in avanti cominciando ad esplorare la struttura dei nucleoni – i costituenti del nucleo atomico – che, di nuovo, non sembrano essere le particelle elementari definitive, ma risultano composte da altre entità.

1. *Bhagavad Gītā*, IX, 7-10.

Il primo passo nella penetrazione in strati sempre più profondi della materia – cioè l'esplorazione del mondo degli atomi – ha portato a molti cambiamenti profondi nella nostra concezione della materia che sono stati esaminati nei capitoli precedenti. Il secondo passo, che fu la penetrazione nel mondo dei nuclei atomici e dei loro costituenti, ci ha costretti a cambiare le nostre opinioni in un modo che non è meno profondo. In questa nuova situazione, abbiamo a che fare con dimensioni che sono centinaia di migliaia di volte più piccole di quelle atomiche e, di conseguenza, le particelle confinate in tali regioni si muovono a velocità notevolmente più alte rispetto alle particelle confinate nelle strutture atomiche. Di fatto, esse si muovono con velocità tanto grandi che possono essere descritte in maniera adeguata solo nel contesto della teoria speciale della relatività. Per comprendere le proprietà e le interazioni delle particelle subatomiche, è quindi necessario servirsi di uno schema teorico che tenga conto sia della meccanica quantistica sia della teoria della relatività, ed è quest'ultima che ci costringe ancora una volta a mutare la nostra concezione della materia.

Come abbiamo già accennato, l'aspetto caratteristico dello schema relativistico consiste nel fatto che esso unifica concetti fondamentali che prima sembravano non avere alcuna relazione tra loro. Uno degli esempi più importanti è l'equivalenza tra massa ed energia espressa matematicamente dalla famosa equazione di Einstein, $E = mc^2$. Per comprendere il profondo significato di questa equivalenza, dobbiamo anzitutto capire il significato di energia e il significato di massa.

Uno dei concetti più importanti usati nella descrizione dei fenomeni naturali è quello di energia. Come nel linguaggio comune della vita quotidiana, diciamo che un corpo ha energia quando possiede la capacità di compiere un lavoro. L'energia assume una grande varietà di forme: può esistere come energia di moto, energia termica, energia gravitazionale, energia elettrica, energia chimica, e così via. In qualunque forma si trovi,

l'energia può essere usata per compiere lavoro. Per esempio, si può fornire energia gravitazionale a un sasso sollevandolo a una data altezza. Quando poi lo si lascia cadere da quell'altezza, la sua energia gravitazionale si trasforma in energia di moto (o « energia cinetica ») e, al momento in cui urta contro il suolo, il sasso può compiere lavoro rompendo qualcosa. Consideriamo un esempio più costruttivo: l'energia elettrica e l'energia chimica possono essere trasformate in energia termica e usate per scopi domestici. In fisica, l'energia è sempre associata a qualche processo o a qualche tipo di attività, e la sua importanza fondamentale consiste nel fatto che l'energia totale che interviene in un dato processo si conserva sempre: può cambiare la sua forma nei modi più complessi, ma nulla di essa può andare perduto. La conservazione dell'energia è una delle leggi più fondamentali della fisica; essa vale per tutti i fenomeni naturali conosciuti e finora non ne è stata osservata alcuna violazione.

D'altro canto, la massa di un corpo è una misura del suo peso, cioè dell'attrazione gravitazionale che agisce su di esso. Oltre a ciò la massa è anche una misura della inerzia di un corpo, cioè della resistenza che esso oppone ad essere accelerato. E più difficile fare accelerare corpi pesanti che corpi leggeri; questo è un fatto ben noto a chiunque abbia dovuto spingere un automobile. Nella fisica classica, la massa fu inoltre associata a una sostanza materiale indistruttibile, cioè al « materiale » di cui si pensava fossero fatte tutte le cose. Si credeva che essa si conservasse perfettamente, come avviene per l'energia, e che quindi nessuna massa potesse mai andare perduta.

La teoria della relatività afferma invece che la massa non è altro che una forma di energia, la quale non solo può assumere le varie forme note nella fisica classica, ma può anche essere racchiusa nella massa di un oggetto. La quantità di energia contenuta, per esempio, in una particella è uguale al prodotto della massa m della particella per il quadrato della velocità della luce, c^2 , cioè $E = mc^2$.

Ora che la massa è riconosciuta come una forma di energia, non è più necessario che sia indistruttibile; essa può trasformarsi in altre forme di energia. Ciò può verificarsi, ad esempio, quando le particelle subatomiche si urtano tra loro. In questi urti, le particelle possono essere distrutte e l'energia contenuta nelle loro masse può trasformarsi in energia cinetica, e ridistribuirsi tra le altre particelle che partecipano all'urto. Inversamente, quando le particelle si urtano a velocità estremamente alte, la loro energia cinetica può essere utilizzata per formare la massa di nuove particelle.

La creazione e la distruzione di particelle materiali è una delle conseguenze più impressionanti dell'equivalenza tra massa ed energia. Nei processi d'urto della fisica delle alte energie, la massa non si conserva più. Durante l'urto, le particelle possono distruggersi trasformando le loro masse in parte nelle masse e in parte nell'energia cinetica delle particelle appena create. Quello che si conserva è solo l'energia totale dell'intero processo, cioè l'energia cinetica complessiva più l'energia contenuta in tutte le masse. Gli urti tra particelle subatomiche sono lo strumento più importante che abbiamo per studiarne le proprietà e la relazione tra massa ed energia è essenziale per la loro descrizione. Essa è stata verificata innumerevoli volte, e i fisici delle particelle sono abituati a tenere continuamente presente l'equivalenza tra massa ed energia; lo sono talmente, in effetti, che misurano le masse delle particelle con le corrispondenti unità di energia.

La scoperta che la massa non è altro che una forma di energia ci ha costretti a modificare in modo sostanziale il nostro concetto di particella. Nella fisica moderna, la massa non è più associata a una sostanza materiale, e quindi le particelle non sono più viste come costituite da un qualche « materiale » fondamentale, bensì sono viste come pacchetti di energia. Ma poiché l'energia è associata ad attività e a processi, è implicito che la natura delle particelle subatomiche sia intrinsecamente dinamica. Per comprendere meglio questo punto, dobbiamo

ricordare che queste particelle possono essere concepite solo in termini relativistici, cioè nel contesto di una struttura nella quale spazio e tempo sono fusi in un continuo quadridimensionale. Le particelle non devono essere rappresentate come oggetti tridimensionali statici, come palle da biliardo o granelli di sabbia, ma piuttosto come entità quadridimensionali nello spazio-tempo. Le loro forme devono essere intese dinamicamente, come forme nello spazio e nel tempo. Le particelle subatomiche sono figure dinamiche che hanno un aspetto spaziale e un aspetto temporale. Il loro aspetto spaziale le fa apparire come oggetti con una certa massa, il loro aspetto temporale come processi ai quali prende parte l'energia equivalente della loro massa.

Queste figure dinamiche, o « pacchetti di energia », formano le strutture stabili di tipo nucleare, atomico e molecolare che costituiscono la materia e le conferiscono il suo ben noto aspetto solido, macroscopico. Ciò porta a credere che essa sia costituita da qualche sostanza materiale. A livello macroscopico, questa nozione di sostanza è un'approssimazione utile, ma a livello atomico essa non ha più senso. Gli atomi sono composti da particelle e queste particelle non sono fatte di un qualche « materiale » o. Quando le osserviamo, non vediamo mai nessuna sostanza, ma solo forme dinamiche che si trasformano incessantemente l'una nell'altra, in una continua danza di energia.

La meccanica quantistica ha permesso di capire che queste particelle non sono granelli isolati di materia, ma distribuzioni di probabilità, interconnessioni in una inestricabile rete cosmica. La teoria della relatività ha poi reso vive, per così dire, le particelle rivelandone il carattere intrinsecamente dinamico e facendo vedere che l'attività della materia è la vera essenza del suo essere. Le particelle del mondo subatomico non sono attive solo nel senso che si muovono con estrema velocità ma nel senso che esse stesse sono processi! L'esistenza della materia e la sua attività non possono essere separate:

esse sono soltanto aspetti differenti della stessa realtà spazio-temporale.

Nel capitolo precedente, si è sostenuto che la consapevolezza della « compenetrazione » di spazio e tempo ha condotto i mistici orientali a una concezione del mondo intrinsecamente dinamica. Uno studio delle loro opere non solo rivela che essi concepiscono il mondo in termini di movimento, flusso e mutamento, ma sembra anche indicare che essi hanno una profonda intuizione del carattere « spazio-temporale » degli oggetti materiali, così tipico della fisica relativistica. I fisici devono tener conto dell'unificazione di spazio e tempo quando studiano il mondo subatomico e, di conseguenza, essi vedono gli oggetti di quel mondo – le particelle – non staticamente, ma dinamicamente, in termini di energia, attività e processi. I mistici orientali, nei loro stati di coscienza non ordinari, sembrano essere consapevoli a livello macroscopico della compenetrazione di spazio e tempo e quindi vedono gli oggetti macroscopici in un modo che è molto simile a come i fisici concepiscono le particelle subatomiche. Ciò è particolarmente sorprendente nel Buddhismo. Uno dei principali insegnamenti del Buddha era che « tutte le cose composte sono precarie ». Nella versione originale in lingua Pali di questo famoso detto,¹ il termine usato per « cose » è *samkhāra* (in sanscrito: *samskāra*), una parola che significa anzitutto « un evento » o « un avvenimento » – anche « un'azione », « un atto » – e solo come significato secondario « una cosa esistente ». Questo indica chiaramente che i Buddhisti hanno una concezione dinamica delle cose come processi in continuo mutamento. Dice D. T. Suzuki:

« I Buddhisti concepiscono l'oggetto come un evento e non come una cosa o una sostanza... La concezione buddhista di "cose" come *samskāra* (o *samkhāra*), cioè come « azioni » o « eventi », mostra che i Buddhisti

I. *Digha Nikaya*, XVII, 17.

intendono la nostra esperienza in termini di tempo e di movimento ».¹

Come i fisici moderni, i Buddhisti vedono tutti gli oggetti come processi in un flusso universale e negano l'esistenza di qualsiasi sostanza materiale. Questa negazione è uno dei tratti più caratteristici di tutte le scuole di filosofia buddhista. Essa è anche tipica del pensiero cinese, che ha elaborato una concezione analoga delle cose, intese come stadi transitori nel *Tao* in perenne fluire, ed era interessato alle interrelazioni fra le cose piuttosto che alla loro riduzione a una sostanza fondamentale. « Mentre la filosofia europea tendeva a trovare la realtà nella sostanza, » scrive Joseph Needham « la filosofia cinese tendeva a trovarla nella relazione ».²

Nelle concezioni del mondo di tipo dinamico del misticismo orientale e della fisica moderna, quindi, non c'è posto per forme statiche né per una qualsiasi sostanza materiale. Gli elementi fondamentali dell'universo sono forme dinamiche, stadi transitori nel « continuo fluire della trasformazione e del mutamento », come li chiama Chuang-tzu.

Secondo la nostra attuale conoscenza della materia, le sue forme basilari sono le particelle subatomiche e la comprensione delle loro proprietà e delle loro interazioni è lo scopo principale della moderna fisica fondamentale. Oggi, noi conosciamo più di duecento particelle, la maggior parte delle quali vengono create artificialmente in processi durto e vivono solo per un intervallo di tempo estremamente breve, molto meno di un milionesimo di secondo! E quindi del tutto evidente che queste particelle dalla vita così breve rappresentano soltanto forme transitorie di processi dinamici. Le più importanti domande che ci poniamo nei confronti di queste forme, o particelle, sono le seguenti. Quali sono i loro caratteri distintivi? Sono composte e, se lo sono, da che

1. D.T. Suzuki, *The Essence of Buddhism*, cit., p. 55.

2. 2. J. Needham, op. cit., vol. II, p. 478.

cosa sono composte, o – meglio – quali altre forme coinvolgono? In quale modo interagiscono l'una con l'altra, cioè quali sono le forze che agiscono tra loro? Infine, se le particelle stesse sono processi, di quali tipi di processi si tratta?

Siamo diventati consapevoli che nella fisica delle particelle tutte queste domande sono inscindibilmente connesse. Data la natura relativistica delle particelle subatomiche, non possiamo comprenderne le proprietà senza comprenderne anche le loro interazioni reciproche e, a causa della fondamentale interconnessione che caratterizza il mondo subatomico, non possiamo comprendere alcuna particella prima di aver compreso tutte le altre. I capitoli seguenti presenteranno i risultati conseguiti finora nella conoscenza delle proprietà e delle interazioni delle particelle. Sebbene ci manchi ancora una teoria quantistico-relativistica completa del mondo subatomico, sono state elaborate molte teorie e molti modelli parziali che descrivono con grande successo alcuni aspetti di questo mondo. Un'analisi dei modelli e delle teorie più importanti ci permetterà di vedere che essi comportano tutti concezioni filosofiche che sono in straordinario accordo con quelle del misticismo orientale.

14. VUOTO E FORMA

La concezione meccanicistica classica del mondo era basata sull'idea di particelle solide e indistruttibili che si muovono nel vuoto. La fisica moderna ha prodotto un cambiamento radicale di questa immagine, giungendo non solo a una nozione completamente nuova di « particella », ma trasformando anche profondamente il concetto classico di vuoto. Questa trasformazione, che si realizzò nelle cosiddette teorie dei campi, ebbe inizio con l'idea einsteiniana di associare il campo gravitazionale alla geometria dello spazio, e divenne ancora più profonda quando la teoria dei quanti e la teoria della relatività furono unite per descrivere i campi di forza delle particelle subatomiche. In queste « teorie quantistiche dei campi », la distinzione tra le particelle e lo spazio che le circonda diviene sempre più sfumata e il vuoto è concepito come una entità dinamica di importanza fondamentale.

Il concetto di campo venne introdotto nel diciannovesimo secolo da Faraday e da Maxwell nella loro descrizione delle forze tra cariche elettriche e correnti. Un campo elettrico è una condizione, nello spazio attorno a un corpo carico, che può produrre una forza su una

qualsiasi altra carica posta in quello spazio. I campi elettrici sono quindi creati da corpi carichi e i loro effetti possono essere risentiti solo da altri corpi carichi. I campi magnetici sono prodotti da cariche in moto, cioè da correnti elettriche, e le forze magnetiche da essi generate possono essere risentite da altre cariche in moto. Nell'elettrodinamica classica, cioè nella teoria costruita da Faraday e da Maxwell, i campi sono entità fisiche primarie che possono essere studiate senza fare alcun riferimento a corpi materiali. I campi elettrici e magnetici variabili possono propagarsi attraverso lo spazio sotto forma di onde radio, di onde luminose, o di altri tipi di radiazione elettromagnetica.

La teoria della relatività ha reso molto più elegante la struttura dell'elettrodinamica unificando i concetti di carica e di corrente da una parte, di campo elettrico e di campo magnetico dall'altra. Dato che ogni moto è relativo, ogni carica può apparire anche come corrente – in un sistema di riferimento in cui essa si muove rispetto all'osservatore – e di conseguenza il suo campo elettrico può anche manifestarsi come campo magnetico. Nella formulazione relativistica dell'elettrodinamica, i due campi sono così unificati in un unico campo elettromagnetico.

Il concetto di campo è stato associato non solo alla forza elettromagnetica, ma anche all'altra forza fondamentale presente su larga scala nell'universo, la forza di gravità. I campi gravitazionali sono creati e risentiti da tutte le masse, e le forze che ne derivano sono sempre attrattive, a differenza dei campi elettromagnetici che sono risentiti solo dai corpi carichi e danno luogo a forze sia attrattive che repulsive. La teoria dei campi adatta per il campo gravitazionale è la teoria generale della relatività; in essa l'influenza di una massa sullo spazio circostante ha una portata più vasta di quanto non lo sia la corrispondente influenza di un corpo carico in elettrodinamica. Anche qui lo spazio attorno all'oggetto è « condizionato » in modo tale che un altro oggetto può risentire una forza, ma questa volta il condizionamento

modifica la geometria, e quindi la struttura stessa dello spazio.

Materia e spazio vuoto – il pieno e il vuoto – furono i due concetti, fondamentalmente distinti, sui quali si basò l'atomismo di Democrito e di Newton. Nella relatività generale, questi due concetti non possono più rimanere separati. Ovunque è presente una massa, sarà presente anche un campo gravitazionale, e questo campo si manifesterà come una curvatura dello spazio che circonda quella massa. Non dobbiamo pensare, tuttavia, che il campo riempia la spazio e lo « incurvi ». Il campo e lo spazio non possono essere distinti: il campo è lo spazio curvo! Nella relatività generale, il campo gravitazionale e la struttura, o geometria, dello spazio sono identici. Essi sono rappresentati nelle equazioni del campo di Einstein dalla medesima grandezza matematica. Nella teoria di Einstein, quindi, la materia non può essere separata dal suo campo di gravità, e il campo di gravità non può essere separato dallo spazio curvo. Materia e spazio sono pertanto visti come parti inseparabili e interdipendenti di un tutto unico.

Gli oggetti materiali non solo determinano la struttura dello spazio circostante, ma a loro volta sono influenzati in modo sostanziale dall'ambiente. Secondo il fisico e filosofo Ernst Mach, l'inerzia di un oggetto materiale – la resistenza che oppone ad essere accelerato – non è una proprietà intrinseca alla materia, ma una misura della sua interazione con tutto il resto dell'universo. Nella concezione di Mach, la materia possiede inerzia solo perché esiste altra materia nell'universo. Quando un corpo ruota, la sua inerzia produce le forze centrifughe (utilizzate, per esempio, nella fase di centrifugazione di una lavatrice per togliere l'acqua dal bucato bagnato), ma queste forze compaiono solo perché il corpo ruota

rispetto alle stelle fisse >>, come ha fatto notare Mach. Se queste stelle fisse dovessero improvvisamente scomparire, l'inerzia e le forze centrifughe del corpo rotante scomparirebbero con esse.

Questa concezione dell'inerzia, nota come principio di Mach, ebbe una profonda influenza su Albert Einstein e costituì la motivazione iniziale che lo stimolò a costruire la teoria generale della relatività. A causa della considerevole complessità matematica della teoria di Einstein, finora i fisici non sono riusciti a stabilire concordemente se essa incorpora realmente il principio di Mach o no. La maggior parte dei fisici ritiene, tuttavia, che questo principio dovrebbe essere incorporato, in qualche modo, in una teoria completa della gravità.

Quindi la fisica moderna ci mostra di nuovo – e questa volta a un livello macroscopico – che gli oggetti materiali non sono entità distinte, ma sono legati in maniera inseparabile al loro ambiente; e che le loro proprietà possono essere comprese solo nei termini della loro interazione con il resto del mondo. Secondo il principio di Mach, questa interazione si estende all'universo in generale, alle stelle e alle galassie lontane. L'unità fondamentale del cosmo si manifesta, perciò, non solo nel mondo dell'infinitamente piccolo ma anche nel mondo dell'infinitamente grande; un fatto che è sempre più accettato nell'astrofisica e nella cosmologia moderne. Per usare le parole dell'astronomo Fred Hoyle,

« Gli odierni progressi della cosmologia indicano piuttosto insistentemente che le condizioni della nostra esistenza quotidiana non potrebbero sussistere se non fosse per le parti remote dell'Universo, che tutti i nostri concetti dello spazio e della geometria sarebbero completamente invalidati se le parti remote dell'Universo dovessero scomparire. La nostra esperienza quotidiana, fino ai minimi particolari, sembra essere così strettamente integrata negli aspetti su vasta scala dell'Universo, che è assolutamente impossibile pensare a una separazione delle due cose ».¹

1. F. Hoyle, *Frontiers of Astronomy*, Harper, New York 1955, p. 304 [trad. it. *Frontiere dell'astronomia*, Bompiani, Milano 1958, p. 401].

L'unità e il rapporto reciproco tra un oggetto materiale e il suo ambiente, che è evidente su scala macroscopica nella teoria generale della relatività, appare in una forma ancora più sorprendente a livello subatomico. Qui, le idee della teoria classica del campo si combinano con quelle della meccanica quantistica per descrivere le interazioni tra particelle subatomiche. Una combinazione di questo tipo non è stata finora possibile per l'interazione gravitazionale a causa della complicata forma matematica della teoria della relatività di Einstein; ma l'altra teoria classica del campo, l'elettrodinamica, è stata fusa con la meccanica quantistica in una teoria chiamata « elettrodinamica quantistica » che descrive tutte le interazioni elettromagnetiche tra particelle subatomiche. Questa teoria incorpora sia la teoria quantistica sia quella relativistica. Essa fu il primo modello « quantistico-relativistico » della fisica moderna ed è, a tutt'oggi, quello meglio riuscito.

La caratteristica nuova e sorprendente dell'elettrodinamica quantistica deriva dalla combinazione di due concetti: quello di campo elettromagnetico e quello di fotoni intesi come manifestazione corpuscolare delle onde elettromagnetiche. Poiché i fotoni sono anche onde elettromagnetiche, e poiché queste onde sono campi variabili, i fotoni devono essere manifestazioni dei campi elettromagnetici. Di qui il concetto di « campo quantistico », cioè di un campo che può assumere la forma di quanti, o particelle. Il campo quantistico è un concetto completamente nuovo che è stato esteso ed applicato alla descrizione di tutte le particelle subatomiche e delle loro interazioni, facendo corrispondere a ciascun tipo di particella un diverso tipo di campo. In queste « teorie quantistiche dei campi », il contrasto della teoria classica tra le particelle solide e lo spazio circostante è completamente superato. Il campo quantistico è visto come l'entità fisica fondamentale: un mezzo continuo presente ovunque nello spazio. Le particelle sono soltanto condensazioni locali del campo, concentrazioni di ener-

gia che vanno e vengono e di conseguenza perdono il loro carattere individuale e si dissolvono nel campo soggiacente ad esse. Come dice Albert Einstein:

Noi possiamo perciò considerare la materia come costituita dalle regioni dello spazio nelle quali il campo è estremamente intenso... In questo nuovo tipo di fisica non c'è luogo insieme per campo e materia poiché il campo è la sola realtà ».¹

La concezione delle cose e dei fenomeni fisici come manifestazioni effimere di una entità fondamentale soggiacente non è solo un elemento di fondo della teoria dei campi, ma anche un elemento basilare della concezione orientale del mondo. Come Einstein, i mistici orientali considerano questa entità soggiacente come la sola realtà: tutte le sue manifestazioni fenomeniche sono viste come transitorie e illusorie. Questa realtà del mistico orientale non può essere identificata con il campo quantistico dei fisici, poiché essa è vista come l'essenza di tutti i fenomeni di questo mondo e, di conseguenza, è al di là di tutti i concetti e di tutte le idee. Il campo quantistico, viceversa, è un concetto ben definito che spiega solo alcuni dei fenomeni fisici. Ciononostante, l'intuizione che sta dietro l'interpretazione che i fisici danno del mondo subatomico, in termini di campo quantistico, ha una stretta analogia con quella del mistico orientale che interpreta la propria esperienza del mondo sulla base di una realtà ultima fondamentale. Dopo che era stato introdotto il concetto di campo, i fisici hanno tentato di unificare i vari campi in un unico campo fondamentale che dovrebbe incorporare tutti i fenomeni fisici. Einstein, in particolare, dedicò gli ultimi anni della sua vita alla ricerca di questo campo unificato. Il Brahman degli Indù, il Dharrnakāya dei Buddhisti e il Tao dei Taoisti possono essere visti, forse, come il campo unificato fon-

1. Citato in M. Capek, *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*, D. Van Nostrand, Princeton, N.J. 1961, p. 319.

damentale da cui nascono non solo i fenomeni studiati in fisica, ma anche tutti gli altri fenomeni.

Nella concezione orientale, la realtà soggiacente a tutti i fenomeni trascende tutte le forme e sfugge a tutte le descrizioni e specificazioni. Di essa, perciò, si dice spesso che è senza forme, vacua e vuota. Ma questa vacuità non dev'essere presa per semplice non-essere. Essa è, al contrario, l'essenza di tutte le forme e la sorgente di tutta la vita. Si legge infatti nelle *Upanisad*:

Il *Brahman* è il soffio vitale, il *Brahman* è *ka* [felicità], il *Brahman* è *kha* [spazio etereo]... Ciò che è *ka* è anche *kha*, ciò che è *kha* è anche *ka* ».

I Buddhisti esprimono la stessa idea quando 'essi chiamano la realtà ultima *Śūnyata* — « vacuità » o « vuoto » — e affermano che è un vuoto vivo che dà origine a tutte le forme del mondo fenomenico. I Taoisti attribuiscono un'analogia creatività, immensa e incessante, al *Tao*, e anch'essi lo indicano come vuoto. « Il *Tao* dei cieli è vuoto e senza forme » dice il *Kuan-tzu*,² e Lao-tzu usa diverse metafore per illustrare questa vacuità. Egli spesso paragona il *Tao* a una valle profonda, oppure a un vaso eternamente vuoto e che quindi ha la possibilità di contenere un'infinità di cose.

Nonostante l'uso di termini come vacuità e vuoto, i saggi orientali fanno capire che essi non intendono la normale vacuità quando parlano del *Brahman*, del *Śūnyata* o del *Tao*, ma, al contrario, intendono un vuoto che ha un potenziale creativo infinito. Dunque, il vuoto dei mistici orientali è certamente paragonabile al campo quantistico della fisica subatomica. Come il campo

1. Chāndogya-upanisad, IV, x, 5.

2. Kuan-tzu, XIII, 36. Si tratta di un'ampia opera socio-filosofica, tradizionalmente attribuita al noto uomo di Stato Kuan Chung del settimo secolo a.C., ma più probabilmente opera di più autori compilata intorno al terzo secolo a.C. che riflette il pensiero di diverse scuole filosofiche.

quantistico, esso genera una infinita varietà di forme che sostiene e, alla fine, riassorbe. Come dicono le *Upanisad*,

In calma, adori Lui da cui è venuto
in cui si dissolverà in cui oggi respira.¹

Le manifestazioni fenomeniche del Vuoto mistico, come le particelle subatomiche, non sono statiche e permanenti, ma dinamiche e transitorie; entrano nell'esistenza e svaniscono in una incessante danza di movimento e di energia. Come il mondo subatomico dei fisici, il mondo fenomenico del mistico orientale è un mondo di *samsāra*, di continua nascita e morte. Essendo manifestazioni effimere del Vuoto, le cose in questo mondo non hanno alcuna identità fondamentale. Ciò è messo in evidenza soprattutto nella filosofia buddhista, la quale nega l'esistenza di qualsiasi sostanza materiale e sostiene anche che l'idea di un « sé » costante che passa attraverso successive esperienze è un'illusione. I Budhisti hanno spesso paragonato questa illusione di una sostanza materiale e di un sé individuale al fenomeno di un'onda sull'acqua, nel quale il movimento in su e in giù delle particelle d'acqua ci fa credere che una « parte » di essa si muova sulla superficie.² È interessante notare che i fisici hanno usato la stessa analogia nel contesto della teoria dei campi per mettere in evidenza l'illusione creata da una particella in moto dell'esistenza di una sostanza materiale. Hermann Weyl per esempio scrive:

« Secondo questa teoria [la teoria della materia come campo] una particella elementare, per esempio un elettrone, è soltanto una piccola regione del campo elettrico in cui l'intensità assume valori estremamente alti, a indicare che una porzione relativamente enorme dell'energia del campo è concentrata in un piccolissimo spa-

1. Chāndogya-upanisad, III, XIV, I.

2. Si veda p. 175.

zio. Tale nodo di energia, che non è affatto nettamente distinto dal resto del campo, si propaga attraverso lo spazio vuoto come un'onda sulla superficie di un lago; non vi è nulla che possa considerarsi come un'unica e stessa sostanza di cui l'elettrone consista in ogni istante >>.'

Nella filosofia cinese, l'idea di campo non solo è implicita nella nozione del *Tao*, vuoto e senza forma e che tuttavia produce tutte le forme, ma è anche espressa esplicitamente nel concetto di *ch'i*. Questo termine ebbe una funzione importante in quasi tutte le scuole cinesi di filosofia naturale e fu particolarmente importante nel Neoconfucianesimo, la scuola che tentò una sintesi di Confucianesimo, Buddhismo e Taoismo.^{2.2} La parola *ch'i* letteralmente significa « gas » o « etere », e fu usata nell'antica Cina per indicare il soffio vitale, o energia vitale che anima il cosmo. Nel corpo umano, i « canali del *ch'i* » sono la base della medicina cinese tradizionale. Lo scopo dell'agopuntura è di stimolare il flusso del *ch'i* attraverso questi canali. Il flusso del *ch'i* è anche la base dei movimenti sinuosi del *T'ai Chi Ch'uan*, la danza taoista del guerriero.

I Neoconfuciani elaborarono un concetto di *ch'i* che somiglia straordinariamente al concetto di campo quantistico della fisica moderna. Allo stesso modo del campo quantistico, il *ch'i* è concepito come una forma di materia tenue e non percettibile che è presente in tutto lo spazio e può condensarsi in oggetti materiali solidi. Dice Chang Tsai:

« Quando il *ch'i* si condensa ci appare come cosa visibile e allora ci sono le forme [delle cose singole]. Quando si rarefà, la sua visibilità si annulla e allora non ci sono forme. Durante la sua condensazione si può non

1. H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, Princeton University Press, Princeton, N.J. 1949, p. 171 [trad. it. *Filosofia della matematica e delle scienze naturali*, Boringhieri, Torino 1967, p. 210]. 2. Si veda p. 120.

dire che questa è solo temporanea? ma quando si rarefà si può dire affrettatamente che allora non esiste? ».¹

Quindi il *ch'i* si condensa e si rarefà ritmicamente, producendo tutte le forme che alla fine si dissolvono nel Vuoto. Dice ancora Chang Tsai:

« Il Grande Vuoto non può consistere che nel *ch'i*; questo *ch'i* non può che condensarsi per dar forma a tutte le cose; queste cose non possono che rarefarsi per dar luogo [ancora una volta] al Grande Vuoto ».²

Come nella teoria dei campi, il campo—ovvero il *ch'i* – non solo è l'essenza soggiacente a tutti gli oggetti materiali, ma trasporta anche le loro interazioni reciproche sotto forma di onde. Dalle descrizioni che seguono, quella di Walter Thirring del concetto di campo nella fisica moderna, e quella di Joseph Needham della concezione cinese del mondo fisico, appare con chiarezza quanto le due idee si somiglino.

La fisica moderna... ha posto il nostro pensiero circa l'essenza della materia in un contesto diverso. Essa ha spostato la nostra attenzione dal visibile, le particelle, all'entità soggiacente ad esse, il campo. La presenza di materia è solo una perturbazione dello stato perfetto del campo in quel punto; si potrebbe quasi dire che è qualcosa di accidentale, soltanto un "difetto". Di conseguenza, non ci sono leggi semplici che descrivono le forze tra le particelle elementari... Ordine e simmetria devono essere cercati nel campo soggiacente ad esse ».³

« Nell'antichità e nel Medioevo, i Cinesi concepivano l'universo fisico come un tutto perfettamente continuo. Il *ch'i* condensato in materia palpabile non assumeva, in nessun senso, una struttura corpuscolare, ma i singoli oggetti agivano e reagivano con tutti gli altri oggetti del mondo... con un comportamento di tipo ondulatorio o

1. Citato in Fung Yu-Lan, trad. cit., p. 224.

2. *Ibid.*, p. 224.

3. W. Thirring, *Urbausteine der Materie*, in « Almanach der Österreichischen Akademie der Wissenschaften », CXVI I I (1968), p. 160.

vibratorio dipendente, in ultima analisi, dal ritmico alternarsi a tutti i livelli delle due forze fondamentali, lo yin e lo yang. I singoli oggetti avevano quindi i loro ritmi intrinseci. E questi erano integrati,, nello schema generale dell'armonia del mondo ».²

Col concetto di campo quantistico, la fisica moderna ha trovato una risposta inattesa alla vecchia domanda se la materia è costituita da atomi indivisibili o da un continuum soggiacente ad essa. Il campo è un continuum che è presente dappertutto nello spazio e tuttavia nel suo aspetto corpuscolare ha una struttura discontinua, « granulare ». I due concetti apparentemente contraddittori sono quindi unificati e interpretati semplicemente come differenti aspetti della stessa realtà. Come succede sempre in una teoria relativistica, l'unificazione dei due concetti opposti avviene in modo dinamico: i due aspetti della materia si trasformano perennemente l'uno nell'altro. Il misticismo orientale sottolinea un'analogia unità dinamica tra il Vuoto e le forme da esso create. Dice il Lama Govinda:

« La relazione tra... forma e vuoto non può essere concepita come uno stato di opposti escludentisi a vicenda, ma soltanto come due aspetti della stessa realtà che coesistono e cooperano incessantemente ».²

La fusione di questi concetti opposti in un tutto unico è stata espressa in un sūtra buddhista con le famose parole:

« La forma è vuoto, e il vuoto è in realtà forma. Il vuoto non è diverso dalla forma, la forma non è diversa dal vuoto. Ciò che è forma quello è vuoto, ciò che è vuoto quello è forma ».³

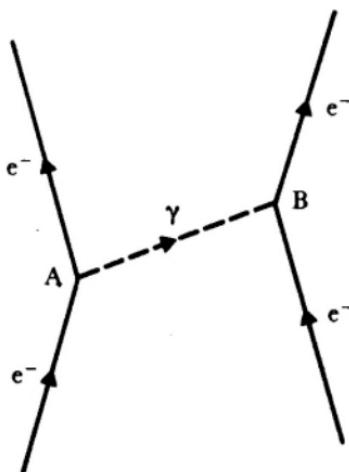
1. J. Needham, *op. cit.*, vol. IV, pp. 8-9.

2. A. Govinda, trad. cit., p. 219.

3. *Prajñā-pāramitā-hrdaya Sūtra*, in F. M. Muller, a cura di, *Sacred Books of the East*, Oxford University Press, New York, vol. XLIX, « Buddhist Mahāyāna Sūtra »

Le teorie dei campi della fisica moderna non solo hanno portato a una nuova concezione delle particelle subatomiche ma hanno anche modificato in maniera radicale la nostra concezione delle forze che agiscono fra queste particelle. In origine, il concetto di campo era legato a quello di forza, e anche nella teoria dei campi esso è ancora associato alle forze tra particelle. Il campo elettromagnetico, per esempio, può manifestarsi come « campo libero » sotto forma di onde/foton che si propagano, oppure può avere la funzione di un campo di forze tra particelle cariche. In quest'ultimo caso, la forza si manifesta come scambio di fotoni tra le particelle che interagiscono. La repulsione elettrica tra due elettroni, per esempio, è mediata da questi scambi di fotoni.

Questa nuova concezione della forza può sembrare difficile da capire, ma essa diventa molto più chiara quando il processo di scambio di un fotone è rappresentato in un diagramma spazio-tempo. Nel diagramma sono rappresentati due elettroni che si avvicinano tra loro; uno di essi emette il fotone (indicato con γ) nel



Repulsione reciproca tra due elettroni mediante lo scambio di un fotone.

punto A, l'altro lo assorbe nel punto B. Dopo avere emesso il fotone, il primo elettrone inverte la sua direzione e modifica la velocità (come si può vedere dal cambiamento di direzione e d'inclinazione della sua linea di universo), e così pure fa il secondo elettrone quando assorbe il fotone. Infine, i due elettroni si allontanano rapidamente, essendosi respinti l'un l'altro attraverso lo scambio del fotone. L'interazione completa tra gli elettroni comporterà una serie di scambi di fotoni, e come effetto finale gli elettroni sembreranno deviarsi l'un l'altro lungo curve continue.

In termini di fisica classica, si potrebbe dire che gli elettroni esercitano l'uno sull'altro una forza repulsiva. Questo, tuttavia, è considerato oggi un modo molto impreciso di descrivere la situazione. Nessuno dei due elettroni « sente » una forza quando si avvicina all'altro: essi semplicemente interagiscono mediante lo scambio di fotoni, e la forza non è altro che l'effetto macroscopico collettivo di questi ripetuti scambi di fotoni. Il concetto di forza perciò non ha più alcuna utilità nella fisica subatomica: è un concetto classico che noi associamo (anche se solo in maniera subconscia) all'idea newtoniana di forza che agisce a distanza. Nel mondo subatomico non ci sono forze di questo tipo, ma solo interazioni tra particelle, mediate attraverso campi, cioè, attraverso altre particelle. Perciò, i fisici preferiscono parlare di interazioni piuttosto che di forze.

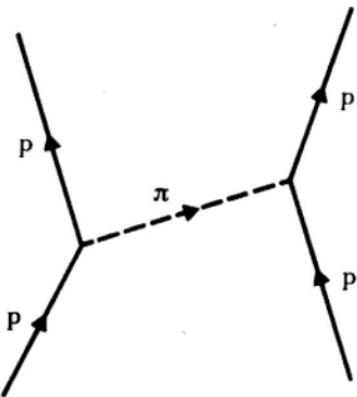
Secondo la teoria dei campi, tutte le interazioni avvengono attraverso lo scambio di particelle. Nel caso delle interazioni elettromagnetiche, le particelle scambiate sono fotoni; i nucleoni, d'altro canto, interagiscono attraverso una forza molto più intensa, quella nucleare, o « interazione forte », che si manifesta come scambio di un nuovo tipo di particelle chiamate « mesoni ». Esistono molti tipi diversi di mesoni che possono essere scambiati tra protoni e neutroni. Più i nucleoni sono vicini tra loro, più sono numerosi e pesanti i mesoni che essi scambiano. Le interazioni tra nucleoni sono quindi connesse alle proprietà dei mesoni scambiati e questi, a

loro volta, interagiscono fra loro attraverso lo scambio di altre particelle. Per questa ragione non saremo in grado di capire la forza nucleare a un livello fondamentale prima di capire l'intero spettro delle particelle subatomiche.

Nella teoria dei campi, tutte le interazioni tra particelle possono essere rappresentate con diagrammi spazio-tempo, e ciascun diagramma è associato a una espressione matematica che permette di calcolare la probabilità che si verifichi il corrispondente processo. L'esatta corrispondenza tra i diagrammi e le espressioni matematiche fu stabilita nel 1949 da Richard Feynman, e perciò da allora i diagrammi sono noti come diagrammi di Feynman. Un punto cruciale della teoria è la creazione e la distruzione di particelle. Per esempio, nel diagramma precedente il fotone è creato nel processo di emissione nel punto A, ed è distrutto quando viene assorbito nel punto B. Un processo simile può essere concepito solo in una teoria relativistica nella quale le particelle non sono viste come oggetti indistruttibili, ma piuttosto come figure dinamiche che coinvolgono una certa quantità di energia, che può essere ridistribuita quando si formano nuove figure.

La creazione di una particella dotata di massa è possibile solo quando viene fornita l'energia corrispondente alla sua massa, per esempio in un processo durto. Nel caso delle interazioni forti, questa energia non è sempre disponibile, come succede quando due nucleoni interagiscono tra loro in un nucleo atomico. In tali casi, quindi, non dovrebbero essere possibili scambi di mesoni dotati di massa; tuttavia essi si verificano ugualmente. Per esempio, due protoni possono scambiare un « mesone π », o « pion », la cui massa è circa un settimo di quella del protone (si veda il diagramma a p. 253).

Le ragioni per le quali possono avvenire processi di scambio di questo tipo, nonostante l'apparente mancanza di energia per la creazione del mesone, devono essere cercate in un « effetto quantistico » connesso con il principio di indeterminazione. Come si è visto prece-



Scambi o di un pione (n) tra due protoni (p).

dentemente,¹ gli eventi subatomici che si verificano entro un intervallo di tempo breve comportano un'incertezza nell'energia proporzionalmente grande. Gli scambi di mesoni, cioè la loro creazione e la successiva distruzione, sono eventi di questo tipo. Essi avvengono in un intervallo di tempo così breve che l'incertezza nell'energia è sufficiente a permettere la creazione dei mesoni stessi. Mesoni di questo tipo sono chiamati particelle « virtuali » e sono diversi dai mesoni « reali » creati nei processi d'urto, perché possono esistere solo per l'intervallo di tempo permesso dal principio di indeterminazione. Più sono pesanti, cioè maggiore è l'energia richiesta per crearli, più è piccolo l'intervallo di tempo permesso per il processo di scambio. Questa è la ragione per la quale lo scambio di mesoni pesanti tra nucleoni può avvenire solo quando questi sono molto vicini tra loro. Lo scambio di fotoni virtuali, viceversa, può avvenire su distanze illimitate perché i fotoni, essendo privi di massa, possono essere creati con una quantità di energia indefinitamente piccola. Questa

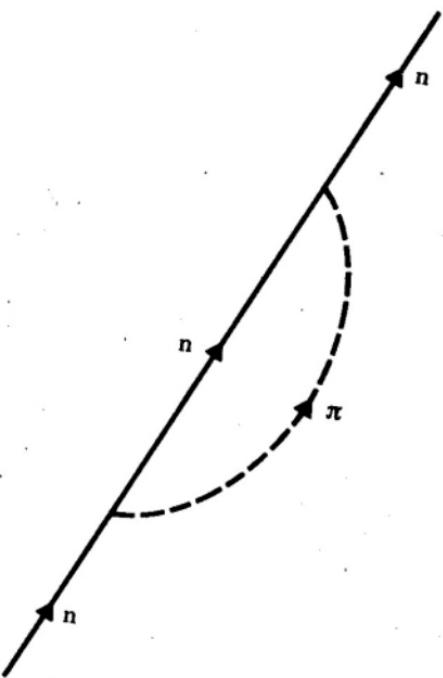
1. Si veda p. 183.

analisi delle forze elettromagnetiche e nucleari consentì a Hideki Yukawa, nel 1935, non solo di prevedere l'esistenza del pione, dodici anni prima che fosse osservato, ma anche di stimarne approssimativamente la massa in base al raggio d'azione della forza nucleare.

Nella teoria dei campi, quindi, tutte le interazioni sono rappresentate come scambio di particelle virtuali. Più forte è l'interazione, cioè più è intensa la « forza » risultante tra le particelle, maggiore è la probabilità di questo processo di scambio, e più frequentemente verranno scambiate particelle virtuali. Il ruolo delle particelle virtuali, tuttavia, non è limitato a queste interazioni. Un solo nucleone, per esempio, può benissimo emettere una particella virtuale e riassorbirla poco dopo. Purché il mesone creato scompaia entro il tempo permesso dal principio di indeterminazione, non c'è nulla che proibisca tale processo. Il corrispondente diagramma di Feynman per un neutrone che emette e riassorbe un piona è riprodotto nella figura a p. 255.

La probabilità di siffatti processi di « autointerazione » è molto alta per i nucleoni a causa della loro forte interazione. Ciò significa che in realtà i nucleoni emettono e assorbono di continuo particelle virtuali. Secondo la teoria dei campi, essi devono essere considerati centri di attività continua e avvolti da nubi di particelle virtuali. I mesoni virtuali devono scomparire in un tempo brevissimo dopo la loro creazione, il che significa che essi non possono allontanarsi molto dal nucleone; di conseguenza, la nuvola di mesoni è molto piccola. Le sue regioni più esterne sono popolate da mesoni leggeri (soprattutto pioni), poiché i mesoni pesanti, dovendo essere assorbiti dopo un tempo molto più breve, rimangono confinati nella parte interna della nube.

Ogni nucleone è circondato da questa nube di mesoni virtuali i quali vivono solo per un periodo di tempo estremamente breve. Tuttavia, i mesoni virtuali possono diventare mesoni reali in particolari circostanze. Quando un nucleone è colpito da un'altra particella che si muove ad alta velocità, una parte dell'energia di moto



Un neutrone(n) emette e riassorbe un pione.

di questa particella può essere trasferita a un mesone virtuale per liberarla dalla nube. Questo è il modo in cui i mesoni reali sono creati negli urti ad alta energia. D'altra parte, quando due nucleoni si avvicinano talmente l'uno all'altro che le loro nubi di mesoni si sovrappongono, può accadere che alcune delle particelle virtuali non tornino indietro per essere riassorbite dal nucleone che le ha create inizialmente, ma « saltino dall'altra parte » e siano assorbite dall'altro nucleone. Così si realizzano i processi di scambio che costituiscono le interazioni forti.

Questa rappresentazione mostra chiaramente che le interazioni tra particelle, e quindi le « forze » tra di esse, sono determinate dalla composizione delle loro nubi virtuali. Il raggio d'azione di una interazione, cioè la

distanza tra le particelle alla quale avrà inizio l'interazione, dipende dall'estensione delle nubi virtuali, e la forma particolare dell'interazione dipenderà dalle proprietà delle particelle presenti nella nube. Quindi le forze elettromagnetiche sono dovute alla presenza di fotoni virtuali « entro » le particelle cariche, mentre le interazioni forti tra nucleoni hanno origine dalla presenza di pioni virtuali e di altri mesoni « entro » i nucleoni. Nella teoria dei campi, le forze tra particelle appaiono come proprietà intrinseche a queste ultime. Oggi dunque si vede che forza e materia, i due concetti che erano così nettamente separati nell'atomismo greco e newtoniano, hanno la loro origine comune nelle figure dinamiche che chiamiamo particelle.

Questa concezione delle forze è anche caratteristica del misticismo orientale che considera movimento e mutamento come proprietà essenziali di tutte le cose e intrinseche ad esse. « Tutte le cose che ruotano » dice Chang Tsai riferendosi ai cieli « hanno una forza spontanea e quindi il loro moto non è imposto ad esse dall'esterno »; e nell'*I King* leggiamo:

« Esse [le leggi di natura] non sono circostanze estrinseche alle cose, sono anzi l'armonia del moto, immanente ad esse ».²

Questa antica descrizione cinese delle forze come simbolo dell'armonia del movimento entro le cose sembra particolarmente appropriata alla luce della teoria dei campi, nella quale le forze tra particelle sono viste come riflesso delle forme dinamiche (le nubi virtuali) inerenti alle particelle stesse.

La teoria dei campi della fisica moderna ci costringe ad abbandonare la classica distinzione tra particelle materiali e vuoto. La teoria del campo gravitazionale di

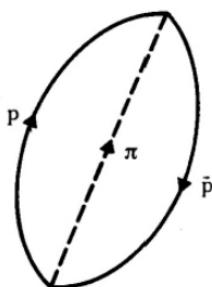
1. Citato in J. Needham, *op. cit.*, vol. II, p. 62.

2. *I King*, trad. cit., dalla Sentenza all'esagramma U (Il Fervore), p. 118.

Einstein e la teoria dei campi mostrano entrambe che le particelle non possono essere separate dallo spazio che le circonda. Da una parte, esse determinano la struttura di questo spazio, mentre dall'altra non possono venire considerate come entità isolate, ma devono essere viste come condensazioni di un campo continuo che è presente in tutto lo spazio. Nella teoria dei campi, il campo è visto come la base di tutte le particelle e delle loro interazioni reciproche.

Il campo esiste sempre e dappertutto, non può mai essere eliminato. Esso è il veicolo di tutti i fenomeni materiali. E il "vuoto" dal quale il protone crea i mesoni π . L'esistere e il dissolversi delle particelle sono semplicemente forme di moto del campo ».¹

Infine, la distinzione tra materia e spazio vuoto dovette essere abbandonata quando divenne evidente che le particelle virtuali possono generarsi spontaneamente dal vuoto, e svanire nuovamente in esso, senza che sia presente alcun nucleone o altra particella a interazione forte. Riportiamo qui un « diagramma vuoto-vuoto »



per un processo di questo tipo: tre particelle – un protone (p), un antiproton (\bar{p}), e un pione (π) – emergono dal nulla e scompaiono nuovamente nel vuoto. Secondo la

1. W. Thirring, op. cit., p. 159.

teoria dei campi, eventi di questo tipo avvengono di continuo. Il vuoto è ben lungi dall'essere vuoto. Al contrario, esso contiene un numero illimitato di particelle che vengono generate e scompaiono in un processo senza fine.

In questo aspetto della fisica moderna c'è dunque la più stretta corrispondenza con il Vuoto del misticismo orientale. Analogamente al Vuoto dei mistici orientali, il « vuoto fisico » – come è chiamato nella teoria dei campi – non è uno stato di semplice non-essere, ma contiene la potenzialità di tutte le forme del mondo delle particelle. Queste forme, a loro volta, non sono entità fisiche indipendenti, ma soltanto manifestazioni transitorie del Vuoto soggiacente ad esse. Come dice il *sutra*, « la forma è vuoto, e il vuoto in realtà è forma ».

La relazione tra le particelle virtuali e il vuoto è una relazione essenzialmente dinamica; il vuoto è certamente un « Vuoto vivente », pulsante in ritmi senza fine di creazione e distruzione. La scoperta della qualità dinamica del vuoto è considerata da molti fisici uno dei risultati più importanti della fisica moderna. Dall'avere una funzione di vuoto contenitore dei fenomeni fisici, il vuoto è passato ad essere una quantità dinamica della massima importanza. I risultati della fisica moderna sembrano quindi confermare le parole del saggio cinese

Chang Tsai:

Quando si conosce che il Grande Vuoto è pieno di *chi*, si comprende che non esistono cose quali il non-essere ».¹

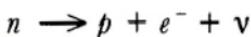
1. Citato in J. Needham, op. cit., vol. IV, p. 33.

LA DANZA COSMICA

Nel ventesimo secolo, l'esplorazione del mondo subatomico ha rivelato la natura intrinsecamente dinamica della materia; ha mostrato che i costituenti dell'atomo, le particelle subatomiche, sono configurazioni dinamiche che non esistono in quanto entità isolate, ma in quanto parti integranti di una inestricabile rete di interazioni. Queste interazioni comportano un flusso incessante di energia che si manifesta come scambio di particelle; un'azione reciproca dinamica in cui le particelle sono create e distrutte in un processo senza fine, in una continua variazione di configurazioni di energia. Le interazioni tra particelle danno origine alle strutture stabili che formano il mondo materiale, il quale a sua volta non rimane statico, ma oscilla in movimenti ritmici. L'intero universo è quindi impegnato in un movimento e in un'attività senza fine, in una incessante danza cosmica di energia.

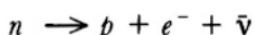
Questa danza comporta un'enorme varietà di configurazioni ma, sorprendentemente, queste rientrano in poche categorie distinte. Lo studio delle particelle subatomiche e delle loro interazioni rivela quindi l'esistenza di un grande ordine. Tutti gli atomi, e di conseguenza tutte le specie di materia del nostro ambiente, sono costituiti solamente da tre particelle dotate di massa: il protone, il neutrone e l'elettrone. Una quarta particella, il fotone, è priva di massa e costituisce l'unità di radiazione elettromagnetica.

Il protone, l'elettrone e il fotone sono tutti particelle stabili, il che significa che essi vivono per sempre, a meno che non vengano coinvolti in un processo d'urto, nel quale possono essere annichilati. Il neutrone, viceversa, può disintegrarsi spontaneamente. Questa disintegrazione è chiamata « decadimento beta » ed è il processo fondamentale di un tipo di radioattività che comporta la trasformazione del neutrone in protone accompagnata dalla creazione di un elettrone e di una particella di nuovo tipo priva di massa, chiamata neutrino. Come il protone e l'elettrone, anche il neutrino è stabile. Lo si indica comunemente con la lettera greca ν , e il processo di decadimento beta si indica simbolicamente con



La trasformazione dei neutroni in protoni negli atomi di una sostanza radioattiva comporta la trasformazione di questi atomi in altri di tipo completamente differente. Gli elettroni creati durante il processo vengono emessi sotto forma di una potente radiazione che è largamente usata in biologia, in medicina e nell'industria. I neutrini, d'altro canto, sebbene siano emessi in numero uguale agli elettroni, sono estremamente difficili da rivelare perché non hanno né massa né carica elettrica.

Come è stato accennato precedentemente, esiste un antiparticella per ogni particella, con massa eguale ma carica di segno contrario. L'antiparticella del fotone è il fotone stesso; l'antiparticella dell'elettrone è chiamata positrone; esistono infine l'antiproton, l'antineutrone e l'antineutrino. In realtà, la particella priva di massa prodotta nel decadimento beta non è il neutrino ma l'antineutrino (indicato con $\bar{\nu}$), e quindi il modo corretto di indicare il Processo è



Le particelle di cui si è parlato sinora sono solo una piccola parte delle particelle subatomiche oggi conosciute. Tutte le altre sono instabili e dopo un tempo molto breve decadono in altre particelle, alcune delle quali possono nuovamente decadere fino a che non si raggiunga una combinazione di particelle stabili. Lo studio delle particelle instabili è molto dispendioso, in quanto esse devono venire create appositamente per ogni ricerca in processi d'urto, e questo richiede enormi acceleratori di particelle, camere a bolle, e altri dispositivi estremamente raffinati per la loro rivelazione.

La maggior parte delle particelle instabili vive solo per un periodo di tempo assai breve, se paragonato alla scala di tempo dell'uomo: meno di un milionesimo di secondo. Tuttavia, la loro vita media dev'essere valutata in relazione alle loro dimensioni, anch'esse minuscole. Quando sono considerate da questo punto di vista, si può vedere che molte di esse vivono per un periodo relativamente lungo, e che un milionesimo di secondo è, in realtà, un intervallo di tempo enorme nel mondo delle particelle. In un secondo, un essere umano può percorrere una distanza uguale a poche volte le proprie dimensioni. Per una particella, l'intervallo di tempo equivalente sarebbe dunque il tempo necessario per spostarsi di una distanza di poche volte le sue dimensioni; un'unità di tempo che si potrebbe chiamare « secondo-particella ».¹

Per attraversare un nucleo atomico di medie dimensioni, una particella impiega circa dieci di questi « secondi-particella » se viaggia a una velocità prossima a quella della luce, come avviene negli esperimenti d'urto. Tra le numerose particelle instabili, ve ne sono circa due dozzine che possono attraversare parecchi atomi prima di decadere. Si tratta di una distanza di circa 100.000

1. I fisici valutano questa unità di tempo in 10^{-23} secondi. Questa scrittura è una notazione abbreviata per indicare un numero decimale con 23 zeri davanti alla cifra 1 (compreso quello prima della virgola), cioè 0.0000000000000000000000001 secondi.

volte le loro dimensioni e corrisponde a un intervallo di tempo di alcune centinaia di « ore-particella ». Queste particelle sono elencate nella seguente tabella insieme alle particelle stabili di cui si è già parlato. La maggior parte delle particelle instabili elencate nella tabella per-

Nome	Simbolo			
	Particella	Antiparticella		
fotone	γ			
leptoni	neutrino	ν_e	ν_μ	$\bar{\nu}_e$
	elettrone	e^-		e^+
	muone	μ^-		μ^+
mesoni	pione	π^+	π^0	π^-
	kaone	K^+	K^0	\bar{K}^0
	eta		η	
adroni	protone	p		\bar{p}
	neutron	n		\bar{n}
	lambda	Λ		$\bar{\Lambda}$
	sigma	Σ^+	Σ^0	Σ^-
	csi	Ξ^0	Ξ^-	$\bar{\Xi}^0$
	omega	Ω		$\bar{\Omega}^-$

La tabella riporta tredici diversi tipi di particelle, molte delle quali si presentano in differenti « stati di carica ». I pioni, per esempio, **possono** avere carica positiva (π^+), negativa (π^-), oppure essere elettricamente neutri (π^0). Esistono due tipi di neutrini, uno che interagisce solo con elettroni (ν_e), l'altro solo con muoni (ν_μ). Sono elencate anche le antiparticelle; tre particelle (γ , π^0 , η) coincidono con le proprie antiparticelle. Le particelle sono disposte in ordine di massa crescente: il fotone e i neutrini sono privi di massa; l'elettrone è la più leggera delle particelle dotate di massa; i muoni, i pioni e i kaoni pesano poche centinaia di volte più dell'elettrone; le altre particelle pesano da mille a tremila volte in più.

correrà, di fatto, un centimetro intero, o anche diversi centimetri, prima di decadere, e quelle che vivono più a lungo, un milionesimo di secondo, possono percorrere diverse centinaia di metri prima di decadere: una lunghezza enorme rispetto alle loro dimensioni.

Tutte le altre particelle note sinora appartengono a una categoria chiamata « risonanze » che sarà esaminata più dettagliatamente nel prossimo capitolo. Esse vivono per un tempo notevolmente più breve, decadendo dopo pochi « secondi-particella », cosicché possono percorrere soltanto, al massimo, una distanza corrispondente a poche volte le loro dimensioni. Ciò significa che non possiamo visualizzarle nella camera a bolle; la loro esistenza può essere dedotta solo indirettamente. Le tracce che si vedono nelle fotografie delle camere a bolle possono essere prodotte solo dalle particelle elencate nella tabella.

Tutte queste particelle possono essere create e annichilate in processi d'urto; ognuna di esse può anche essere scambiata come particella virtuale, contribuendo così all'interazione tra le altre particelle. Ciò sembrerebbe portare a un gran numero di differenti interazioni tra le particelle, ma fortunatamente, sebbene non si sappia ancora perché, tutte queste interazioni sembrano rientrare in quattro categorie con intensità di interazione notevolmente diversa:

Le interazioni forti

Le interazioni elettromagnetiche

Le interazioni deboli

Le interazioni gravitazionali

Tra queste, le interazioni elettromagnetiche e quelle gravitazionali sono le più conosciute, poiché le sperimentiamo direttamente nel mondo macroscopico. L'interazione gravitazionale agisce tra tutte le particelle, ma è talmente debole che non può essere rivelata sperimentalmente. Tuttavia, l'interazione gravitazionale dell'enorme numero di particelle che costituiscono i corpi

macroscopici, sommandosi, produce la forza di gravità che, su larga scala, è la forza dominante nell'universo. Le interazioni elettromagnetiche si manifestano tra tutte le particelle cariche; sono responsabili dei processi chimici e della formazione di tutte le strutture atomiche e molecolari. Le interazioni forti tengono insieme protoni e neutroni nei nuclei atomici e costituiscono la forza nucleare, di gran lunga la più intensa di tutte le forze in natura. Per esempio, gli elettroni sono legati al nucleo atomico dalla forza elettromagnetica con energie di circa dieci unità (chiamate elettron-volt), mentre la forza nucleare tiene insieme protoni e neutroni con energie di circa dieci milioni di elettron-volt!

I nucleoni non sono le sole particelle che interagiscono mediante le interazioni forti. In effetti, la schiacciatrice maggioranza delle particelle è soggetta alla interazione forte. Di tutte le particelle oggi note, solo cinque (e le loro antiparticelle) non prendono parte alle interazioni forti. Esse sono il fotone e i quattro « leptoni » elencati nella parte in alto della tabella. Quindi tutte le particelle si suddividono in due grandi gruppi: i leptoni e gli « adroni >>, o particelle a interazione forte. Gli adroni si suddividono ulteriormente in « mesoni » e « barioni » che differiscono per varie caratteristiche; per esempio tutti i barioni hanno antiparticelle distinte dalle rispettive particelle, mentre un mesone può essere la propria antiparticella.

I leptoni sono responsabili del quarto tipo di interazione, l'interazione debole. Questa è talmente debole, e ha un raggio d'azione così piccolo, che non riesce a tenere insieme alcunché, mentre le altre tre interazioni danno luogo a forze di legame: l'interazione forte tiene insieme i nuclei atomici, (l'interazione elettromagnetica gli atomi e le molecole, e l'interazione gravitazionale i pianeti, le stelle e le galassie. L'interazione debole si manifesta solo in certi tipi di urti tra particelle e di decadimenti radioattivi, come in quello beta di cui si è parlato prima.

Tutte le interazioni tra adroni sono mediate dallo

scambio di altri adroni. Proprio perché avviene attraverso lo scambio di queste particelle dotate di massa l'interazione forte ha un raggio d'azione tanto piccolo.¹ Esso si estende solo a una distanza uguale a poche volte le dimensioni della particella e quindi non può mai dare luogo a una forza macroscopica. Di conseguenza, non siamo in grado di sperimentare direttamente queste forze nella vita quotidiana. Viceversa, le interazioni elettromagnetiche sono mediate dallo scambio di fotoni privi di massa e quindi il loro raggio d'azione è illimitatamente grande;² è questa la ragione per cui le forze elettriche e magnetiche si manifestano nel mondo macroscopico. Si pensa che anche le interazioni gravitazionali siano mediate da particelle prive di massa, chiamate « gravitoni »; ma queste interazioni sono talmente deboli che non è stato ancora possibile osservare il gravitone, sebbene non vi sia alcuna seria ragione per metterne in dubbio l'esistenza.

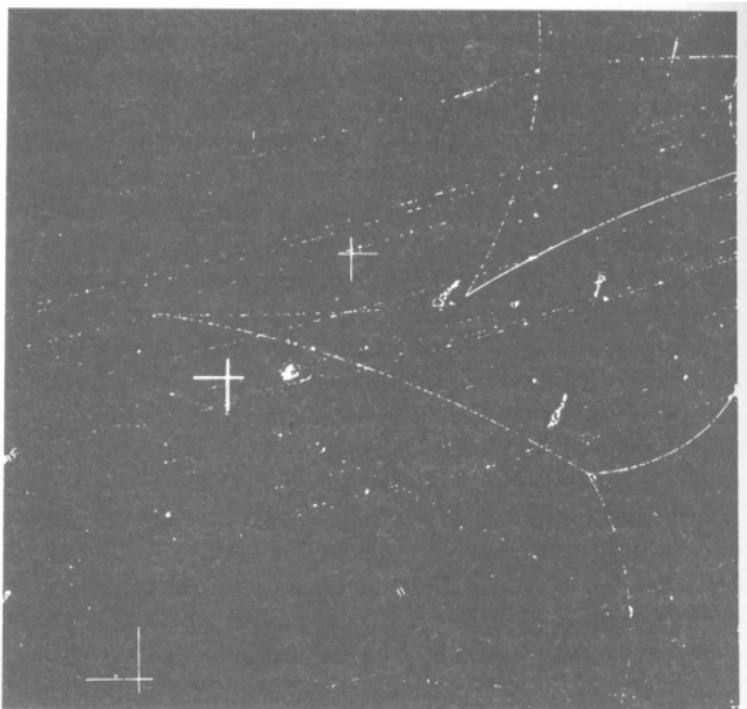
Le interazioni deboli, infine, hanno un raggio d'azione estremamente piccolo – molto più piccolo di quello delle interazioni forti – e si suppone quindi che siano prodotte dallo scambio di una particella molto pesante, chiamata « mesone W ». Si immagina che questa ipotetica particella abbia una funzione analoga a quella del fotone nelle interazioni elettromagnetiche, differendone solo per la sua grande massa. Questa analogia è, in effetti, la base dei più recenti sviluppi della teoria dei campi con la quale si cerca di elaborare una teoria unificata delle interazioni deboli e di quelle elettromagnetiche. *

I. Si veda pp. 252-254.

2. Si veda pp. 252-254.

* Una teoria unificata, nota come teoria elettrodebole, è stata elaborata agli inizi degli anni Settanta indipendentemente da S. Weinberg, della Harvard University, e da A. Salam, del Centro internazionale di fisica teorica di Trieste, con apporti di S. Glasgow e di altri (a questi tre studiosi fu conferito nel 1979 il premio Nobel per i loro contributi in questo campo). Nella teoria elettrodebole si ipotizza l'esistenza di tre particelle (W^+ , W^- , Z^0) che, nonostante le loro

In molti processi d'urto della fisica delle alte energie le interazioni forti, elettromagnetiche e deboli si combinano dando luogo a una intricata sequenza di eventi. Le



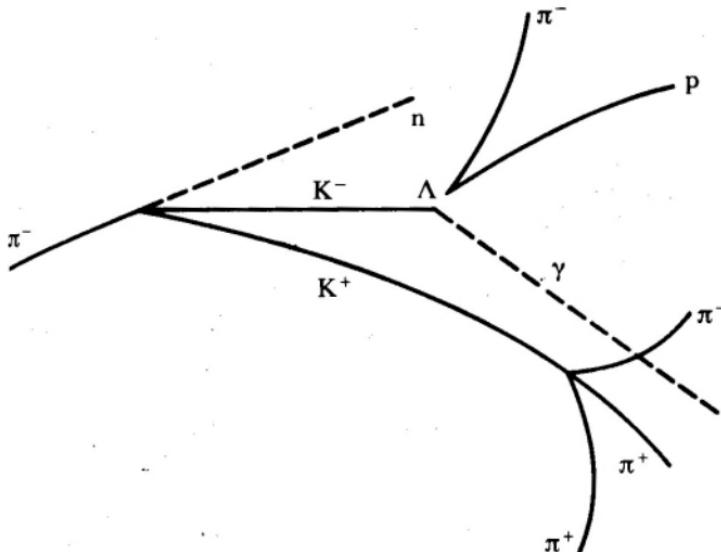
enormi masse (rispettivamente circa 80 e 90 volte quella del protone), apparterrebbero alla stessa famiglia dell'elettrone.

Dopo che nel 1973 gli esperimenti hanno dato indicazioni a favore dell'esistenza anche della particella Z^0 , il problema attuale, per una piena conferma e un approfondimento della teoria, è di riuscire a rivelare le particelle in questione e a studiarne le proprietà (si veda D. B. Cline, C. Rubbia e S. van der Maar, *Alla ricerca dei bosoni vettori intermedi*, in « Le Scienze », 165 (1982), pp. 23-35).

Nella strada aperta dalla teoria elettrodebole e sulla base degli sviluppi nello studio dei quark, già si intravede la possibilità di elaborare una teoria più generale che unifichi, oltre le interazioni deboli e quelle elettromagnetiche, anche quelle forti, e di conseguenza tutte le particelle oggi conosciute.

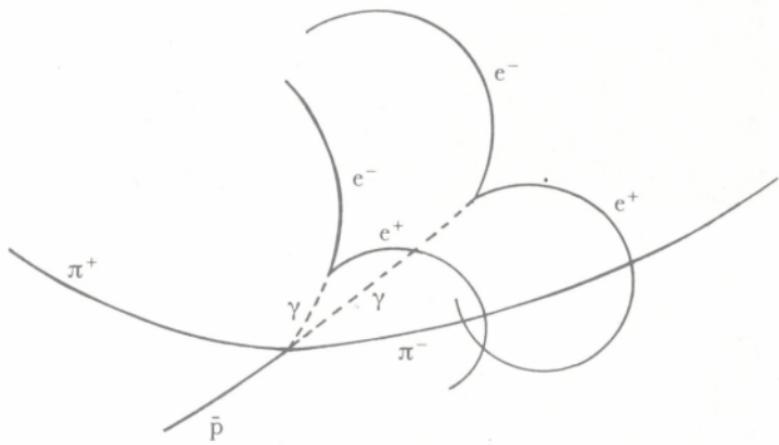
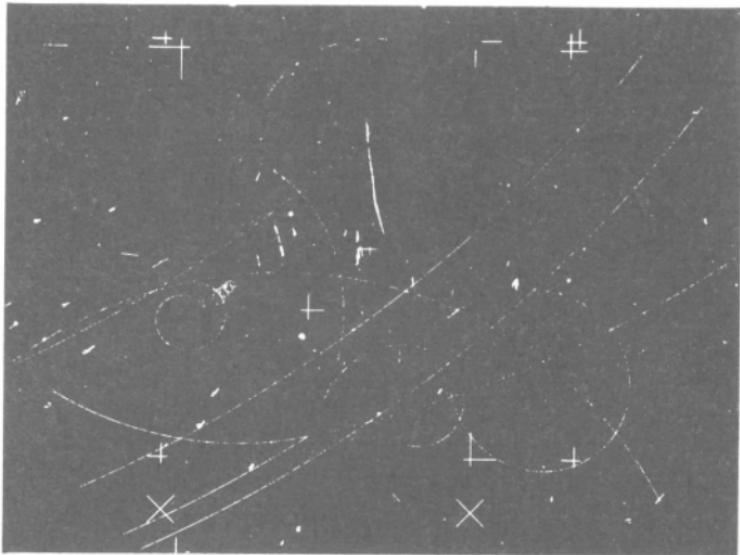
Questa linea di ricerca non segue tuttavia la direzione indicata dalla teoria del *bootstrap* sostenuta dall'autore nell'ultimo capitolo [N.d.T. J.]

particelle che si urtano inizialmente spesso vanno distrutte e si creano diverse particelle nuove, le quali a loro volta subiscono urti ulteriori oppure decadono, talvolta attraverso diversi passaggi successivi, nelle particelle stabili che infine permangono. Nelle figure alcune foto-



Una complessa sequenza di urti e decadimenti: un piona negativo (n^-), proveniente da sinistra, urta un protone — cioè il nucleo di un atomo di idrogeno — afermo » nella camera a bolle; entrambe le particelle si annichilano e vengono creati un neutrone (n) più due kaoni (K^- e K^+); il neutrone si allontana rapidamente senza lasciare traccia; il K^- urta un altro protone presente nella camera; le due particelle si annichilano l'una con l'altra e creano un lambda (Λ) e un fotone (γ). Nessuna di queste due particelle neutre è visibile, ma il Λ decade dopo un breve intervallo di tempo in un protone (p) e un n^- , i quali lasciano entrambi una traccia. La breve distanza che separa la creazione del Λ dal suo decadimento può essere vista molto chiaramente nella fotografia. Infine il

che è stato creato nell'urto iniziale, si sposta di un certo tratto prima di decadere in tre pioni.



Una sequenza di eventi nella quale avvengono due creazioni di coppie: un antiproton (\bar{p}), che proviene dal basso, urta uno dei protoni presenti nella camera a bolle e crea un π^+ (che si allontana verso sinistra), un π^- (che si allontana verso destra) e due fotoni (γ), ognuno dei quali crea una coppia elettrone-positrone: il positrone (e') curva verso destra. L'elettrone (e^-) verso sinistra.

grafie' ottenute in camere a bolle e i relativi schemi di decadimento illustrano questa sequenza di creazioni e distruzioni. Sono esempi impressionanti della mutabilità della materia a livello particellare, che mostrano cascate di energia in cui varie configurazioni, o particelle, si formano e si dissolvono.

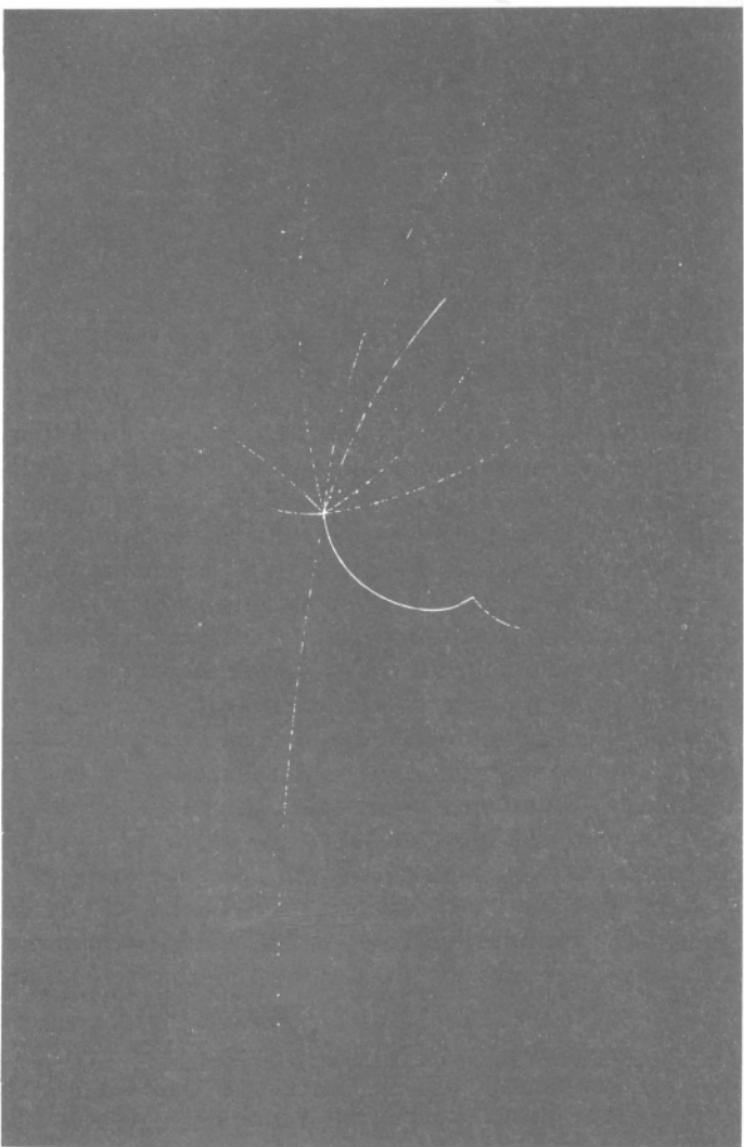
In queste sequenze, la creazione di materia che colpisce di più è quella in cui un fotone, che è privo di massa ma ha elevata energia (e che non può essere visto nella camera a bolle), improvvisamente esplode in una coppia di particelle cariche – un elettrone e un positrone – che si allontanano seguendo traiettorie curve divergenti.

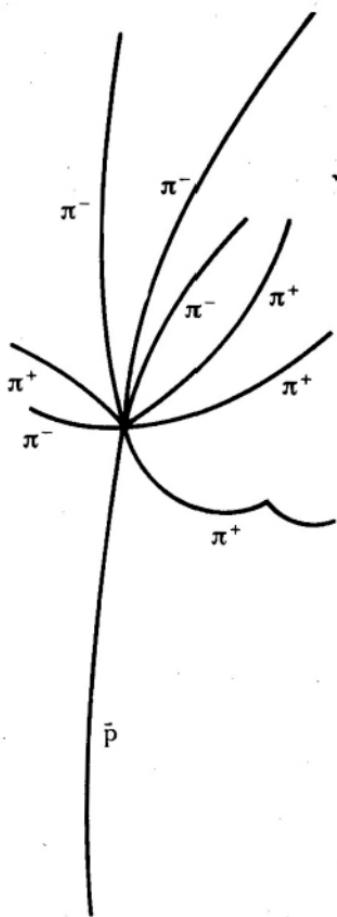
Maggiore è l'energia iniziale di questi processi d'urto, più grande è il numero di particelle che possono essere create. La fotografia a p. 270 mostra la creazione di otto pioni in un urto tra un antiproton e un protone.

Tutti questi urti sono stati prodotti artificialmente in laboratorio usando gigantesche macchine in cui le particelle sono accelerate fino alle energie richieste. Nella maggior parte dei fenomeni naturali che avvengono sulla Terra, le energie non sono sufficientemente elevate perché si creino particelle dotate di massa. Nello spazio esterno, tuttavia, la situazione è completamente diversa. Un grandissimo numero di particelle subatomiche si trova nel centro delle stelle dove processi d'urto simili a quelli studiati nei laboratori mediante gli acceleratori si svolgono spontaneamente e senza sosta. In alcune stelle, questi processi producono una radiazione elettromagnetica estremamente intensa, sotto forma di onde radio, onde luminose, o raggi X, che costituisce per gli astronomi la sorgente primaria di informazione sull'universo. Lo spazio interstellare, come pure quello intergalattico, è quindi riempito di radiazione elettromagnetica a varie frequenze, cioè di fotoni di diverse energie.

1. È da notare che solo le particelle cariche producono tracce nelle camere a bolle. Queste tracce sono curvate dai campi magnetici in senso orario per particelle positive ed in senso antiorario per quelle negative.

Queste, comunque, non sono le uniche particelle che viaggiano attraverso il cosmo. La « radiazione cosmica » contiene non solo fotoni ma anche ogni genere di particelle dotate di massa, la cui origine è ancora un



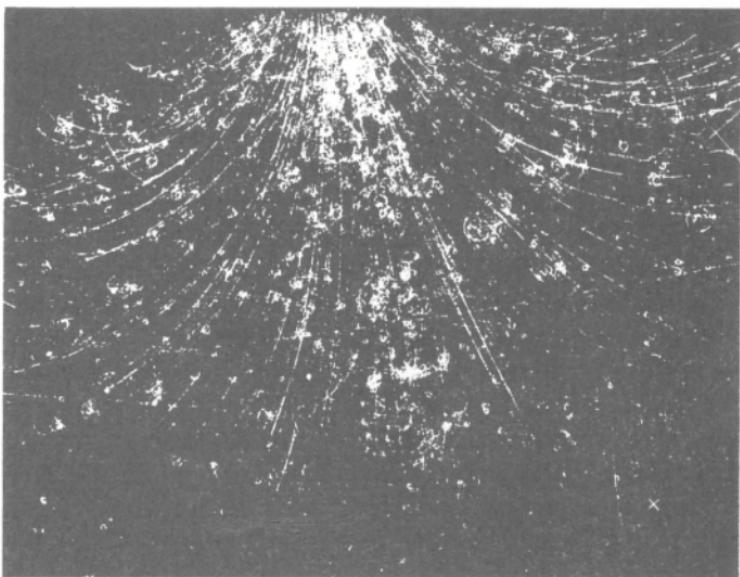


Creazione di otto pioni in un urto tra un antiproton (\bar{p}) e un protone (fermo nella camera a bolle).

mistero. La maggior parte di esse sono protoni, alcuni dei quali possono avere energie estremamente elevate, molto più grandi di quelle che si ottengono con i più potenti acceleratori di particelle.

Quando questi « raggi cosmici » estremamente energetici colpiscono l'atmosfera terrestre, essi urtano i nuclei delle molecole dell'aria e producono una grande varietà di particelle secondarie le quali possono sia de-

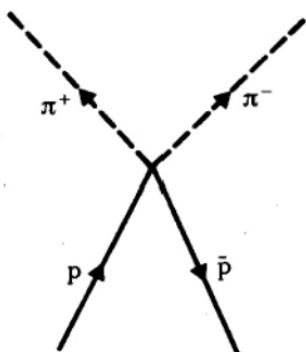
cadere sia subire ulteriori urti, creando così altre particelle, le quali di nuovo si urtano e decadono, e così via, finché le ultime raggiungono la Terra. In tal modo, un singolo protone che piomba nell'atmosfera terrestre può dar luogo a un'intera cascata di eventi durante i quali la sua energia cinetica iniziale si trasforma in uno sciame di varie particelle, ed è gradualmente assorbita a mano a mano che quelle penetrano nell'aria subendo urti molteplici. Lo stesso fenomeno che può essere osservato negli esperimenti d'urto della fisica delle alte energie si verifica quindi continuamente nell'atmosfera terrestre in maniera spontanea ma con maggiore intensità: un flusso incessante di energia che passa attraverso una grande varietà di configurazioni di particelle in una danza ritmica di creazione e distruzione. Nella figura è



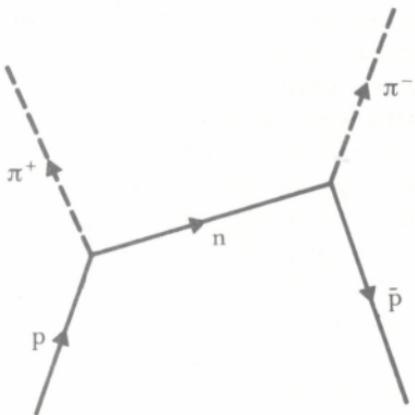
Sciame di circa 100 particelle prodotto da un raggio cosmico entrato casualmente in una camera a bolle. Le tracce quasi orizzontali visibili nella fotografia appartengono alle particelle che provengono dall'acceleratore.

riprodotta una magnifica immagine di questa danza di energia, ottenuta casualmente durante un esperimento al centro di ricerca europeo del CERN quando un inatteso sciame di raggi cosmici colpì la camera a bolle.

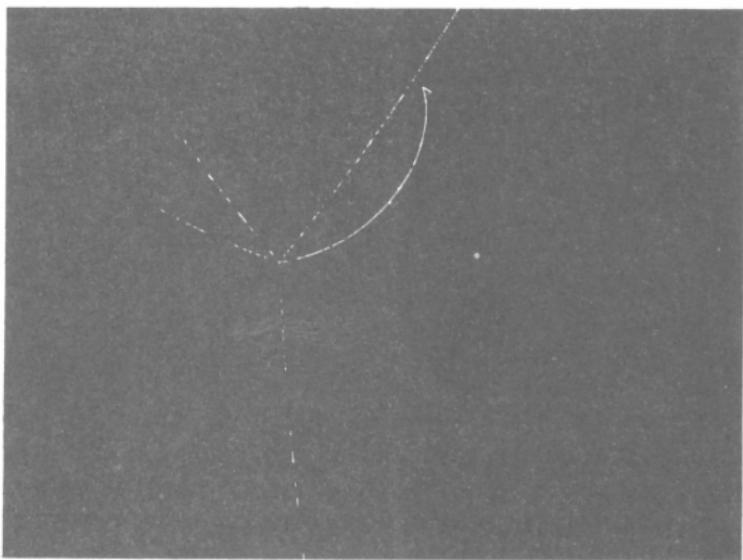
I processi di creazione e distruzione che avvengono nel mondo delle particelle non si limitano a quelli che possono essere visualizzati nelle fotografie delle camere a bolle. Essi comprendono anche la creazione e la distruzione di particelle virtuali che vengono scambiate nelle interazioni tra le particelle e non vivono abbastanza a lungo per poter essere osservate. Consideriamo, ad esempio, la creazione di due pioni in un urto tra un protone e un antiproton. Il diagramma spazio-tempo di questo evento apparirebbe come quello qui riportato (ricordate che in questi diagrammi la direzione del tempo è dal basso verso l'alto):

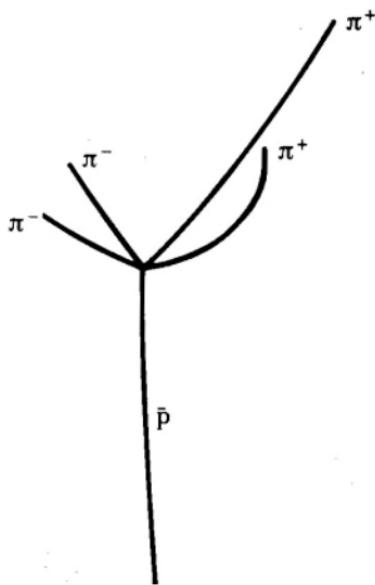


Esso mostra le linee di universo del protone (p) e dell'antiproton (\bar{p}) che collidono in un punto nello spazio e nel tempo, annichilandosi l'un l'altro e creando due pioni (π^+ e π^-). Questo diagramma, tuttavia non fornisce il quadro completo del fenomeno. L'interazione tra il protone e l'antiproton può essere rappresentata come scambio di un neutrone virtuale, come mostra il diagramma alla pagina seguente.

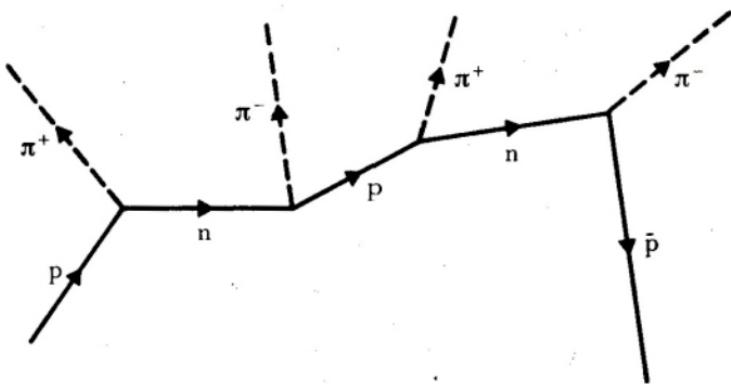


Analogamente, il processo illustrato nella fotografia seguente, nel quale in un urto protone-antiproton sono creati quattro pioni, può essere rappresentato come un processo di scambio più complicato che comporta la creazione e la distruzione di tre particelle virtuali, due neutroni e un protone.



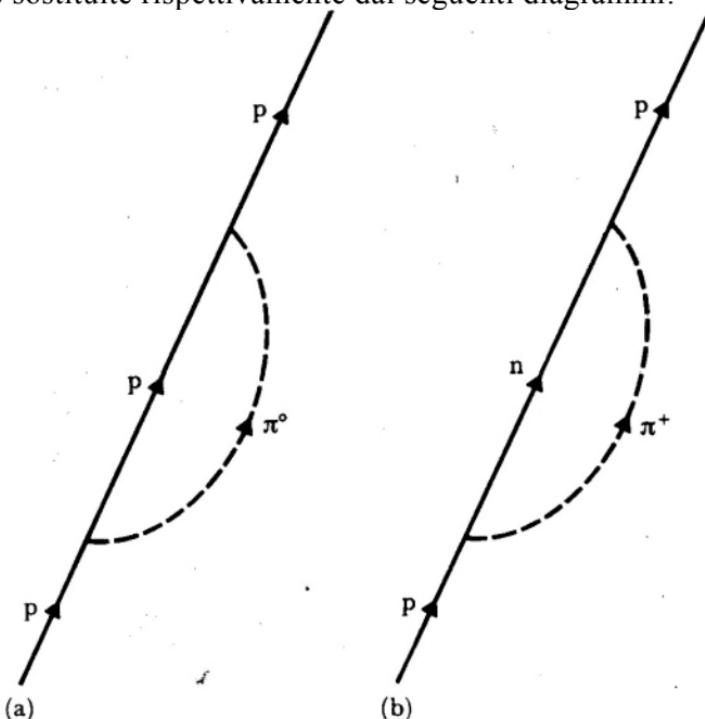


Il corrispondente diagramma di Feynman si presenta come segue:¹



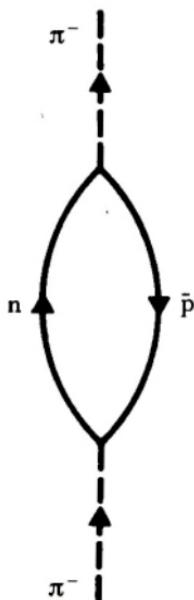
1. Questi diagrammi sono semplici schemi e non danno gli angoli precisi delle linee di universo delle particelle. Si noti pure che il protone iniziale che sta fermo nella camera a bolle non appare nella fotografia, ma ha una linea di universo nel diagramma spazio-tempo, perché si muove nel tempo.

Questi esempi illustrano come le linee nelle fotografie ottenute con la camera a bolle diano solo un'immagine grossolana delle interazioni fra particelle. I processi reali comportano scambi di particelle secondo schemi molto più complicati. La situazione risulta, in effetti, infinitamente più complessa se teniamo presente che ognuna delle particelle che intervengono nelle interazioni emette e riassorbe incessantemente particelle virtuali. Un protone, per esempio, emetterà e riassorbirà di quando in quando un pione neutro; in altri momenti, esso può emettere un π^+ trasformandosi in un neutrone, che poco dopo assorbirà il π^+ ritrasformandosi in protone. Nei diagrammi di Feynman, le linee dei protoni dovranno essere sostituite rispettivamente dai seguenti diagrammi:



Diagrammi di Feynman che rappresentano un protone che emette e riassorbe pioni virtuali.

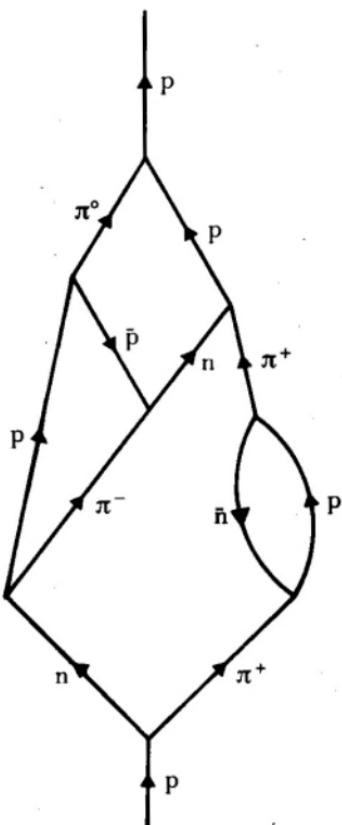
In questi processi virtuali, la particella iniziale può scomparire completamente per un certo tempo, come nel diagramma (b). Un pione negativo, per fare un altro esempio, può creare un neutrone (n) più un antiproton (\bar{p}), che poi si annichilano l'un altro per ristabilire il pion originale:



Creazione di una coppia virtuale neutrone-antiproton.

È importante rendersi conto che tutti questi processi seguono le leggi della meccanica quantistica, e quindi sono tenderize, ovvero probabilità, piuttosto che realtà effettive. Ogni protone esiste potenzialmente, cioè con una certa probabilità, sotto forma di protone più n^0 , oppure di neutrone più n^+ , o in molti altri modi. Gli esempi mostrati sopra sono solo i processi virtuali più semplici. Configurazioni molto più complicate si formano quando le particelle virtuali creano altre particelle virtuali, generando in tal modo un'intera rete di inter-

razioni virtuali.¹ Nel suo libro, *The World of Elementary Particles*, Kenneth Ford ha costruito un complicato esempio di una rete del genere, che comporta la creazione e la distruzione di undici particelle virtuali, cui fa seguire il seguente commento: « [Il diagramma] illustra una di queste sequenze di eventi, dall'aspetto veramente impressionante, ma perfettamente reale. Ogni protone



Una rete di interazioni virtuali, tratto da Ford.

1. Si deve notare che le possibilità non sono completamente arbitrarie, ma sono limitate da diverse leggi generali che saranno esaminate nel prossimo capitolo.

di quando in quando esegue proprio questa danza di creazione e distruzione ».

Ford non è l'unico fisico che abbia usato espressioni come « danza di creazione e distruzione » e « danza di energia ». L'idea di ritmo e di danza viene spontanea alla mente quando si cerca di immaginare il flusso di energia che si trasmette attraverso le configurazioni che costituiscono il mondo delle particelle. La fisica moderna ci ha mostrato che movimento e ritmo sono proprietà essenziali della materia; che tutta la materia, sia qui sulla Terra sia nello spazio esterno, è coinvolta in una continua danza cosmica.

I mistici orientali hanno una visione dinamica dell'universo simile a quella della fisica moderna, e di conseguenza non sorprende che anch'essi abbiano usato l'immagine della danza per comunicare la loro intuizione della natura. Un bell'esempio di quest'immagine di ritmo e danza è fornito da Alexandra David-Neel nel suo libro *Tibetan Journey*, in cui descrive l'incontro con un Lama il quale alludendo a se stesso come a un « maestro del suono » le descrive con le seguenti parole la sua concezione della materia:

« Tutte le cose... sono aggregati di atomi che danzano e con i loro movimenti producono suoni. Quando il ritmo della danza cambia, cambia anche il suono prodotto... Ciascun atomo canta perennemente la sua canzone, e il suono, in ogni istante, crea forme dense e tenui ».²

La somiglianza tra questa concezione e quella della fisica moderna risulta particolarmente impressionante se teniamo presente che ogni suono è un'onda con una determinata frequenza che cambia al variare del suono stesso, e che le particelle, l'equivalente moderno del

1. K.W. Ford, *The World of Elementary Particles*, Blaisdell, New York 1965, p. 209 [trad. it. *Il mondo delle particelle elementari*, Mondadori, Milano 1975⁴, p. 219].

2. A. David-Neel, *Tibetan Journey*, John Lane, London 1936, pp. 186-187.

vecchio concetto di atomi, sono anche onde con frequenze proporzionali alle loro energie. Secondo la teoria dei campi, è proprio vero che ciascuna particella « canta perennemente la sua canzone », producendo configurazioni ritmiche di energia (le particelle virtuali) in « forme dense e tenui ».

La metafora della danza cosmica ha trovato nell'Induismo la più profonda e splendida espressione nell'immagine del dio Siva che danza. Tra le sue numerose incarnazioni, Siva, una delle divinità indiane più antiche e popolari,¹ appare come il re dei danzatori. Secondo la dottrina indù, tutta la vita è parte di un grande processo ritmico di creazione e distruzione, di morte e rinascita, e la danza di Siva simboleggia questo ritmo eterno di vita e morte che continua in cicli infiniti. Come dice Ananda Coomaraswamy:

« Nella notte di *Brahman*, la Natura è inerte e non può danzare fino a che Siva non vuole: Egli si risveglia dall'estasi, e danzando trasmette alla materia inerte onde pulsanti di suono che la risvegliano; ed ecco! anche la materia danza, e forma come un'aureola che ruota attorno a Lui. Danzando, Egli permette il dispiegarsi dei multiformi fenomeni della materia. Quando il tempo è compiuto, ancora danzando, Egli distrugge tutte le forme e i nomi col fuoco e riporta una nuova pace. Questa è poesia, e tuttavia anche scienza ».²

La danza di Siva simboleggia non solo i cicli cosmici di creazione e distruzione, ma anche il ritmo quotidiano di nascita e morte che nel misticismo indiano è considerato la base di tutta l'esistenza. Al tempo stesso, Siva ci ricorda che le molteplici forme del mondo sono *māyā* — non fondamentali, ma illusorie e sempre mutevoli — creandole e dissolvendole nel flusso incessante della sua danza. Così è stata descritta da Heinrich Zimmer:

1. Si veda p. 107.

2. A.K. Coomaraswamy, *The Dance of Shiva*, The Noonday Press, New York 1969, p. 78.

« I suoi gesti sfrenati e pieni di grazia evidenziano l'illusione cosmica; l'aleggiare delle sue braccia e delle sue gambe e l'ondeggiare del suo tronco producono – anzi, *sono* – la continua creazione-distruzione dell'universo, dove la morte è in perfetto equilibrio con la nascita, l'annichilamento è l'esito di ogni venire in essere ».¹

Gli artisti indiani del decimo e del dodicesimo secolo hanno rappresentato la danza cosmica di Śiva in magnifiche sculture in bronzo di figure umane danzanti, con quattro braccia, i cui gesti, stupendamente equilibrati e tuttavia dinamici, esprimono il ritmo e l'unità della Vita. I vari significati della danza sono espressi dai particolari di queste figure in una complessa e vivida allegoria. La mano destra superiore della divinità tiene un tamburo per simboleggiare il suono primordiale della creazione, la mano sinistra superiore regge una fiamma, l'elemento della distruzione. L'equilibrio delle due mani rappresenta l'equilibrio dinamico di creazione e distruzione nel mondo, reso ancora più evidente dalla calma e dalla serenità del volto del Danzatore, al centro tra le due mani, in cui la polarità di creazione e distruzione è dissolta e trascesa. La seconda mano destra è alzata nel segno del « non temere >>, e simboleggia la conservazione, la protezione e la pace, mentre l'altra mano sinistra è rivolta in basso verso il piede sollevato che simboleggia la liberazione dall'incantesimo della *māyā*. Il dio è rappresentato mentre danza sul corpo di un demone, il simbolo dell'ignoranza umana che dev'essere sconfitta prima che si possa raggiungere la liberazione.

La danza di Siva – per usare le parole di Coomaraswamy – è « l'immagine più chiara dell'attività di Dio di cui qualsiasi arte o religione possa vantarsi ».² Poiché il dio in questione è una personificazione del *Brahman*, la

1. H. Zimmer, *Myths and Symbols in Indian Art and Civilisation*, Prince-ton University Press, Princeton, N. J. 1972, p. 155.
 2. A.K. Coomaraswamy, *op. cit.*, p. 67.



Śiva Natarāja, bronzo di ambiente brahmanico, India del Sud, XI secolo.

sua attività è quella delle miriadi di manifestazioni del *Brahman* nel mondo. La danza di Siva è *la danza dell'universo*: il flusso incessante di energia che attraversa una infinita varietà di configurazioni che si fondono l'una nell'altra.

La fisica moderna ha mostrato che il ritmo di creazione e distruzione si manifesta non solo nell'avvicendarsi delle stagioni e nella nascita e morte di tutte le creature viventi, ma costituisce anche l'essenza stessa della materia inorganica. Secondo la teoria dei campi, tutte le interazioni tra i costituenti della materia avvengono mediante l'emissione e l'assorbimento di particelle virtuali. Per di più, la danza di creazione e distruzione è la base dell'esistenza stessa della materia, poiché tutte le particelle materiali « autointeragiscono » emettendo e riassorbendo particelle virtuali. La fisica moderna ha quindi rivelato che ogni particella subatomica non solo compie una danza di energia, ma è anche una danza di energia, un processo pulsante di creazione e distruzione.

Le forme di questa danza sono un aspetto essenziale della natura di ogni particella e determinano molte delle sue proprietà. Per esempio, l'energia che interviene nell'emissione e nell'assorbimento delle particelle virtuali è equivalente a una certa quantità di massa che contribuisce a costituire la massa della particella che autointeragisce. Nella loro danza, particelle differenti disegnano forme differenti, che richiedono differenti quantità di energia, e quindi hanno masse differenti. Le particelle virtuali, infine, non solo costituiscono una parte essenziale di tutte le interazioni tra le particelle e della maggior parte delle loro proprietà, ma sono anche create e distrutte a partire dal vuoto. Perciò, non solo la materia ma anche il vuoto partecipa alla danza cosmica, creando e distruggendo senza fine configurazioni di energia.

Per i fisici moderni, quindi, la danza di Siva è la danza della materia subatomica. Come nella mitologia indù, essa è una danza incessante di creazione e distruzione che coinvolge l'intero cosmo; è la base di tutta l'esistenza e di tutti i fenomeni naturali. Centinaia di anni or sono, gli artisti indiani crearono immagini visive della danza di Siva in una meravigliosa serie di sculture in bronzo. Ai giorni nostri, i fisici hanno usato la tecnologia più avanzata per ritrarre le forme della danza cosmica. Le fotografie delle particelle interagenti ottenute con la

camera a bolle, che testimoniano il continuo ritmo di creazione e distruzione dell'universo, sono immagini visive della danza di Śiva che eguagliano quelle degli artisti indiani in bellezza e in profondità di significato. La metafora della danza cosmica unifica quindi l'antica mitologia, l'arte religiosa, e la fisica moderna. Come ha detto Coomaraswamy, è veramente « poesia e tuttavia anche scienza ».

SIMMETRIE DI QUARK: UN NUOVO KOAN?

Il mondo subatomico è un mondo di ritmo, movimento e mutamento continuo. Esso non è, tuttavia, arbitrario e caotico, ma segue schemi chiari e ben definiti. Per prima cosa, tutte le particelle di un dato tipo sono completamente identiche: hanno massa, carica elettrica e altre proprietà caratteristiche esattamente uguali. Inoltre, tutte le particelle caricate possiedono cariche elettriche perfettamente uguali (od opposte) a quella dell'elettrone, oppure cariche doppie rispetto ad essa. La stessa cosa vale per altre quantità che sono attributi caratteristici delle particelle: i valori che possono assumere non sono arbitrari ma limitati a un numero ristretto, che ci permette di ordinare le particelle in pochi gruppi distinti, o « famiglie ». Questo fatto fa sorgere la domanda di come questi schemi definiti abbiano origine nel mondo dinamico e sempre mutevole delle particelle.

L'emergere di schemi strutturali ben individuabili nella materia non è un fenomeno nuovo, ma fu già osservato nel mondo degli atomi. Come le particelle subatomiche, gli atomi di un dato tipo sono completamente identici, e i differenti tipi di atomi dei vari elementi chimici sono stati ordinati in un certo numero di

gruppi nella tavola periodica. Oggi le ragioni di queste classificazioni sono chiare: essa si basa sul numero di protoni e di neutroni presenti nei nuclei atomici e sulla distribuzione degli elettroni in orbite sferiche, o le cosiddette *shells*, attorno ai nuclei. Come è stato spiegato precedentemente,¹ la natura ondulatoria degli elettroni limita la distanza che può esserci fra un'orbita l'altra e il momento angolare che un elettrone può avere in una data orbita a pochi valori ben definiti che corrispondono a specifiche forme delle onde elettroniche. Di conseguenza, nella struttura atomica si manifestano schemi definiti caratterizzati da un insieme di « numeri quantici » interi che riflettono le forme d'onda degli elettroni che nelle orbite atomiche. Queste forme d'onda determinano gli « stati quantici » di un atomo e assicurano che due atomi qualsiasi risultino completamente identici quando sono entrambi nel loro « stato fondamentale » o nello stesso « stato eccitato ».

Nel mondo subatomico, gli schemi seguiti dalle particelle presentano grandi somiglianze con quelli del mondo degli atomi. La maggior parte delle particelle, per esempio, ruota attorno a un asse come una trottola.

Ilori spin sono limitati a valori definiti, multipli interi di una unità di base. Così i barioni possono avere solo spin $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$, ecc., mentre i mesoni hanno spin 0, 1, 2, ecc. Ciò ricorda molto da vicino i momenti angolari degli elettroni nelle loro orbite atomiche, anche essi limitati a valori specificati da numeri interi.

L'analogia con gli schemi seguiti dagli atomi è ulteriormente rafforzata dal fatto che tutte le particelle interagiscono forte, o adroni, sembrano rientrare in se stesse i cui elementi hanno proprietà identiche tranne che per le masse e gli spin. I termini superiori di questi sequenze sono particelle con vita media estremamente breve, chiamate « risonanze », che sono state scoperte in gran numero nell'ultimo decennio. Le masse e gli spin

1. Si veda p. 83.

delle risonanze crescono in maniera ben determinata entro ciascuna sequenza, che sembra estendersi indefinitamente. Queste regolarità suggeriscono una analogia con gli stati eccitati degli atomi e hanno portato i fisici a interpretare i termini superiori di una sequenza di adroni non come particelle differenti, ma semplicemente come stati eccitati della particella di massa minore. Come un atomo, un adrone può quindi esistere in vari stati eccitati di vita molto breve che comportano quantità maggiori di spin e di energia (o massa).

Le somiglianze tra gli stati quantici di atomi e adroni suggeriscono che anche gli adroni sono oggetti composti con struttura interna suscettibile di essere « eccitata », cioè in grado di assorbire energia per assumere una grande varietà di configurazioni. Attualmente, tuttavia, non sappiamo come si formano queste configurazioni. Nella fisica atomica, esse possono venire spiegate in termini di proprietà e di interazioni reciproche dei costituenti degli atomi (protoni, neutroni ed elettroni), ma finora nella fisica delle particelle non è stato possibile dare una spiegazione di questo tipo. Le configurazioni trovate nel mondo delle particelle sono state determinate e classificate in modo puramente empirico e non possono ancora essere dedotte dalla struttura dettagliata delle particelle.

La difficoltà fondamentale che i fisici delle particelle devono affrontare è dovuta al fatto che la nozione classica di « oggetti » composti, formati da un determinato insieme di « parti costituenti », non può essere applicata alle particelle subatomiche. Il solo modo di scoprire quali sono i « costituenti » di queste particelle consiste nel frantumarle facendole collidere violentemente tra loro, in processi d'urto ad alte energie. Tuttavia, quando ciò viene fatto, i frammenti che si ottengono non sono mai « pezzi più piccoli » delle particelle originali. Due protoni, per esempio, possono frantumarsi in una grande varietà di frammenti quando collidono ad alta velocità, ma tra questi non si troveranno mai « frazioni di un protone ». I frammenti saranno sempre adroni interi,

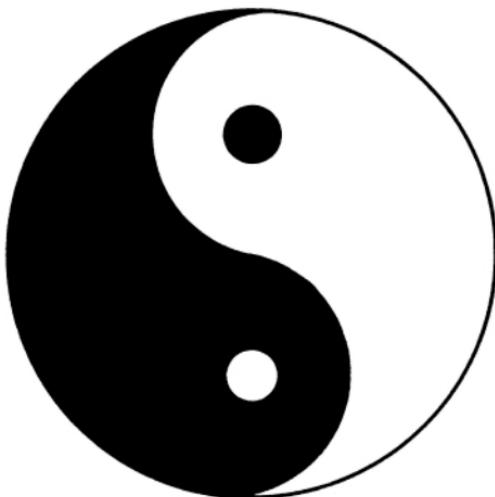
generati dalle energie cinetiche e dalle masse dei protoni che si urtano. La scomposizione di una particella nei suoi « costituenti » è quindi ben lontana dall'essere definita, in quanto dipende dalla quantità di energia che prende parte al processo di urto. Qui abbiamo a che fare con una situazione tipicamente relativistica nella quale le configurazioni dinamiche di energia si dissolvono e si ricostituiscono e i concetti statici di oggetti composti e di parti costituenti non possono essere applicati a queste configurazioni. La « struttura » di una particella subatomica può essere compresa solo in senso dinamico, in termini di processi e di interazioni.

Il modo in cui le particelle si frantumano nei processi d'urto è determinato da certe regole, e poiché i frammenti sono ancora particelle del medesimo tipo, queste regole possono essere usate anche per descrivere le regolarità che si osservano nel mondo delle particelle. Negli anni Sessanta, quando vennero scoperte gran parte delle particelle oggi note e tra esse cominciarono a delinearsi le prime « famiglie », la maggior parte dei fisici, invece di affrontare l'arduo problema di individuare le cause dinamiche delle configurazioni delle particelle, concentrò i propri sforzi – come era del tutto naturale – nel tentativo di tracciare una mappa delle regolarità che stavano emergendo; e questa scelta fu coronata da un notevole successo.

La nozione di simmetria aveva una funzione importante in questa ricerca. Generalizzando il comune concetto di simmetria e dando ad esso un significato più astratto, i fisici furono in grado di trasformarlo in un potente strumento che si dimostrò estremamente utile per la classificazione delle particelle. Nella vita quotidiana, il caso più comune di simmetria è associato alla riflessione in uno specchio; si dice che una figura è simmetrica quando è possibile tracciare una linea che la attraversi in modo tale da dividerla in due parti che sono l'una l'immagine speculare dell'altra. Alcune figure, come il simbolo buddhista qui riportato, presentano un grado superiore di simmetria, in quanto consentono di



tracciare più di una linea rispetto alla quale la figura è simmetrica. La riflessione, tuttavia, non è la sola operazione associata alla simmetria. Si dice anche che una figura è simmetrica se ha lo stesso aspetto dopo essere stata ruotata di un certo angolo. La forma dello schema cinese *yin gang*, per esempio, è basata su una simmetria rotazionale di questo tipo.



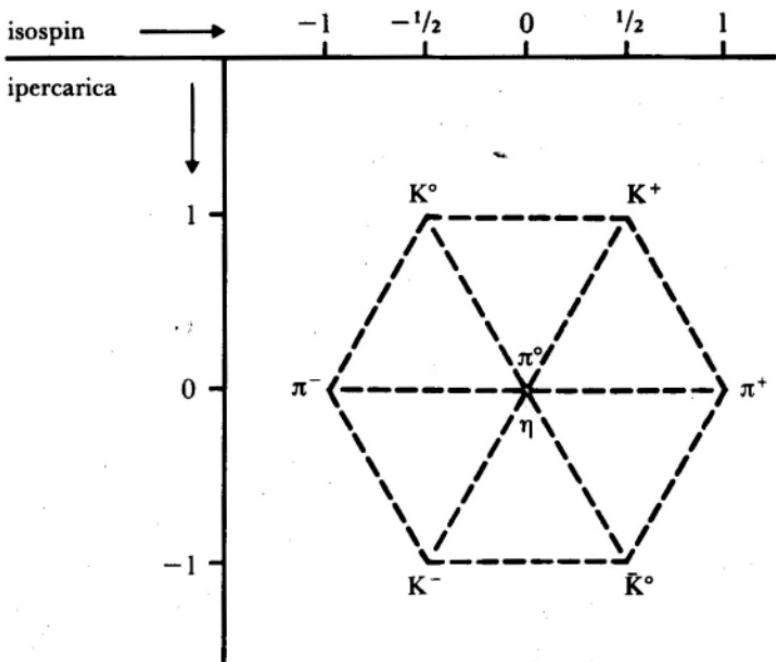
Nella fisica delle particelle, le simmetrie sono associate, oltre che alle riflessioni e alle rotazioni, a molte altre operazioni, le quali inoltre possono effettuarsi non solo nello spazio (e nel tempo) ordinario, ma anche in spazi matematici astratti. Esse vengono applicate alle particelle, o a gruppi di particelle; e poiché le proprietà di queste sono inscindibilmente legate alle loro reciproche interazioni, le simmetrie si applicano anche alle interazioni, cioè ai processi in cui le particelle sono coinvolte. La ragione per la quale queste operazioni di simmetria sono così utili sta nel fatto che esse sono in stretta relazione con le « leggi di conservazione ». Ogni volta che nel mondo delle particelle un processo manifesta una certa simmetria, esiste una quantità misurabile che è « conservata », cioè una quantità che rimane costante durante il processo. Queste quantità forniscono elementi invarianti nella complessa danza della materia subatomica e sono quindi ideali per descrivere le interazioni tra le particelle. Talune quantità sono conservate in tutte le interazioni, altre solo in alcune di esse, cosicché ciascun processo è associato a un insieme di quantità che si conservano. Quindi, le simmetrie nelle proprietà delle particelle appaiono come leggi di conservazione nelle loro interazioni. I fisici usano i due concetti in modo intercambiabile, riferendosi talvolta alla simmetria di un processo, talaltra alla corrispondente legge di conservazione, a seconda di quale concetto è più conveniente nel particolare caso in esame.

Esistono quattro leggi fondamentali di conservazione che sembrano valere in tutti i processi, tre delle quali sono connesse a semplici operazioni di simmetria nello spazio e nel tempo ordinari. Tutte le interazioni tra particelle sono simmetriche rispetto allo spostamento nello spazio, cioè risulteranno esattamente le stesse sia che si verifichino a Londra o a New York. Sono anche simmetriche rispetto allo spostamento nel tempo, il che significa che esse avverranno nello stesso modo di lunedì o di mercoledì. La prima di queste simmetrie è connessa alla conservazione della quantità di moto, la

seconda alla conservazione dell'energia. Ciò vuoi dire che la quantità di moto totale di tutte le particelle che prendono parte a una interazione, e la loro energia totale (nella quale sono comprese tutte le loro masse), saranno esattamente le stesse prima e dopo l'interazione. La terza simmetria fondamentale riguarda l'orientazione nello spazio. In un processo d'urto, per esempio, non deve esserci alcuna differenza se le particelle che si urtano si avvicinano tra loro lungo un asse orientato da nord a sud o da est a ovest. Come conseguenza di questa simmetria, il momento angolare complessivo che interviene in un processo (che comprende gli spin delle singole particelle) è sempre conservato. Infine, vale la conservazione della carica elettrica. Essa è connessa a una più complicata operazione di simmetria, ma nella sua formulazione come legge di conservazione è molto semplice: la carica totale posseduta da tutte le particelle che prendono parte a una interazione rimane costante.

Vi sono molte altre leggi di conservazione che corrispondono a operazioni di simmetria in spazi matematici astratti, analogamente a quella connessa con la conservazione della carica. Per quanto ne sappiamo, qualcuna vale per tutte le interazioni, mentre altre valgono solo per alcune di esse (ad esempio per le interazioni forti ed elettromagnetiche, ma non per le interazioni deboli). Le quantità conservative in ciascuna di queste leggi possono essere viste come « cariche astratte » trasportate dalle particelle. Poiché assumono sempre valori interi ($\pm 1, \pm 2$, ecc.), o valori « seminteri » ($\pm 1/2, \pm 3/2, \pm 5/2$ ecc.), queste cariche vengono chiamate numeri quantici, in analogia con i numeri quantici della fisica atomica. Ogni particella, quindi, è caratterizzata da un insieme di numeri quantici che, insieme alla massa, ne specifica completamente le proprietà.

Gli adroni, per esempio, posseggono valori definiti di « isospin » e di « ipercarica », due numeri quantici che sono conservati in tutte le interazioni forti. Se si ordinano gli otto mesoni elencati nella tabella del precedente capitolo secondo i valori di questi due numeri quantici,

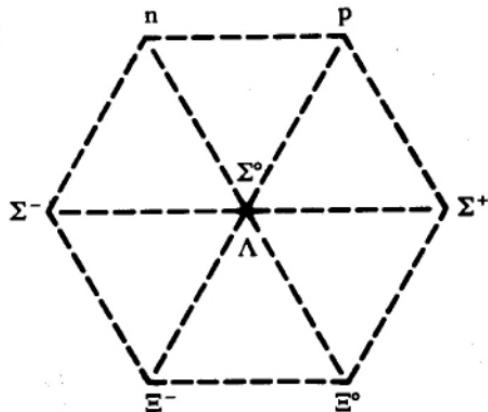


L'ottetto dei mesoni.

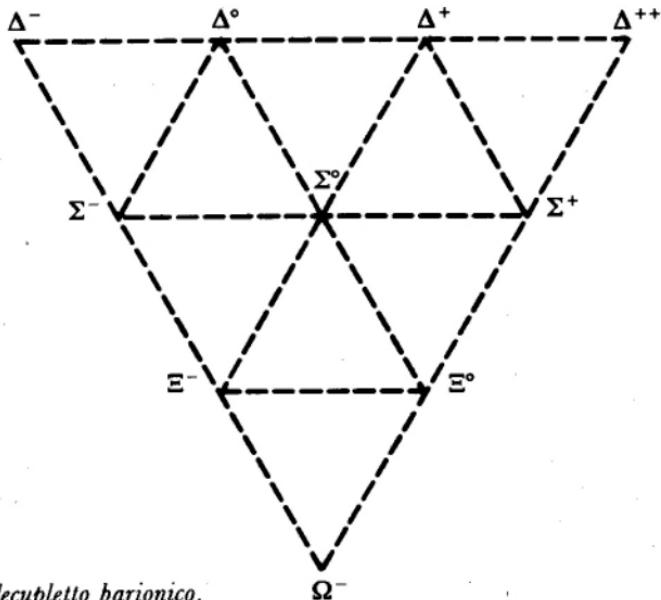
si osserva che essi si dispongono in una figura esagonale nota come l'« ottetto dei mesoni ». Questa disposizione presenta un grado notevole di simmetria; per esempio, le particelle e le antiparticelle occupano posizioni opposte nell'esagono, mentre le due particelle nel centro coincidono con le proprie antiparticelle. Gli otto barioni più leggeri formano una figura esattamente uguale che chiamata «l'ottetto barionico ». In questo caso, tuttavia, le antiparticelle non sono contenute nell'ottetto, ma formano un identico « anti-ottetto ». Il barione restante della nostra tabella delle particelle, la particella omega, appartiene, insieme a nove risonanze, a una figura differente chiamata il « decupletto barionico ». Tutte le particelle di un dato schema di simmetria hanno gli stessi numeri quantici, tranne per l'isospin e l'ipercarica che ne determinano il posto nella figura. Per esempio, tutti i

mesoni nell'ottetto hanno spin zero, i barioni nell'ottetto hanno spin 1/2, e quelli nel decupletto hanno spin 3/2.

I numeri quantici, quindi, sono usati per ordinare le particelle in famiglie che formano precise figure simme-



L'ottetto barionico.



Il decupletto barionico.

triche, per specificarne le singole posizioni entro ciascuna figura, e nello stesso tempo per classificare le varie interazioni tra le particelle secondo le loro specifiche leggi di conservazione. I due concetti connessi di simmetria e di conservazione si dimostrano quindi estremamente utili per esprimere le regolarità del mondo delle particelle.

E un fatto sorprendente che la maggior parte di queste regolarità possa essere rappresentata in modo molto semplice qualora si faccia l'ipotesi che tutti gli adroni siano costituiti da un piccolo numero di entità elementari che finora hanno eluso l'osservazione diretta. Queste entità hanno ricevuto il fantasioso nome di « quark » da Murray Gell-Mann il quale, quando ne postulò l'esistenza, rinviò i suoi colleghi fisici all'espressione del *Finnegan's Wake* di James Joyce, « *Three quarks for Muster Mark* ». Gell-Mann riuscì a spiegare un gran numero di schemi di simmetria nei quali si possono ordinare gli adroni, quali gli ottetti e il decupletto analizzati prima, assegnando opportuni numeri quantici a questi tre quark e ai loro antiquark, e mettendo quindi insieme questi « mattoni elementari » in varie combinazioni per formare barioni e mesoni i cui numeri quantici fossero ottenuti semplicemente sommando quelli dei quark loro costituenti. In questo senso, si può dire che i barioni

sono composti » da tre quark, le loro antiparticelle dai corrispondenti antiquark, e i mesoni da un quark più un antiquark.

La semplicità e l'efficienza di questo modello è sorprendente, ma porta a gravi difficoltà se i quark vengono considerati sul serio come effettivi costituenti fisici degli adroni. Finora, nessun adrone è mai stato frantumato nei quark da cui sarebbe costituito, nonostante li si bombardi con le più alte energie disponibili, e ciò significa che i quark dovrebbero essere tenuti insieme da forze di legame estremamente intense. In base alla nostra attuale conoscenza delle particelle e delle loro interazioni, queste forze potrebbero manifestarsi solo attraverso lo scambio di altre particelle, e di conseguenza

anche queste altre particelle dovrebbero essere presenti entro ciascun adrone. Se così fosse, tuttavia, esse contribuirebbero anche alle proprietà degli adroni e quindi distruggerebbero il semplice schema additivo del modello a quark.

In altre parole, se i quark sono tenuti insieme da intense forze di interazione, queste devono coinvolgere altre particelle e i quark devono conseguentemente presentare qualche tipo di « struttura » proprio come tutte le altre particelle a interazione forte. Per il modello a quark, tuttavia, è essenziale avere quark puntiformi e privi di struttura. A causa di questa difficoltà fondamentale, finora non è stato possibile formulare questo modello in un modo dinamico coerente che renda conto sia delle simmetrie sia delle forze di legame.

Dal punto di vista sperimentale, nell'ultimo decennio si è svolta una intensa ma sinora infruttuosa « caccia al quark ». Se esistessero allo stato libero, i quark dovrebbero essere davvero appariscenti, poiché il modello di Gell-Mann richiede che essi posseggano alcune proprietà molto insolite, che non compaiono in alcun altro caso nel mondo delle particelle: ad esempio, una carica elettrica frazionaria pari a $\frac{1}{3}$ e $\frac{2}{3}$ di quella dell'elettrone. Sinora, nonostante la più intensa ricerca, non è stata osservata nessuna particella con queste proprietà. Questo persistente insuccesso nel rivelarli sperimentalmente, in aggiunta alle serie obiezioni teoriche sulla loro esistenza, ha reso estremamente dubbia la realtà dei quark.

D'altra parte, il modello a quark continua ad essere molto utile per spiegare le regolarità trovate nel mondo delle particelle, sebbene non sia più usato nella sua semplice forma iniziale. Nel modello originario di Gell-Mann, tutti gli adroni potevano essere costruiti a partire da tre tipi di quark e dai loro antiquark, ma nel frattempo i fisici hanno dovuto postulare l'esistenza di ulteriori quark per render conto della grande varietà di configurazioni adroniche. Recentemente, Gell-Mann ha proposto che ogni quark possa apparire in tre diverse varietà,

che ha chiamato – molto appropriatamente durante una conferenza tenuta a Parigi – « quark rossi, bianchi e blu ». Ciò fece salire a nove il numero totale di quark, e da allora ne è stata postulata l'esistenza di altri tre,¹ che hanno permesso a uno degli oratori in un recente congresso di fisica di riferirsi ad essi scherzosamente come ai « dodici quark osservati ».

Il gran numero di regolarità che possono essere descritte con successo mediante questi dodici quark è veramente impressionante. Non può esserci alcun dubbio che gli adroni presentano delle « simmetrie di quark », anche se la nostra attuale conoscenza delle particelle e delle interazioni esclude l'esistenza di quark fisici. Al momento in cui questo viene scritto, nell'estate del 1974, i paradossi relativi al modello a quark sono diventati ancora più evidenti.* Una gran quantità di dati sperimentali conferma tale modello, altri lo contraddicono violentemente. Nessuno ha mai osservato un quark e secondo le nostre idee di fondo sulle interazioni delle particelle essi non possono esistere. Tuttavia, gli adroni molto spesso si comportano esattamente come se fossero composti da costituenti elementari puntiformi. La situazione ricorda molto da vicino i primi tempi della fisica atomica, quando paradossi altrettanto sorprendenti fecero compiere ai fisici un progresso fondamentale nella loro conoscenza degli atomi. L'enigma che avvolge i quark ha tutte le caratteristiche di un nuovo *koan* che, a sua volta, potrebbe far compiere un decisivo passo

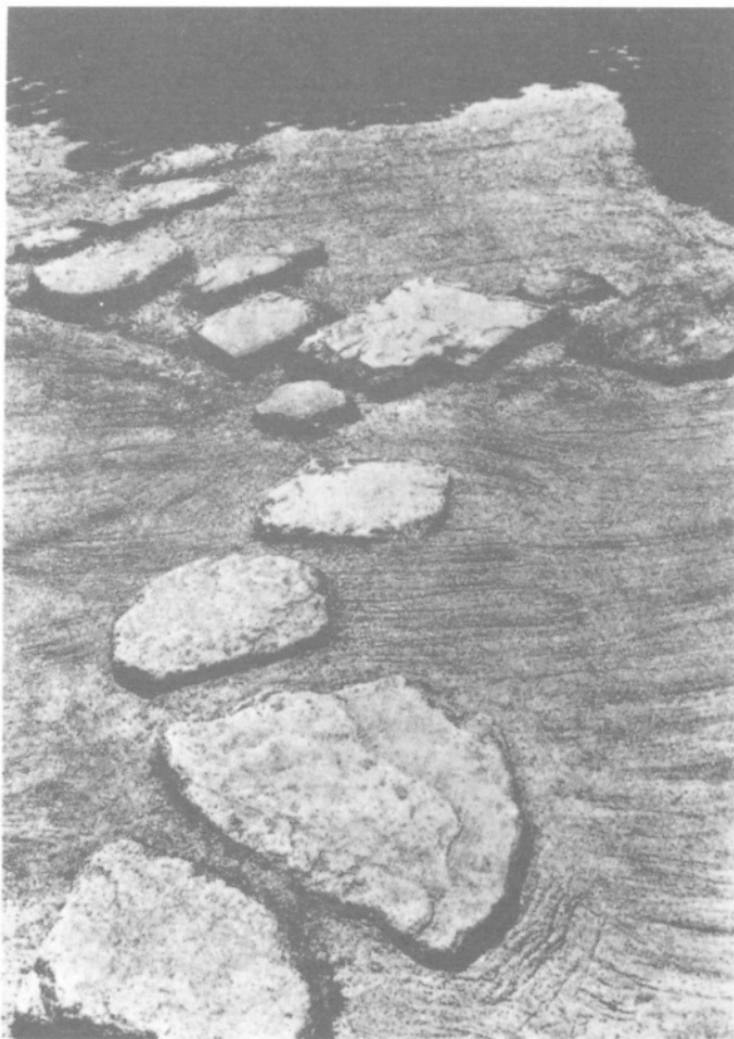
1. Il quarto tripletto di quark implica l'esistenza di un nuovo tipo di adroni. Le « particelle psi » recentemente scoperte potrebbero rientrare in questa categoria.

* Negli anni intercorsi dalla stesura del libro si sono intensificate sia la caccia ai quark che l'astuzia delle teorie a essi relative. Ciononostante l'evidenza sperimentale di cariche frazionarie libere è tuttora molto discutibile mentre la non osservabilità del quark libero è stata interpretata teoricamente con la nozione di « confinamento » secondo la quale la forma delle interazioni tra quark impedirebbe loro di allontanarsi l'uno dall'altro a distanze maggiori del raggio del protone [N.d.T.].

avanti nella conoscenza delle particelle subatomiche.

La scoperta di schemi di simmetria nel mondo delle particelle ha portato molti fisici a credere che essi rispecchino le leggi fondamentali della natura. Durante gli ultimi quindici anni si sono impegnate molte energie nella ricerca di una « simmetria fondamentale » di base che dovrebbe incorporare tutte le particelle note, e quindi « spiegare » la struttura della materia. Un obiettivo del genere è caratteristico di un atteggiamento filosofico che è stato ereditato dalla Grecia antica e che ha continuato a svilupparsi nel corso di molti secoli. La simmetria, insieme con la geometria, svolse una funzione importante nella scienza, nella filosofia e nell'arte dei Greci, che la identificarono con la bellezza, l'armonia e la perfezione. I Pitagorici consideravano gli schemi simmetrici di numeri come l'essenza di tutte le cose; Platone credeva che gli atomi dei quattro elementi avessero le forme di solidi regolari, e gran parte degli astronomi greci pensavano che i corpi celesti si muovessero lungo orbite circolari poiché la circonferenza era la figura geometrica con il maggior grado di simmetria.

L'atteggiamento dei filosofi orientali rispetto alla simmetria è in netto contrasto con quello degli antichi Greci. Le tradizioni mistiche nell'Estremo Oriente usano frequentemente schemi simmetrici come simboli o come strumenti di meditazione, ma il concetto di simmetria non sembra svolgere un ruolo importante nella loro filosofia. Si pensa che la simmetria, come la geometria, sia una costruzione della mente più che una proprietà della natura, e che quindi non abbia alcuna importanza fondamentale. Di conseguenza, molte forme d'arte orientale hanno una sorprendente predilezione per l'asimmetria e spesso evitano tutte le figure regolari o geometriche. I quadri della Cina o del Giappone ispirati allo Zen, spesso eseguiti nel cosiddetto stile « da un angolo », oppure le disposizioni irregolari di pietre nei giardini giapponesi illustrano chiaramente questo aspetto della cultura dell'Estremo Oriente.



Giardino di pietre del Palazzo Katsura, Kyotto, Giappone.

Sembrerebbe, quindi, che la ricerca di simmetrie fondamentali nella fisica delle particelle appartenga alla nostra eredità ellenica che è, in una certa misura, incompatibile con la visione generale del mondo che comincia da emergere dalla scienza moderna. Il grande

rilievo dato alla simmetria, tuttavia, non è l'unico aspetto della fisica delle particelle. In contrasto con la ricerca di modelli basati sulla simmetria « statica », e sempre esistita una scuola di pensiero « dinamica », che non considera le strutture di particelle come caratteristiche fondamentali della natura, ma cerca di comprenderle come una conseguenza della natura dinamica e della fondamentale interconnessione del mondo subatomico. I rimanenti due capitoli mostrano come nell'ultimo decennio questa scuola di pensiero abbia dato origine a una concezione radicalmente differente delle simmetrie e delle leggi della natura, che è in armonia con la visione del mondo della fisica moderna descritta finora e in perfetto accordo con la filosofia orientale.



Uccelli sul lago, di Liang K'ai, dinastia ,Sung meridionale.

LE CONFIGURAZIONI DEL MUTAMENTO

Spiegare le simmetrie presenti nel mondo delle particelle mediante un modello dinamico, cioè descrivendone le interazioni, è una delle più importanti sfide della fisica contemporanea. Il problema, in definitiva, è quello di tenere conto contemporaneamente della meccanica quantistica e della teoria della relatività. La struttura delle particelle sembra rispecchiare una loro « natura quantistica », poiché strutture simili si trovano nel mondo degli atomi. Nella fisica delle particelle, tuttavia, queste strutture non possono venire spiegate nel contesto della meccanica quantistica come forme d'onda, in quanto le energie coinvolte sono così elevate che è necessario applicare la teoria della relatività. Perciò, ci si deve aspettare che solo una teoria « quantistico-relativistica » delle particelle possa spiegare le simmetrie osservate.

La teoria dei campi fu il primo modello di questo tipo. Essa fornì un'ottima descrizione delle interazioni elettromagnetiche fra elettroni e fotoni, ma si dimostra molto meno adeguata alla descrizione delle interazioni tra particelle a interazione forte. A mano a mano che venivano scoperte un numero sempre maggiore di parti-

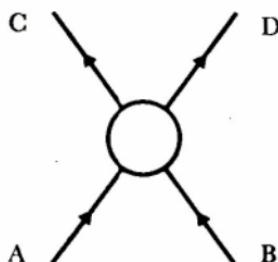
celle di questo tipo, i fisici si rendevano conto che non era affatto soddisfacente associare ciascuna di esse a un campo fondamentale, e quando il mondo delle particelle si rivelò come un tessuto di processi interconnessi sempre più complesso, essi dovettero cercare altri modelli per rappresentare questa realtà dinamica e continuamente mutevole. Ciò che occorreva era un formalismo matematico che permetesse di descrivere in maniera dinamica la grande varietà di configurazioni di adroni: il loro continuo mutarsi uno nell'altro, la loro mutua interazione attraverso lo scambio di altre particelle, la formazione di « stati legati » di due o più adroni, e il loro decadimento in varie combinazioni di particelle. Tutti questi processi, ai quali si dà spesso il nome generale di « reazioni di particelle », sono aspetti essenziali delle interazioni forti e un modello quantistico-relativistico degli adroni deve poterli spiegare.

Lo schema teorico che sembra più appropriato per la descrizione degli adroni e delle loro interazioni è chiamato « teoria della matrice S ». Il suo concetto chiave, la « matrice S », fu originariamente proposto da Heisenberg nel 1943 ed è stato sviluppato, nel corso dei due ultimi decenni, in una complessa struttura matematica che sembra essere perfettamente adatta a descrivere le interazioni forti. La matrice S è un insieme di probabilità per tutte le possibili reazioni alle quali prendono parte gli adroni. Il suo nome deriva dal fatto che si può immaginare l'intero insieme di queste possibili reazioni di adroni ordinato in una tabella infinita del tipo che i matematici chiamano una matrice. La lettera S è un ricordo del nome originario di « matrice di *scattering* »* che si riferisce ai processi d'urto, cioè di diffusione, che costituiscono la maggior parte delle reazioni tra particelle.

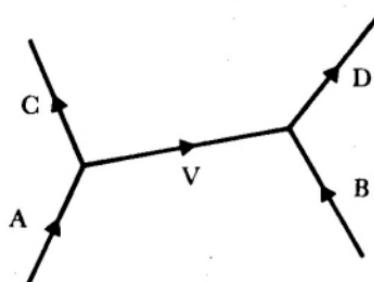
In pratica, naturalmente, non si è mai interessati all'intera gamma di processi tra adroni, ma sempre ad

* È il termine inglese per indicare il processo di diffusione che ha luogo nell'urto tra particelle [N.d.T.].

alcune reazioni specifiche. Perciò, non si ha mai a che fare con l'intera matrice S , ma solo con quelle sue parti, o « elementi >>, che si riferiscono ai processi in esame. Questi sono rappresentati simbolicamente da diagrammi come quello che illustra una delle reazioni più semplici e generali: due particelle, A e B , subiscono un urto ed emergono come due particelle differenti, C e D . Processi più complicati coinvolgono un maggior numero di particelle e sono rappresentati da diagrammi più complessi.



Si deve far notare che questi diagrammi della matrice S sono molto diversi dai diagrammi di Feynman della teoria dei campi in quanto non raffigurano il meccanismo della reazione nei suoi particolari, ma indicano soltanto le particelle iniziali e finali. Nella teoria dei campi, per esempio il processo standard $A+B \rightarrow C+D$ potrebbe essere rappresentato come lo scambio di una particella virtuale V , mentre nella teoria della ma-



trice S si disegna semplicemente un cerchio senza specificare cosa avviene dentro di esso. Inoltre i diagrammi della matrice S non sono diagrammi spazio-tempo, ma rappresentazioni simboliche più generali di reazioni tra particelle. Non si ipotizza che queste reazioni avvengano in punti definiti dello spazio e del tempo, ma vengono descritte in termini di velocità (o, più precisamente, in termini di quantità di moto) delle particelle entranti e uscenti.

Ciò significa, naturalmente, che un diagramma della matrice S contiene una quantità di informazione molto minore di un diagramma di Feynman. D'altra parte, la teoria della matrice S evita una difficoltà tipica della teoria dei campi. Gli effetti combinati della meccanica quantistica e della teoria della relatività rendono impossibile localizzare con precisione una interazione tra particelle ben definite. A causa del principio di indeterminazione, l'incertezza della velocità di una particella aumenterà tanto più quanto più nettamente la sua regione di interazione sarà localizzata¹ e di conseguenza la sua energia cinetica sarà corrispondentemente più incerta. Alla fine, questa energia diventerà grande a sufficienza perché siano create nuove particelle secondo la teoria della relatività, e allora non si può più essere certi di avere a che fare con la reazione iniziale. Perciò, in una teoria che combini entrambe le teorie, quella quantistica e quella relativistica, non è possibile specificare con precisione la posizione delle singole particelle. Se lo si fa, come nella teoria dei campi, si devono tollerare incoerenze matematiche che sono, in effetti, il problema principale in tutte le teorie quantistiche dei campi. La teoria della matrice S aggira questo problema specificando la quantità di moto delle particelle e mantenendosi sufficientemente vaga per quanto riguarda la regione in cui avviene la reazione.

1 Si veda p. 180.

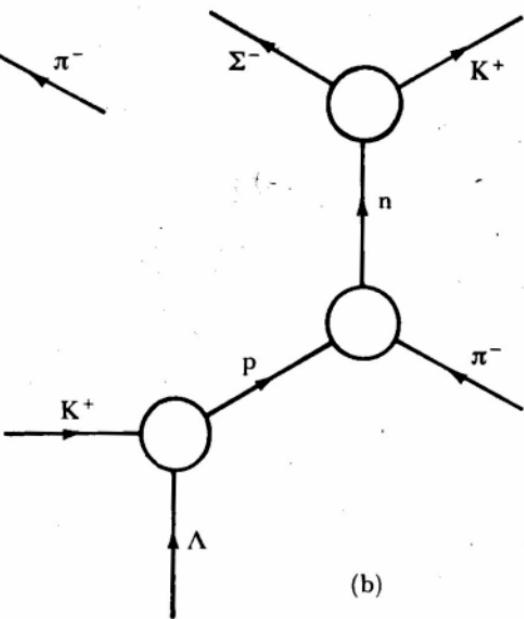
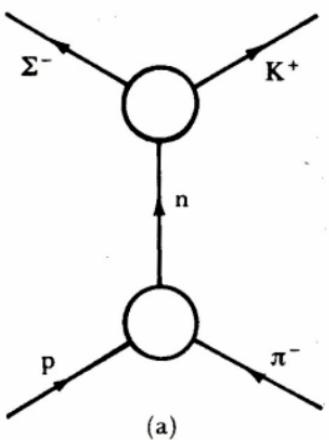
Il nuovo concetto importante della teoria della matrice S è lo spostamento del centro di attenzione dagli oggetti agli eventi; il suo interesse fondamentale non riguarda le particelle, ma le loro reazioni. Tale spostamento di interesse dagli oggetti agli eventi è richiesto sia dalla meccanica quantistica sia dalla teoria della relatività. Da una parte, la meccanica quantistica ha chiarito che una particella subatomica può essere compresa solo come manifestazione dell'interazione tra vari processi di misura. Essa non è un oggetto isolato ma piuttosto un fatto, o evento, che collega tra loro altri eventi in un modo particolare. Come dice Heisenberg:

« [Nella fisica moderna], il mondo è stato ora diviso non in diversi gruppi di oggetti ma in diversi gruppi di connessioni... Ciò che può essere distinto è il tipo di connessione che è di primaria importanza in un certo fenomeno... Il mondo appare così come un complicato tessuto di eventi, in cui rapporti di diversi tipi si alternano, si sovrappongono o si combinano, determinando in tal modo la struttura del tutto ».¹

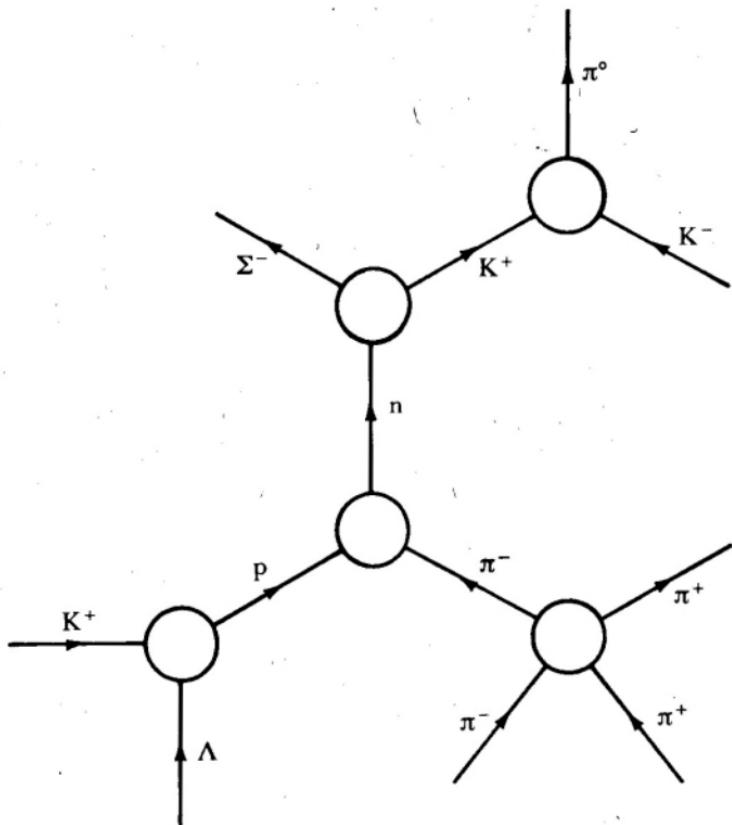
Dall'altra parte, la teoria della relatività ci ha costretto a considerare le particelle in termini di spazio-tempo: come configurazioni quadridimensionali, come processi più che come oggetti. L'approccio della matrice S combina questi due punti di vista. Usando il formalismo matematico quadridimensionale della teoria della relatività, essa descrive tutte le proprietà degli adroni in termini di reazioni (o, più precisamente, in termini di probabilità di reazione), e in tal modo stabilisce uno stretto legame tra processi e particelle. Ogni reazione coinvolge particelle che la collegano ad altre reazioni. Si costruisce così un'intera rete di processi.

Un neutrone, per esempio, può prendere parte a due reazioni successive che coinvolgono particelle diverse; queste potrebbero essere, facciamo il caso, un protone e

1. W. Heisenberg, trad. cit., pp. 109-110.



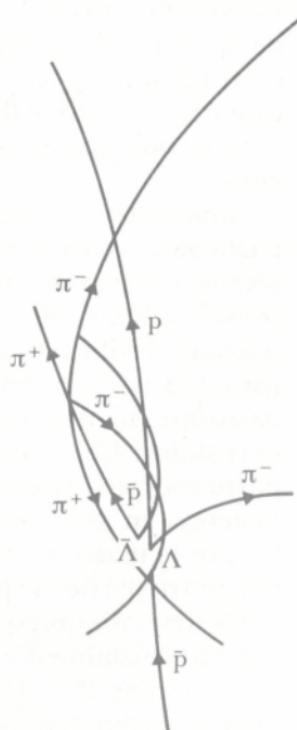
un π^- per la prima reazione, un Σ^- e un K^+ per la seconda. Il neutrone allora mette in relazione tra loro queste due reazioni e le integra in un processo più ampio (si veda diagramma a). Ognuna delle particelle iniziali e finali in questo processo sarà coinvolta in altre reazioni; il protone, per esempio, può essere prodotto dall'interazione tra un K^+ e un A (si veda diagramma b); il K^+ della reazione iniziale può essere legato a un K^- e un π^0 ; il π a tre ulteriori pioni.



Il neutrone iniziale è quindi visto come facente parte di un'intera rete di interazioni, di un « tessuto di eventi », tutti descritti dalla matrice S. Le interconnessioni di una rete di questo genere non possono essere determinate con certezza, ma sono associate a probabilità. Ogni reazione avviene con una certa probabilità, che dipende dall'energia disponibile e dalle caratteristiche della reazione, e queste probabilità sono date dai vari elementi della matrice S.

Questo approccio permette di definire la struttura di un adrone in una maniera completamente dinamica. Per esempio, il neutrone che compare nella nostra rete può essere visto come uno « stato legato » del protone e

del π^- dai quali ha origine, ed anche come uno stato legato del Σ^- e del K^+ nei quali si disintegra. Entrambe queste combinazioni di adroni, e molte altre, possono formare un neutrone, e di conseguenza esse possono venire considerate componenti della « struttura » del neutrone. La struttura di un adrone, perciò, non è intesa come una sistemazione definita di parti costituenti, ma è data da tutti gli insiemi di particelle che possono interagire l'una con l'altra per formare l'adrone in esame. Così un protone esiste potenzialmente come coppia neutrone-pione, come coppia kaone-lambda, e così via. Il protone ha anche la possibilità di disintegrarsi in una qualsiasi di queste combinazioni di particelle se è disponibile



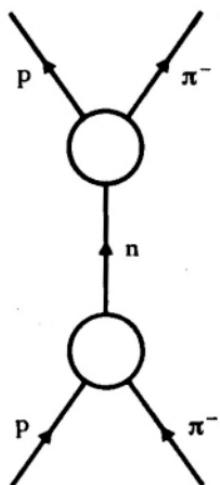
Una rete di reazioni che coinvolgono protoni, antiprotoni, una coppia lambda-antilambda, e diversi pioni.

una quantità sufficiente di energia. Le tendenze di un adrone a esistere sotto varie combinazioni sono espresse dalle probabilità per le corrispondenti reazioni, ognuna delle quali può essere considerata come un aspetto della struttura interna dell'adrone.

Definendo la struttura di un adrone come la sua tendenza a entrare in certi tipi di reazione, la teoria della matrice S dà al concetto di struttura una connotazione essenzialmente dinamica. Nello stesso tempo, questa nozione di struttura è in perfetto accordo con i fatti sperimentali. Ogni volta che gli adroni sono frantumati in esperimenti d'urto ad alta energia, essi si disintegranano in combinazioni di altri adroni; quindi si può dire che essi sono potenzialmente « costituiti » da queste combinazioni di adroni. Ognuna delle particelle che emerge da questi urti entrerà a sua volta in varie reazioni, costruendo così un'intera rete di eventi che possono essere fotografati nella camera a bolle. La figura a p. 307 e quelle nel capitolo xv sono esempi di tali reti di interazioni.

Nonostante sia casuale quale rete avrà luogo in un particolare esperimento, ogni rete è tuttavia strutturata secondo regole definite. Queste regole sono le leggi di conservazione alle quali abbiamo accennato prima: possono verificarsi solo quelle reazioni nelle quali si conserva un ben definito insieme di numeri quantici. Anzitutto, in ogni reazione l'energia totale deve rimanere costante. Ciò significa che una certa combinazione di particelle può essere prodotta in una reazione solo se l'energia in essa coinvolta è sufficientemente alta da fornire le masse richieste. Inoltre, complessivamente il gruppo di particelle prodotte deve possedere esattamente gli stessi numeri quantici dell'insieme delle particelle entrate inizialmente nella reazione. Per esempio, un protone e un π^- , che hanno una carica elettrica totale zero, possono dissolversi in un urto e ricombinarsi per produrre un neutrone più π^0 , ma non possono generare un neutrone e un π^+ , poiché questa coppia avrebbe una carica totale di valore + 1.

Le reazioni fra adroni, quindi, rappresentano un flusso di energia in cui le particelle sono create e dissolte, ma l'energia può fluire solo attraverso determinati « canali » caratterizzati dai numeri quantici che si conservano nelle interazioni forti. Nella teoria della matrice S il concetto di canale di reazione è più fondamentale di quello di particella e viene definito come un insieme di numeri quantici che possono essere portati da varie combinazioni di adroni, e spesso anche da un singolo adrone. Quale combinazione di adroni fluisca attraverso un particolare canale è una questione di probabilità ma dipende, prima di tutto, dall'energia disponibile. Per esempio, il diagramma mostra un'interazione tra un protone e un π^- in cui si forma un neutrone come



stato intermedio. Quindi, il canale di reazione è costituito prima da due adroni, poi da un singolo adrone, e infine dalla coppia iniziale di adroni. Lo stesso canale può essere costituito, se è disponibile più energia, da una coppia $A - K^0$, da una coppia $\Sigma^- - K^+$, e da varie altre combinazioni.

Il concetto di canali di reazione è particolarmente utile per trattare le risonanze, quegli stati degli adroni

con vita estremamente breve che sono caratteristici di tutte le interazioni forti. Si tratta di fenomeni così effimeri che all'inizio i fisici furono restii a classificarli come particelle, e oggi il chiarimento delle loro proprietà costituisce ancora uno dei principali compiti della fisica sperimentale delle alte energie. Le risonanze si formano nelle collisioni tra adroni e si disintegranano immediatamente appena formate. Non possono essere viste con la camera a bolle, ma è possibile rivelarle grazie a un comportamento molto particolare delle probabilità di reazione. La probabilità per due adroni in collisione di entrare in reazione, cioè di interagire tra loro, dipende dall'energia implicata nell'urto. Se si varia l'energia, varierà anche la probabilità; questa può aumentare o diminuire con il crescere dell'energia, a seconda delle particolari modalità della reazione. Per certi valori di energia, tuttavia, si osserva che la probabilità di reazione aumenta improvvisamente; quindi è molto più probabile che una reazione avvenga a questi valori di energia che a qualsiasi altro. Questo brusco aumento è associato alla formazione di un adrone intermedio di vita molto breve con una massa corrispondente all'energia alla quale si osserva l'aumento.

La ragione per la quale questi stati degli adroni di vita molto breve sono chiamati risonanze è legata alla analogia con il ben noto fenomeno di risonanza che si incontra nello studio delle vibrazioni. Nel caso del suono, per esempio, l'aria contenuta in una cavità in generale reagisce solo debolmente a un'onda sonora proveniente dall'esterno, ma comincia a « risonare », ovvero a vibrare molto intensamente, quando l'onda sonora raggiunge una determinata frequenza chiamata frequenza di risonanza. Il canale di una reazione di adroni può essere paragonato a una di queste cavità risonanti, dato che l'energia degli adroni in collisione è legata alla frequenza della corrispondente onda di probabilità. Quando questa energia, ovvero la frequenza, raggiunge un certo valore, il canale comincia a risonare; le vibrazioni dell'onda di probabilità diventano improvvisa-

mente molto forti e quindi provocano un brusco aumento della probabilità di reazione. La maggior parte dei canali di reazione hanno un certo numero di energie di risonanza, ciascuna delle quali corrisponde alla massa di un effimero stato intermedio dell'adrone che si forma quando l'energia delle particelle che si urtano raggiunge il valore di risonanza.

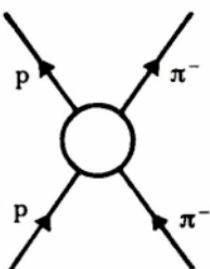
Nel contesto della teoria della matrice S, il problema di chiamare o no « particelle » le risonanze non esiste. Tutte le particelle sono viste come stati intermedi di una rete di interazioni, e il fatto che le risonanze vivano per un periodo molto più breve rispetto agli altri adroni non le rende sostanzialmente diverse. In effetti, la parola « risonanza » è un termine molto appropriato; esso serve a indicare sia il fenomeno che avviene nel canale di reazione sia Padrone che si forma durante quel fenomeno, mostrando così lo stretto legame tra particelle e reazioni. La risonanza è una particella, ma non un oggetto; ed è molto meglio descriverla come un evento, un fatto o un avvenimento.

Questa descrizione degli adroni, nell'ambito della fisica delle particelle, richiama alla mente le parole di D. T. Suzuki citate sopra:¹ « I Buddisti concepiscono l'oggetto come un evento e non come una cosa o una sostanza ». Ciò che i Buddisti hanno capito attraverso la loro esperienza mistica della natura è stato ora riscoperto attraverso gli esperimenti e le teorie matematiche della scienza moderna.

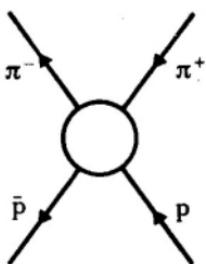
Per poter descrivere tutti gli adroni come stati intermedi in una rete di interazioni, si deve essere in grado di rendere conto delle forze attraverso le quali essi interagiscono fra di loro. Si tratta delle forze di interazione forte che deflettono, o « diffondono », gli adroni negli urti e li dissolvono o li ricompongono in diverse configurazioni, oppure legano insieme gruppi di adroni per formare gli stati legati intermedi. Nella teoria della ma-

1. Si veda p. 236.

trice S, le forze di interazione sono associate alle particelle come nella teoria dei campi, ma non si fa uso del concetto di particella virtuale. Invece, la relazione tra forze e particelle si basa su una proprietà specifica della matrice S nota come *crossing*.* Per illustrare questa proprietà, consideriamo il seguente diagramma che rappresenta l'interazione tra un protone e un π^- .



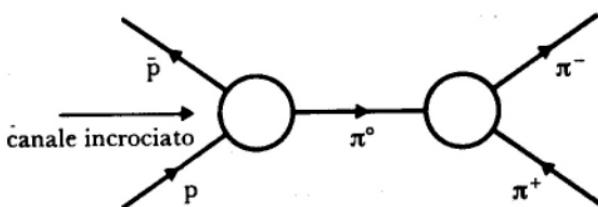
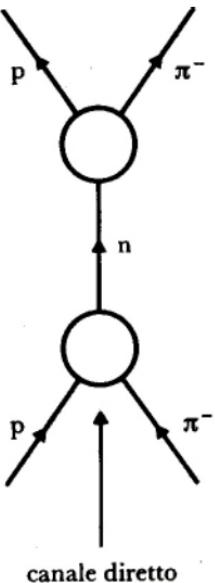
Se ruotiamo questo diagramma di 90° , e se manteniamo la convenzione adottata precedentemente, secondo la quale le frecce dirette verso il basso indicano antiparticelle, il nuovo diagramma rappresenterà una



reazione tra un antiproton (\bar{p}) e un protone (p) che emergono come una coppia di pioni, il π^+ essendo l'antiparticella del π^- della reazione iniziale.

* In italiano « incrocio », termine usato tra i fisici solo in locuzioni composte, come per esempio « canale incrociato » [N.d.T.]. 1. Si veda p. 212.

Ora, la proprietà di *crossing* della matrice S, è in rapporto al fatto che entrambi questi processi sono descritti dallo stesso elemento di matrice. Ciò significa che i due diagrammi rappresentano semplicemente due differenti aspetti, o « canali », della stessa reazione.¹ Durante i loro calcoli, i fisici delle particelle passano frequentemente da un canale all'altro e invece di ruotare il



1. In effetti, il diagramma può essere ulteriormente ruotato, e le singole linee possono essere « incrociate » in modo da ottenere processi diversi, i quali sono ancora descritti dallo stesso elemento della matrice S. Ciascun elemento rappresenta complessivamente sei diversi processi, ma per la nostra discussione delle forze di interazione solo i due menzionati sopra hanno importanza.

diagramma essi semplicemente lo leggono dal basso verso l'alto o da sinistra a destra, e parlano di « canale diretto » e di « canale incrociato ». Quindi, nel nostro esempio (si veda p. 313), la reazione è letta come $p + n^- \rightarrow p + a^-$ nel canale diretto, e come $p + p \rightarrow \pi^- + \pi^+$ nel canale incrociato.

La connessione tra forze e particelle è stabilita attraverso gli stati intermedi dei due canali. Nel canale diretto del nostro esempio, il protone e il a^- possono formare un neutrone intermedio, mentre il canale incrociato può essere costituito da un pion neutro intermedio (π^0). Questo pion — lo stato intermedio del canale incrociato — è interpretato come la manifestazione della forza che agisce nel canale diretto e che lega insieme il protone e il a^- in modo da formare il neutrone. Quindi entrambi i canali sono necessari per associare forze a particelle; ciò che appare come forza in un canale si manifesta come particella intermedia nell'altro.

Sebbene da un punto di vista matematico sia relativamente facile passare da un canale all'altro, è estremamente difficile — se non del tutto impossibile — avere una immagine intuitiva della situazione. Ciò è dovuto al fatto che il concetto di *crossing*, di natura essenzialmente relativistica, ha origine nel contesto del formalismo quadridimensionale della teoria della relatività, e partano risulta assai difficile da visualizzare. Una situazione simile si verifica nella teoria dei campi nella quale le forze di interazione sono descritte come scambio di particelle virtuali. In effetti, il diagramma che mostra il pion intermedio nel canale incrociato ricorda i diagrammi di Feynman che rappresentano questi scambi di particelle,¹ e si potrebbe dire, esprimendosi liberamente, che il protone e il π^- interagiscono « attraverso lo scambio di un π^0 ». Espressioni di questo tipo

1. Bisogna ricordare, tuttavia, che i diagrammi della matrice S non sono diagrammi nello spazio-tempo ma rappresentazioni simboliche delle reazioni tra particelle. Il passaggio da un canale all'altro avviene in uno spazio matematico astratto.

sono spesso usate dai fisici, ma non descrivono pienamente la situazione. Una descrizione adeguata può essere data solo in termini di canali diretti e incrociati, cioè con concetti astratti che sono quasi impossibili da visualizzare.

Nonostante il diverso formalismo, il concetto generale di forza di interazione nella teoria della matrice S è del tutto simile a quello della teoria dei campi. In entrambe le teorie, le forze si manifestano come particelle le cui masse determinano il raggio d'azione dell'interazione,¹ e in entrambe le teorie si ammette che esse siano proprietà intrinseche delle particelle interagenti; nella teoria dei campi, le forze rispecchiano la struttura della nube di particelle virtuali, e nella teoria della matrice S sono generate dagli stati legati delle particelle interagenti. La corrispondenza con la concezione orientale delle forze discussa precedentemente vale quindi per entrambe le teorie. Questa concezione delle forze di interazione, inoltre, suggerisce l'importante conclusione che tutte le particelle note devono avere una qualche struttura interna, poiché solo in tal caso esse possono interagire con l'osservatore e quindi essere rivelate. Come dice Geoffrey Chew, uno dei principali artefici della teoria della matrice S, « una particella veramente elementare – completamente priva di struttura interna – non sarebbe soggetta ad alcuna forza che possa permetterci di rivelarne l'esistenza. Si può dire che il fatto stesso di sapere che una particella esiste ci fa pensare che essa possieda una struttura interna! ».³

Un particolare vantaggio del formalismo della matrice S è il fatto che essa è in grado di descrivere lo « scambio » di un'intera famiglia di adroni. Come abbiamo accennato nel precedente capitolo, sembra che tutti gli adroni possano essere ordinati in sequenze i cui membri

1. Si veda p. 254.

2. Si veda p. 256.

3. G.F. Chew, « Impasse for the Elementary Particle Concept », in *The Great Ideas Today*, William Benton, Chicago 1974, p. 99.

hanno proprietà identiche tranne che per la massa e per lo spin. Un formalismo proposto inizialmente da Tullio Regge consente di trattare ciascuna di queste sequenze come un singolo adrone che si trova in vari stati eccitati. Recentemente è stato possibile incorporare il formalismo di Regge nella struttura della matrice S dove è stato usato con molto successo per descrivere le reazioni tra adroni. Questo rappresenta uno dei più importanti sviluppi della teoria della matrice S e può essere considerato come un primo passo verso una spiegazione dinamica della struttura delle particelle.

La teoria della matrice S è quindi in grado di descrivere la struttura degli adroni, le forze attraverso le quali essi interagiscono reciprocamente e alcune delle configurazioni che essi formano, in un modo completamente dinamico nel quale ogni adrone è concepito come parte integrante di una inestricabile rete di reazioni. Il problema principale, rimasto sinora insoluto, nella teoria della matrice S è come usare questa descrizione dinamica per spiegare le simmetrie che danno luogo alle configurazioni di adroni e alle leggi di conservazione esaminate nel capitolo precedente. In una tale teoria, le simmetrie degli adroni dovrebbero rispecchiarsi nella struttura matematica della matrice S in modo tale che essa contenga solo elementi che corrispondono a reazioni permesse dalle leggi di conservazione. Allora, queste leggi non sarebbero più soltanto regolarità empiriche ma sarebbero una conseguenza della struttura della matrice S, e quindi una conseguenza della natura dinamica degli adroni.

Attualmente i fisici cercano di conseguire questo scopo ambizioso postulando diversi principi generali che limitano le possibilità matematiche di costruire elementi della matrice S, in modo da farle assumere una struttura definita. Finora, sono stati stabiliti tre di questi principi generali. Il primo è suggerito dalla teoria della relatività e dalla nostra esperienza macroscopica dello spazio e del tempo. Esso afferma che le probabilità di

reazione (e quindi gli elementi della matrice S) devono essere indipendenti dagli spostamenti dell'apparato sperimentale nello spazio e nel tempo, indipendenti dalla sua orientazione nello spazio, e indipendenti dallo stato di moto dell'osservatore. Come abbiamo detto nel precedente capitolo, l'indipendenza della reazione di una particella rispetto ai cambiamenti di orientazione e di spostamento nello spazio e nel tempo implica la conservazione del momento della quantità di moto, della quantità di moto e dell'energia coinvolti nella reazione. Queste « simmetrie » sono essenziali per il nostro lavoro scientifico. Se i risultati di un esperimento variassero a seconda di dove e di quando esso è effettuato, la scienza nella sua forma attuale non sarebbe possibile. Infine, l'ultima condizione – i risultati sperimentali non devono dipendere dal moto dell'osservatore – è il principio di relatività che sta alla base della teoria omonima.

Il secondo principio generale è suggerito dalla meccanica quantistica. Esso afferma che il risultato di una specifica reazione tra particelle può essere previsto solo in termini di probabilità e, inoltre, che la somma delle probabilità di tutti i possibili risultati, compreso il caso di mancanza di interazione tra le particelle, dev'essere uguale a uno. In altre parole, possiamo essere certi che le particelle interagiscono tra loro, oppure no. Questa affermazione, apparentemente banale, è in realtà un principio molto potente, noto col nome di « unitarietà », che limita drasticamente le possibilità di costruire elementi della matrice S.

Il terzo e ultimo principio è connesso alla nostra idea di causa ed effetto ed è noto come principio di causalità. Esso afferma che l'energia e la quantità di moto sono trasferite attraverso distanze spaziali solo mediante particelle, e che questo trasferimento avviene in modo tale che una particella può essere creata in una reazione e distrutta in un'altra solo se l'ultima reazione avviene

1. Si veda p. 193

dopo la prima. La formulazione matematica del principio di causalità implica che la matrice S dipenda con continuità dalle energie e dalle quantità di moto delle particelle che prendono parte alla reazione, tranne che per quei valori ai quali diventa possibile la creazione di nuove particelle. A tali valori, la struttura matematica della matrice S cambia bruscamente; essa presenta quella che i matematici chiamano una « singolarità ». Ogni canale di reazione contiene diverse di queste singolarità, cioè in ciascun canale esistono diversi valori di energia e di quantità di moto in corrispondenza dei quali possono essere create nuove particelle. Le « energie di risonanza » menzionate prima sono esempi di tali valori.

Il fatto che la matrice S presenti delle singolarità è una conseguenza del principio di causalità, ma la posizione delle singolarità non è determinata da esso. I valori dell'energia e della quantità di moto in corrispondenza dei quali possono essere create particelle sono diversi per i diversi canali di reazione e dipendono dalle masse e da altre proprietà delle particelle create. Le posizioni delle singolarità riflettono quindi le proprietà di queste particelle, e poiché tutti gli adroni possono essere creati nelle reazioni tra particelle, le singolarità della matrice S rispecchiano tutte le configurazioni e le simmetrie degli adroni.

Lo scopo principale della teoria della matrice S è perciò di dedurre la struttura delle singolarità dai principi generali. Finora, non è stato possibile costruire un modello matematico che soddisfi tutti e tre i principi; e potrebbe darsi che essi siano sufficienti a determinare tutte le proprietà della matrice S , e quindi tutte le proprietà degli adroni, in maniera univoca.¹ Se così fosse, le implicazioni filosofiche di una teoria di questo genere sarebbero molto profonde. Tutti e tre i principi generali

1. Questa congettura, nota come ipotesi del *bootstrap*, sarà esaminata in maniera particolareggiata nel prossimo capitolo.

sono connessi ai nostri metodi di osservazione e di misura, cioè alla struttura del metodo scientifico. Se essi fossero sufficienti a determinare la struttura degli adroni, ciò vorrebbe dire che le strutture fondamentali dell'universo fisico sono determinate, in definitiva, dal modo in cui noi lo osserviamo. Qualsiasi cambiamento fondamentale nei nostri metodi di osservazione avrebbe come conseguenza un cambiamento dei principi generali che porterebbe a una diversa struttura della matrice S, e implicherebbe quindi una diversa struttura degli adroni.

Una teoria delle particelle subatomiche di questo genere rispecchia, nella sua forma più estrema, l'impossibilità di separare l'osservatore dal fenomeno osservato; di questa impossibilità abbiamo già discusso a proposito della meccanica quantistica.¹ In definitiva, ciò significa che le strutture e i fenomeni che osserviamo in natura non sono altro che creazioni della nostra mente che misura e classifica.

E questo uno dei canoni fondamentali della filosofia orientale. I mistici orientali ci dicono ripetutamente che tutte le cose e tutti gli eventi che percepiamo sono creazioni della nostra mente, che sorgono da un particolare stato di coscienza e che si dissolvono di nuovo se questo stato è trasceso. L'Induismo ritiene che tutte le cose e tutte le strutture attorno a noi siano state create da una mente che si trova sotto l'incantesimo della *māyā*, e considera la nostra tendenza ad attribuire un profondo significato ad esse come l'illusione fondamentale dell'uomo. I Buddhisti chiamano questa illusione *a-vidyā*, o ignoranza, e la vedono come lo stato di una mente

corrotta ». Dice Aśvaghosa:

Quando non si riconosce l'unicità nella totalità delle cose, allora nasce l'ignoranza come pure la particolarizzazione, e di conseguenza si sviluppano tutte le fasi della mente corrotta... Tutti i fenomeni del mondo non

1. Si veda p. 191

sono altro che manifestazioni illusorie della mente e non hanno alcuna realtà in se stessi ».¹

Questo è anche il tema ricorrente della scuola buddhista Yogācāra la quale ritiene che tutte le forme che noi percepiamo sono « solo forme mentali », proiezioni, o « ombre », della mente:

« Dalla mente sgorgano innumerevoli cose, condizionate dalla discriminazione... La gente accetta queste cose come un mondo esterno... Ciò che sembra essere esterno in realtà non esiste; in effetti non è altro che la mente vista come molteplicità; il corpo, i beni, e quanto sopra, tutto ciò, io dico, non è altro che mente ».²

Nella fisica delle particelle, il tentativo di ricavare le configurazioni degli adroni dai principi generali della teoria della matrice S costituisce un compito lungo e arduo, e finora sono stati compiuti solo piccoli passi verso questo obiettivo. Inoltre, nella sua forma attuale la teoria non può essere applicata alle interazioni elettromagnetiche che danno luogo alle strutture atomiche e dominano il mondo della chimica e della biologia. Ciononostante, si deve prendere in seria considerazione la possibilità che un giorno o l'altro le configurazioni degli adroni siano dedotte da principi generali, e quindi si possano far dipendere dalla struttura del metodo scientifico. E un'ipotesi eccitante che questo possa essere un aspetto generale della fisica delle particelle, che si presenterà anche nelle future teorie delle interazioni elettromagnetiche, delle interazioni deboli, e di quelle gravitazionali. Se ciò risulterà vero, la fisica moderna si sarà notevolmente avvicinata alla concezione dei saggi orientali secondo i quali le strutture del mondo sono *māyā*, ovvero « solo forme mentali ».

La teoria della matrice S si avvicina molto al pensiero orientale non solo nella sua conclusione finale, ma anche

1. Aśvaghoga, *op. cit.*, pp. 79, 86.

2. Citato in D.T. Suzuki, *Studies in the Lankāvatāra Sūtra*, Routledge & Kegan Paul, London 1952, p. 242.

nella sua concezione generale della materia. Essa descrive il mondo delle particelle subatomiche come una rete dinamica di eventi e pone in evidenza i mutamenti e le trasformazioni più che le strutture o le entità fondamentali. In Oriente, una concezione di questo tipo è posta in particolare rilievo nel pensiero buddhista nel quale tutte le cose sono viste come dinamiche, precarie e illusorie. S. Radhakrishnan, per esempio, scrive:

« Ma come avviene che in questo flusso assoluto giungiamo a immaginare cose, piuttosto che processi? Ciò avviene perché chiudiamo gli occhi davanti alla successione degli eventi. Si tratta di un atteggiamento artificiale, che pratica dei tagli nella corrente del mutamento, e li denomina *cose...* Quando conosciamo la verità delle cose, comprendiamo quanto sia per noi assurdo venerare isolati prodotti dell'incessante serie delle trasformazioni, come se fossero eterni e reali. La vita non è una cosa, né lo stato di una cosa, ma un continuo movimento o mutamento ».¹

Sia i fisici moderni sia i mistici orientali si sono resi conto che tutti i fenomeni, in questo mondo di cambiamento e di trasformazione sono dinamicamente interconnessi. Gli Indù e i buddhisti vedono questa interrelazione come una legge cosmica, la legge del *karman*, ma essi non sono in genere interessati ad alcuna specifica configurazione della rete universale degli eventi. Viceversa la filosofia cinese, che dà altrettanto rilievo al movimento e al mutamento, ha sviluppato la nozione di configurazioni dinamiche che si formano e si dissolvono continuamente nel flusso cosmico del *Tao*. Nell'*I King, o Libro dei Mutamenti*,² queste configurazioni sono state elaborate in un sistema di simboli archetipici, i cosiddetti esagrammi.

Il principio fondamentale che permette di ordinare le configurazioni, nell'*I King*, è l'azione reciproca degli

1. S. Radhakrishnan, trad. cit., pp. 375-376.

2. Si veda p. 128.

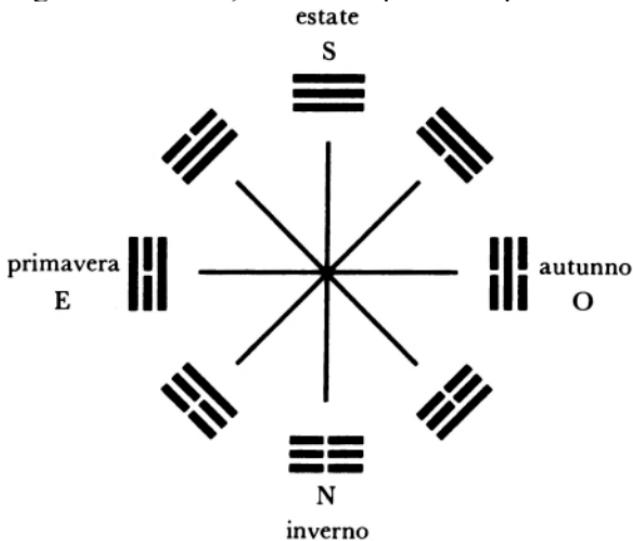
opposti polari *yin e yan*. Lo *yan* è rappresentato da una linea continua —, lo *yin* da una linea tratteggiata — —, e l'intero sistema degli esagrammi è costituito in maniera naturale a partire da queste due linee. Combinandole in coppia, si possono ottenere quattro configurazioni:



e aggiungendo una linea a ciascuna di esse, si generano otto « trigrammi »:

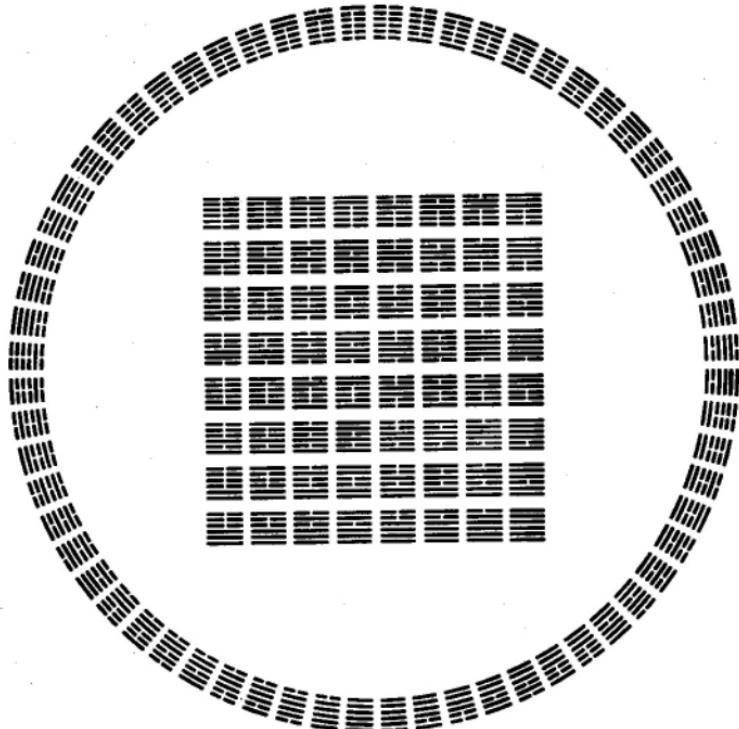


Nell'antica Cina, si riteneva che i trigrammi rappresentassero tutte le possibili situazioni cosmiche e umane. Vennero designati con nomi che ne riflettevano le caratteristiche fondamentali — ad esempio, « Il Creativo », « Il Ricettivo », « L'Eccitante », ecc. — e furono associati a molte immagini prese dalla natura e dalla vita sociale. Essi rappresentavano, per esempio, cielo, terra, fulmine, acqua, ecc., come pure una famiglia formata da padre, madre, tre figli e tre figlie. Inoltre, furono associati ai punti cardinali e alle quattro stagioni dell'anno, ed erano spesso disposti come segue:



In questa disposizione, gli otto trigrammi sono raggruppati in cerchio nell'« ordine naturale » secondo il quale furono generati, a partire dall'alto (dove i Cinesi pongono sempre il sud), e mettendo i primi quattro trigrammi nella parte sinistra del cerchio e gli altri quattro nella parte destra. Questa disposizione presenta un alto grado di simmetria, in quanto i trigrammi opposti hanno le linee *yin* e *yang* scambiate.

Al fine di aumentare ulteriormente il numero delle possibili combinazioni, gli otto trigrammi vennero uniti a coppie disponendoli uno sull'altro. In questo modo, si ottennero sessantaquattro esagrammi, ognuno formato da sei linee intere o tratteggiate. Gli esagrammi furono disposti secondo diverse figure regolari, delle quali le due qui illustrate sono le più comuni: un quadrato di



Due disposizioni regolari dei sessantaquattro esagrammi.

otto per otto esagrammi, e una sequenza circolare che presenta la stessa simmetria che si ha nella disposizione circolare dei trigrammi.

I sessantaquattro esagrammi sono gli archetipi cosmici sui quali si basa l'uso dell'*I King* come libro di divinazione.¹ Per l'interpretazione di qualsiasi esagramma devono essere tenuti presenti i vari significati dei suoi due trigrammi. Per esempio, quando il trigramma « L'Eccitante » è situato sopra il trigramma « Il Ricettivo » l'esagramma è interpretato come movimento che si incontra con devozione e quindi ispira entusiasmo, che è il nome dato all'esagramma.



L'Eccitante



Il Ricettivo



Entusiasmo

L'esagramma «'Progresso», per fare un altro esempio, costituito da « L'Adesivo » sopra « Il Ricettivo », è interpretato come il sole che sorge sopra la terra e quindi come simbolo di rapido e facile progresso.



L'Adesivo



Il Ricettivo



Progresso

Nell'*I King*, i trigrammi e gli esagrammi rappresentano le configurazioni del *Tao* che sono generate dall'azione reciproca dinamica dello *yin* e dello *yang*, e che si rispecchiano in tutte le situazioni cosmiche e umane. Queste situazioni, perciò, non sono viste come statiche, ma piuttosto come fasi di un flusso e di un mutamento continui. Questa è l'idea fondamentale del *Libro dei Mutamenti* che è espressa nel suo stesso titolo. Tutte le cose e tutte le situazioni nel mondo sono soggette al

1. Si veda p. 129.

mutamento e alla trasformazione, e ciò vale anche per le loro immagini, i trigrammi e gli esagrammi. Essi sono in uno stato di continua transizione: uno si muta nell'altro, le linee continue si protendono verso l'esterno e si spezzano in due, le linee tratteggiate si protendono verso l'interno e si uniscono.

Per questa idea di configurazioni dinamiche generate dal mutamento e dalla trasformazione, *I King* rappresenta forse, nel pensiero orientale, l'analogo più stretto della teoria della matrice S. In entrambi i sistemi si pongono in rilievo processi piuttosto che oggetti. Nella teoria della matrice S, questi processi sono le reazioni delle particelle che danno origine a tutti i fenomeni del mondo degli adroni. Nell'*I King*, i processi fondamentali, chiamati « i mutamenti », sono considerati essenziali per la comprensione di tutti i fenomeni naturali:

« Sono i mutamenti quello per cui i santi e saggi hanno scandagliato ogni profondità ed afferrato ogni germe ».¹

Questi mutamenti non sono considerati leggi fondamentali imposte al mondo fisico, ma piuttosto, per usare le parole di Helmut Wilhelm, « una tendenza interna in base alla quale lo sviluppo si manifesta in maniera naturale e spontanea ».² Lo stesso può dirsi dei « mutamenti » del mondo delle particelle. Anch'essi rispecchiano le tendenze interne delle particelle che sono espresse, nella teoria della matrice S, in termini di probabilità di reazione.

I mutamenti nel mondo degli adroni danno luogo a strutture e a configurazioni simmetriche che sono rappresentate simbolicamente dai canali di reazione. Né le strutture né le simmetrie sono considerate aspetti fondamentali del mondo degli adroni, ma sono viste come conseguenze della natura dinamica delle particelle, cioè

1. *I King*, trad. cit., p. 581.

2. H. Wilhelm, *Change—Eight Lectures on the I Ching*, Harper Torchbooks, New York 1964, p. 19.

delle loro tendenze al mutamento e alla trasformazione.

Anche nell'*I King*, i mutamenti danno luogo a strutture: i trigrammi e gli esagrammi. Come i canali delle reazioni tra particelle, questi sono rappresentazioni simboliche delle configurazioni di mutamento. E come l'energia fluisce attraverso i canali di reazione, così i « mutamenti » fluiscono attraverso le linee degli esagrammi:

Alterazione e moto senza requie, Fluiscono per i sei vuoti posti; Salendo e ricadendo senza dimorare,

È solo alteramento quello che qui opera.¹

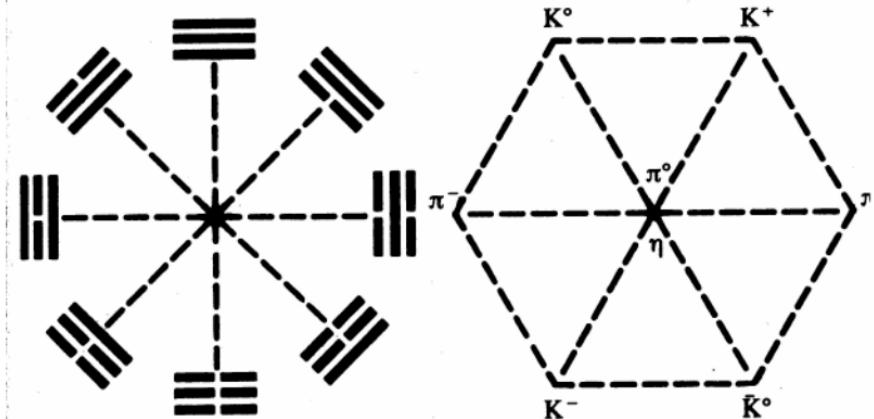
Nella concezione cinese, tutte le cose e tutti i fenomeni che ci circondano hanno origine dalle configurazioni di mutamento e sono rappresentati dalle varie lince dei trigrammi e degli esagrammi. Così le cose del mondo fisico non sono concepite come oggetti statici, indipendenti, ma semplicemente come fasi di transizione nel processo cosmico che è il *Tao*:

« La Via ha alterazioni e moti. Per questo si chiamano le righe mutevoli. Queste righe hanno gradi, per questo esse rappresentano le cose ».²

Come avviene nel mondo delle particelle, le strutture generate dai mutamenti possono essere ordinate in varie figure simmetriche, per esempio la figura ottagonale formata dagli otto trigrammi, nella quale i trigrammi opposti hanno le linee *yin* e *yang* scambiate. Questa figura è persino vagamente simile all'ottetto dei mesoni esaminata nel capitolo precedente, nel quale particelle e antiparticelle occupano posizioni opposte. Il punto importante, tuttavia, non è questa somiglianza fortuita, ma il fatto che sia la fisica moderna sia l'antico pensiero cinese considerano il mutamento e la trasformazione

1. *I King*, trad. cit., p. 606.

2. *Ibid.*, p. 609.



l'aspetto *principale* della natura, e giudicano secondarie le strutture e le simmetrie generate dai mutamenti. Nella introduzione alla sua traduzione dell'*I King*, Richard Wilhelm presenta questa idea come il concetto fondamentale del *Libro dei Mutamenti*:

« Gli otto trigrammi... erano concepiti come fossero in uno stato di continua trasformazione, di un continuo trapasso dell'uno nell'altro, proprio come nell'universo costantemente avviene il trapasso di un fenomeno in un altro. Sta in ciò il pensiero fondamentale del *Libro dei Mutamenti*. Gli otto trigrammi sono segni di mutevoli stati di trapasso, sono immagini che mutano continuamente. L'attenzione non è diretta verso le cose nel loro essere, come prevalentemente accade in Occidente, ma è rivolta ai moti delle cose nel loro mutamento. Così gli otto segni non sono effigi delle cose stesse ma immagini delle loro tendenze al movimento ».¹

Nella fisica moderna, siamo giunti a vedere le « cose » del mondo subatomico in un modo molto simile, mettendo in risalto movimento, mutamento e trasformazione e considerando le particelle come fasi transitorie in un continuo processo cosmico.

1. *Ibid.*, p. 35.

18. COMPENETRAZIONE

Fin qui, la nostra esplorazione della concezione del mondo suggerita dalla fisica moderna ha ripetutamente mostrato che l'idea di « mattoni fondamentali » della materia non è più sostenibile. Nel passato questo concetto fu estremamente utile e permise di spiegare prima il mondo fisico in termini di un numero limitato di atomi, poi le strutture degli atomi in termini di pochi nuclei circondati da elettroni, e infine, le strutture dei nuclei in termini di due « mattoni » nucleari, il protone e il neutrone. Così, atomi, nuclei e adroni furono considerati, di volta in volta, « particelle elementari ». Nessuno di essi, tuttavia, rispose pienamente alle aspettative. Ogni volta risultò che queste particelle avevano esse stesse strutture composite, e i fisici sperarono che sempre con la generazione successiva di costituenti sarebbero finalmente arrivati ai componenti ultimi della materia.

D'altra parte, le teorie della fisica atomica e subatomica rendevano sempre più improbabile l'esistenza di particelle elementari.. Queste teorie rivelavano una fondamentale interconnessione della materia mostrando che l'energia di moto può essere trasformata in massa e

suggerendo che le particelle sono processi più che oggetti. Tutti questi sviluppi indicavano con forza che l'ingenua immagine meccanicistica di « mattoni fondamentali » doveva essere abbandonata. Eppure molti fisici sono tuttora restii a compiere questa svolta. L'abitudine secolare di spiegare le strutture complesse suddividendole in costituenti più semplici è così profondamente radicata nel pensiero occidentale che ancora oggi se ne continua la ricerca.

Tuttavia, nella fisica delle particelle è presente una scuola di pensiero radicalmente diversa, che parte dall'idea che la natura non possa essere ridotta a entità fondamentali, quali le particelle elementari o i campi fondamentali. La natura deve essere compresa interamente attraverso la sua coerenza interna o « autocoerenza », cioè ricercando la coerenza dei suoi componenti ognuno con se stesso e reciprocamente tra di loro. Questa idea è sorta nel contesto della teoria della matrice S ed è nota come l'ipotesi del *bootstrap*.^{*} Il suo ideatore e principale sostenitore è Geoffrey Chew, il quale da una parte ha elaborato una filosofia generale della natura basata sull'idea del *bootstrap*, e dall'altra ha utilizzato questa idea (in collaborazione con altri fisici) per costruire modelli specifici di particelle formulati nel linguaggio della matrice S. L'ipotesi del *bootstrap* è stata descritta da Chew in diversi articoli scientifici che forniscono le basi per la seguente presentazione.

La filosofia del *bootstrap* rappresenta il definitivo abbandono della concezione meccanicistica nella fisica

* Letteralmente, il termine *bootstrap* significa « tirante di stivale » e si riferisce a una frase idiomatica americana la cui traduzione è « reggersi ai tiranti dei propri stivali ». Nel contesto della fisica delle particelle, esso indica una situazione in cui un'entità si regge sulla sua coerenza interna [N.d.T.].

1. G.F. Chew, « *Bootstrap* »: A Scientific Idea?, in « *Science* », CLXI (1968), pp. 762-765; *Hadron Bootstrap: Triumph or Frustration?*, in « *Physics Today* », XXIII (1970), pp. 23-28; « Impasse for the Elementary Particle Concept », in *The Great Ideas Today*, William Benton, Chicago 1974.

moderna. L'universo di Newton era stato costruito a partire da un insieme di entità basilari dotate di certe proprietà fondamentali, che erano state create da Dio e quindi non potevano essere ulteriormente analizzate. In un modo o nell'altro, questa nozione era sottintesa in tutte le teorie della scienza naturale e lo rimase fino a quando l'ipotesi del *bootstrap* affermò esplicitamente che il mondo non può essere inteso come un assemblaggio meccanico di entità che non si possono analizzare ulteriormente. Nella nuova concezione, l'universo è visto come una rete 'dynamica di eventi interconnessi. Nessuna delle proprietà di una qualsiasi parte di questa rete è fondamentale; ognuna di esse deriva dalle proprietà delle altre parti, e la coerenza complessiva delle loro connessioni reciproche determina la struttura dell'intera rete.

Quindi, la filosofia del *bootstrap* rappresenta il culmine di una concezione della natura che ebbe origine con la meccanica quantistica in seguito alla comprensione della fondamentale e universale interrelazione di tutte le cose, acquisì il suo contenuto dinamico con la teoria della relatività, e venne formulata nei termini delle probabilità di reazione con la teoria della matrice S. Allo stesso tempo, questa concezione della natura si avvicinò sempre più alla visione orientale del mondo, e ora è in armonia col pensiero orientale sia nella sua filosofia generale sia nella specifica descrizione della materia.

L'ipotesi del *bootstrap* non solo nega l'esistenza di costituenti fondamentali della materia, ma non accetta nemmeno alcuna entità fondamentale – nessuna legge, equazione o principio fondamentali – e quindi abbandona un'altra idea che per centinaia di anni ha avuto un ruolo essenziale nelle scienze naturali. La nozione di leggi fondamentali della natura fu una conseguenza della fede in un legislatore divino che era profondamente radicata nella tradizione giudaico-cristiana. Come dice Tommaso d'Aquino:

« C'e una Legge eterna, cioè la Ragione, che esiste nella mente di Dio e che governa l'intero universo ».¹

Quest'idea di una legge divina ed eterna della natura influenzò grandemente la filosofia e la scienza occidentali. Descartes parlava di « leggi che Dio ha dato alla natura » e Newton riteneva che lo scopo più alto del lavoro scientifico fosse quello di dare testimonianza delle « leggi impresse da Dio sulla natura ». Scoprire le leggi fondamentali ultime della natura rimase il compito che gli scienziati si prefissero nei tre secoli successivi a Newton.

Attualmente, nella fisica moderna, si è manifestato un atteggiamento molto diverso. I fisici sono giunti a comprendere che tutte le loro teorie dei fenomeni naturali, comprese le « leggi » che formulano, sono creazioni della mente dell'uomo; proprietà della nostra mappa concettuale della realtà, più che proprietà della realtà stessa. Questo schema concettuale è necessariamente limitato e approssimato,² come lo sono tutte le teorie scientifiche e le « leggi della natura » che esso contiene. Tutti i fenomeni naturali sono in definitiva interconnessi, e per spiegare uno qualsiasi di essi dobbiamo comprendere tutti gli altri, il che, ovviamente, è impossibile. I grandi successi della scienza sono dovuti alla possibilità di introdurre approssimazioni. In tal modo, se ci si accontenta di una « conoscenza » approssimata della natura, si possono descrivere gruppi di fenomeni opportunamente scelti, ignorandone altri meno importanti. Così è possibile spiegare un gran numero di fenomeni a partire da alcuni di essi, e di conseguenza si possono capire diversi aspetti della natura in modo approssimativo senza dover comprendere tutto quanto in una volta sola. Questo è il metodo scientifico; tutte le teorie e i modelli scientifici sono approssimazioni della vera natura delle cose, ma l'errore che si introduce con

1. Citato in J. Needham, *op. cit.*, vol. II, p. 538 [in realtà è una citazione da Agostino, *De libero arbitrio*, VI, 5. N.d.T.]

2. Si veda p. 31 e p. 47.

l'approssimazione è spesso sufficientemente piccolo da giustificare questo modo di procedere. Per esempio, in genere nella fisica delle particelle si trascurano le forze gravitazionali tra le particelle stesse, in quanto risultano di parecchi ordini di grandezza meno intense rispetto alle altre interazioni. Sebbene l'errore introdotto da questa omissione sia estremamente piccolo, è chiaro che in futuro le teorie delle particelle, per essere più precise, dovranno tener conto anche delle interazioni gravitazionali.

I fisici costruiscono quindi una sequenza di teorie parziali e approssimate, ognuna delle quali, pur essendo più precisa della precedente, non rappresenta una descrizione completa e definitiva dei fenomeni naturali. Come queste teorie, anche le « leggi della natura » che esse delineano sono mutevoli, destinate a essere sostituite da leggi più precise quando le teorie vengono perfezionate. Di solito, il carattere incompleto di una teoria si rispecchia nei suoi parametri arbitrari, o « costanti fondamentali », cioè in quantità i cui valori numerici non sono spiegati dalla teoria, ma devono essere inclusi in essa dopo essere stati determinati empiricamente. La meccanica quantistica non è in grado di spiegare il valore usato per la massa dell'elettrone, né la teoria dei campi rende conto della carica dell'elettrone, e neppure la teoria della relatività spiega il valore della velocità della luce. Nella concezione classica queste quantità erano considerate costanti fondamentali della natura che non richiedevano alcuna spiegazione ulteriore. Nella concezione moderna si ritiene che il loro ruolo di « costanti fondamentali » sia temporaneo e rispecchi i limiti delle teorie attuali. Secondo la filosofia del *bootstrap* le teorie future, a mano a mano che aumenterà la loro precisione e il loro campo d'applicazione, dovrebbero essere in grado di spiegare, una dopo l'altra, queste costanti. Quindi ci si dovrebbe avvicinare alla situazione ideale — senza mai raggiungerla — nella quale la teoria non contiene alcuna costante fondamentale » non spiegata, e tutte le sue « leggi »

derivano dalla condizione di coerenza interna complessiva.

Tuttavia, è importante rendersi conto che anche questa teoria ideale deve contenere qualcosa di non spiegato, sebbene non necessariamente nella forma di costanti numeriche. Fino a quando continuerà ad essere una teoria scientifica, essa richiederà che vengano accettati senza spiegazione alcuni dei concetti sui quali si basa il linguaggio scientifico. Spingere alle sue estreme conseguenze l'idea del *bootstrap* significherebbe andare al di là della scienza:

« In senso lato, l'idea del *bootstrap*, sebbene affascinante ed utile, non è scientifica... La scienza come la conosciamo richiede un linguaggio basato su alcune strutture non discutibili. Da un punto di vista semantico, perciò, il tentativo di spiegare *tutti* i concetti può difficilmente essere definito "scientifico" ».¹

È evidente che una concezione della natura di tipo completamente *bootstrap*, nella quale tutti i fenomeni dell'universo siano determinati unicamente dalla loro coerenza reciproca, si avvicina molto alla visione orientale del mondo. Un universo indivisibile, nel quale tutte le cose e tutti gli eventi sono interconnessi, difficilmente avrebbe senso se non possedesse una coerenza interna. Da un certo punto di vista, la condizione della coerenza interna, che costituisce la base dell'ipotesi del *bootstrap*, e l'unità e l'interrelazione di tutti i fenomeni, poste in così grande rilievo nel misticismo orientale, sono soltanto aspetti diversi della stessa idea. Questa stretta connessione è espressa nel modo più chiaro nel Taoismo. Per i saggi taoisti, tutti i fenomeni nel mondo facevano parte della Via cosmica, il *Tao*, e le leggi seguite dal *Tao* non erano state date da alcun legislatore divino, ma erano inerenti alla sua stessa natura. Si legge nel *Tuo-tê-ching*:

1. G.F. Chew, « *Bootstrap* »: A Scientific Idea?, cit., pp. 762-763.

L'uomo si conforma alle leggi della Terra,
 la Terra si conforma alle leggi del Cielo,
 il Cielo si conforma alle leggi del Tao,
 il Tao si conforma alle leggi della sua propria natura.¹

Joseph Needham, nel suo profondo studio della scienza e della civiltà cinesi, esamina ampiamente le ragioni per cui il concetto occidentale di leggi fondamentali della natura, con la sua originaria implicazione di un legislatore divino, non ha l'equivalente nel pensiero cinese. « Nella visione cinese del mondo » scrive Needham « la cooperazione armoniosa di tutti gli esseri derivava non dagli ordini di una autorità superiore ad essi esterna, bensì dal fatto che facevano tutti parte di una gerarchia di entità costituenti una struttura cosmica, e ciò a cui essi obbedivano erano i dettami interni della loro propria natura ».²

Secondo Needham, i Cinesi non avevano neanche una parola corrispondente all'idea classica occidentale di « legge della natura ». Il termine che più si avvicina ad essa è *li*, che il filosofo neoconfuciano Chu Hsi³ descrive come « le innumerevoli figure, simili a una venatura, contenute nel *Tao* ».⁴ Needham traduce *li* con

principio di organizzazione » e fa le seguenti osservazioni:

« Nella sua accezione più antica, esso indicava la struttura delle cose, le venature della giada o le fibre in un muscolo... Acquistò il significato di "principio", comunemente attribuitogli dal dizionario, ma conservò sempre il senso, sottinteso, di "struttura"... In esso è implicito il concetto di "legge", ma si tratta di una legge alla quale devono conformarsi le parti del tutto a causa della loro stessa esistenza come parti del tutto... La cosa più importante da dire circa le parti è che esse devono

1. *Tao-tê-ching*, xxv.

2. J. Needham, op. cit., vol. II, p. 582.

3. Si veda p. 120.

4. J. Needham, op. cit., vol. II, p. 484.

adattarsi esattamente al loro posto, insieme con le altre parti, nell'organismo completo che esse compongono ».¹

Facile capire come tale concezione condusse i pensatori cinesi all'idea, sviluppata solo recentemente nella fisica moderna, secondo la quale la coerenza interna è l'essenza di tutte le leggi della natura. Il seguente passo di Ch'en Shun, un discepolo diretto di Chu Hsi che visse intorno al 1200 d.C., fornisce una descrizione molto chiara di questa idea con parole che potrebbero essere considerate una perfetta spiegazione della nozione di coerenza interna nella filosofia del *bootstrap*:

« *Li* è una legge naturale e inevitabile delle situazioni e delle cose... Il significato di "naturale e inevitabile" è che le situazioni (umane) e le cose (naturali) sono fatte in modo tale da adattarsi proprio esattamente al loro posto. Il significato di "legge" sta nel fatto che esse si adattano al loro posto senza il più piccolo eccesso o difetto... Gli uomini dell'antichità, investigando le cose fino all'estremo, e scoprendo il *li*, vollero spiegare la naturale inevitabilità delle situazioni (umane) e delle cose (naturali), e questo significa semplicemente che ciò che essi cercavano erano tutte le posizioni esatte in cui le cose si adattano insieme in maniera precisa. Solo questo ».²

Nella concezione orientale, quindi, come in quella della fisica moderna, ogni cosa dell'universo è connessa a ogni altra cosa e nessuna sua parte è fondamentale. Le proprietà di una parte qualsiasi non sono determinate da qualche legge fondamentale, ma dalle proprietà di tutte le altre parti. Sia i fisici che i mistici riconoscono l'impossibilità che da ciò deriva di spiegare pienamente un qualsiasi fenomeno, ma poi essi assumono atteggiamenti diversi. I fisici, come abbiamo già visto prima, si

1. *Ibid.*, vol. II, pp. 558, 567.
2. Citato in *ibid.*, vol. II, p. 566.

accontentano di una conoscenza approssimata della natura. I mistici orientali, viceversa, non sono interessati alla conoscenza approssimata, « relativa », ma vogliono raggiungere la conoscenza « assoluta », la quale comporta una comprensione della totalità della vita. Essendo ben consapevoli della sostanziale interrelazione dell'universo, essi si rendono conto che spiegare qualcosa significa, in definitiva, mostrare come essa sia connessa a ogni altra cosa. Poiché questo è impossibile, i mistici orientali sostengono che nessun fenomeno singolo può essere spiegato. Aśvaghosa per esempio dice:

« Le cose nella loro natura fondamentale non possono venire nominate né spiegate; non possono venire adeguatamente espresse in nessuna forma di linguaggio ».¹

In genere, quindi, i saggi orientali non si preoccupano di spiegare le cose, ma piuttosto di ottenere una esperienza diretta, non intellettuale, dell'unità di tutte le cose. Questo era l'atteggiamento del Buddha, il quale rispondeva a tutte le domande sul significato della vita, sull'origine del mondo, o sulla natura del *nirvāna*, con un « nobile silenzio ». Le risposte assurde dei maestri Zen, quando si chiede loro di spiegare qualcosa, sembrano avere lo stesso scopo; far comprendere all'allievo che ogni cosa è una conseguenza di tutto il resto; che « spiegare » la natura significa proprio mostrare la sua unità; che, in definitiva, non c'è nulla da spiegare. Quando un monaco chiese a Tozan, che stava pesando del lino, « Che cosa è un Buddha? », Tozan disse: « Questo lino pesa tre libbre »;² e quando fu chiesto a Joshu perché Bodhidharma andò in Cina, egli rispose: « Una quercia nel giardino ».³

Liberare la mente umana dalle parole e dalle spiegazioni è uno dei compiti principali del misticismo orienta-

1. Aśvaghosa, *op. cit.*, p. 56 [citato anche in S. Radhakrishnan, trad. cit., p. 624. N.d.T.].

2. In P. Reps, *op. cit.*, p. 104.

3. *Ibid.*, p. 119.

le. Sia i Buddhisti sia i Taoisti parlano di una « rete di parole », o di una « rete di concetti », estendendo così al mondo dell'intelletto l'idea di una rete interconnessa. Fintanto che noi cerchiamo di spiegare le cose, siamo legati dal *karman*: intrappolati nella nostra rete concettuale. Trascendere parole e spiegazioni significa rompere i legami del *karman* e raggiungere la liberazione.

La visione del mondo dei mistici orientali ha in comune con la filosofia del *bootstrap* della fisica moderna non solo il grande rilievo dato alla mutua interrelazione e alla coerenza interna di tutti i fenomeni, ma anche la negazione dell'esistenza di costituenti fondamentali della materia. In un universo che è un tutto inseparabile e dove tutte le forme sono fluide e sempre mutevoli, non c'è posto per nessuna entità stabilmente fondamentale. Perciò nel pensiero orientale non si incontra, in genere, la nozione di « mattoni fondamentali » della materia. Teorie atomiche della materia non sono mai state prodotte dal pensiero cinese, e sebbene siano sorte in alcune scuole di filosofia indiana, sono piuttosto al margine del misticismo indiano. Nell'Induismo, la nozione di atomi è importante nel sistema Jaina (che è considerato non ortodosso in quanto non accetta l'autorità dei *Veda*). Nella filosofia buddhista, le teorie atomiche sono sorte in due scuole del buddhismo Hinayana, ma vengono considerate come prodotti illusori di *a-vidyā* dal ramo Mahayana che ha maggior importanza. Dice Aśvaghosa:

« Quando dividiamo qualche pezzo di materia grezzo (oppure composito), possiamo ridurlo in atomi. Ma poiché si possono sottoporre anche gli atomi a una ulteriore divisione, tutte le forme dell'esistenza materiale, sia quella grezza sia quelle più fini, non sono altro che l'ombra della particolarizzazione, e noi non possiamo attribuire alcun grado di realtà (assoluta o indipendente) ad esse ».¹

1. Aśvaghosa, *op. cit.*, p. 104.

Le principali scuole del misticismo orientale concordano quindi con la concezione della filosofia del *boot-strap* secondo la quale l'universo è un tutto interconnesso in cui nessuna parte è più fondamentale delle altre, cosicché le proprietà di una parte qualsiasi sono determinate da quelle di tutte le altre. In questo senso, si potrebbe dire che ogni parte « contiene » tutte le altre e, in realtà, una percezione di mutua incorporazione sembra essere una caratteristica dell'esperienza mistica della natura. Come dice Shri Aurobindo,

« Per il senso supermentale non vi è nulla di realmente delimitato: esso si fonda sulla percezione del tutto in ogni cosa e di ogni cosa nel tutto ».

Questa idea di « tutto in ogni cosa » e di « ogni cosa nel tutto » ha trovato la sua elaborazione più ampia nella scuola *Avatarasaka* del buddhismo *Mahāyāna*² che viene spesso considerata il punto più alto e conclusivo del pensiero buddhista. Essa si basa sull'*Avatamsaka-sūtra*, che tradizionalmente si crede sia stato pronunciato dal Buddha mentre era in profonda meditazione dopo il suo Risveglio. Questo voluminoso *sūtra*, che sinora non è stato tradotto in nessuna lingua occidentale, descrive con molti particolari come viene percepito il mondo nello stato di coscienza illuminato, quando « i contorni solidi dell'individualità si dissolvono e la sensazione della limitatezza non ci opprime più ».³ Nella sua ultima parte, chiamata *Gandavyūha*, si racconta la vicenda di un giovane pellegrino, Sudhana, e dà la più vivida descrizione della sua esperienza mistica dell'universo, che gli appare come una perfetta rete di relazioni reciproche, dove tutte le cose e tutti gli eventi interagiscono tra loro in modo tale che ognuno di essi contiene in se stesso tutti gli altri. Il seguente passo del *si tra*, parafrasato da D. T. Suzuki, usa l'immagine di una torre ma-

1. S. Aurobindo, trad. cit., vol. [II, p. 276].

2. Si veda p. 117.

3. D.T. Suzuki, *On Indian Mahāyāna Buddhism*, cit., p. 150.

gnificamente decorata per comunicare l'esperienza di Sudhana:

« La Torre è vasta e spaziosa come il cielo stesso. Il suolo è lastricato con (innumerevoli) pietre preziose di tutti i tipi, e dentro la Torre vi sono (innumerevoli) palazzi, portici, finestre, scale, cancellate, e corridoi, ciascuno dei quali è fatto dei sette tipi di gemme preziose...»

« E dentro questa Torre, spaziosa e decorata con raffinatezza, vi sono altre centinaia di migliaia... di torri, ognuna delle quali è decorata con raffinatezza come la Torre principale e spaziosa come il cielo. E tutte queste torri, incalcolabili in numero, non si coprono affatto l'una con l'altra; ognuna conserva la sua esistenza individuale in perfetta armonia con tutto il resto; non c'è nulla qui che impedisca a una torre di essere fusa con tutte le altre individualmente e collettivamente; c'è uno stato di perfetta unione reciproca e tuttavia di perfetto ordine. Sudhana, il giovane pellegrino, vede se stesso in tutte le torri così come in ogni singola torre, là dove tutte le cose sono contenute in una e ognuna contiene tutte le cose»)

La Torre, in questo passo è, naturalmente, una metafora per indicare l'universo stesso, e la perfetta fusione reciproca delle sue parti è nota nel buddhismo Mahāyāna come « compenetrazione ». *L'Avatamsaka* chiarisce che questa compenetrazione è una interrelazione di tipo essenzialmente dinamico non solo spaziale ma anche temporale. Come abbiamo già accennato prima,² anche spazio e tempo sono visti come compenetrati.

L'esperienza di compenetrazione nello stato di illuminazione può essere intesa come una visione mistica di una situazione di *bootstrap* completamente realizzata, nella quale tutti i fenomeni dell'universo sono armoniosamente intercorrelati. In tale stato di coscienza, la sfera

1. *Ibid.*, pp. 183-184.

2. *Si veda* p. 200.

dell'intelletto è trascesa e le spiegazioni causali diventano superflue, essendo sostituite dall'esperienza diretta della reciproca interdipendenza di tutte le cose e di tutti gli eventi. Il concetto buddhista di compenetrazione va quindi molto al di là di qualsiasi teoria scientifica del *bootstrap*. Ciononostante, nella fisica moderna esistono modelli di particelle subatomiche, basati sull'ipotesi del *bootstrap*, che rivelano la più sorprendente corrispondenza con la concezione del buddhismo Mahāyāna.

L'idea del *bootstrap*, quando viene formulata in un contesto scientifico, dev'essere limitata e approssimata, e la sua principale approssimazione consiste nel trascurare tutto tranne le interazioni forti. Poiché queste forze di interazione sono circa un centinaio di volte più intense di quelle elettromagnetiche, e di molti ordini di grandezza più intense delle interazioni deboli e gravitazionali, tale approssimazione sembra ragionevole. Il *bootstrap* in quanto teoria scientifica tratta quindi esclusivamente le particelle a interazione forte, o adroni, e pertanto è spesso chiamato « *bootstrap* degli adroni ». Esso è formulato nel contesto della teoria della matrice S e il suo scopo è di ricavare tutte le proprietà degli adroni e delle loro interazioni unicamente a partire dalla condizione di coerenza interna. Le sole « leggi fondamentali » accettate sono i principi generali della matrice S esaminati nel precedente capitolo, che risultano necessari per i nostri metodi di osservazione e di misura e quindi costituiscono la struttura indiscussa necessaria per tutta la scienza. Può darsi che, temporaneamente, si debbano postulare come « principi fondamentali » altre proprietà della matrice S, ma ci si aspetterà che nella teoria completa essi risultino una conseguenza necessaria della condizione di coerenza interna. Ad esempio, il postulato che tutti gli adroni formino sequenze descritte dal formalismo di Regge¹ può essere di questo tipo.
Nel linguaggio della teoria della matrice S, allora,

1. Si veda p. 316.

l'ipotesi del *bootstrap* suggerisce che l'intera matrice S, e quindi tutte le proprietà degli adroni, possano essere determinate unicamente a partire dai principi generali perché esiste una sola possibile matrice S coerente con tutti e tre i principi. Questa congettura è sostenuta dal fatto che i fisici non sono mai riusciti a costruire un modello matematico che soddisfi i tre principi generali. Se l'unica matrice S coerente è quella che descrive tutte le proprietà e tutte le interazioni degli adroni, come suppone l'ipotesi del *bootstrap*, l'insuccesso dei fisici nel costruire una matrice S parziale e coerente diventa comprensibile.

I fenomeni ai quali prendono parte gli adroni sono talmente complessi che non è affatto certo che si riuscirà effettivamente a costruire quell'unica matrice S completa e coerente; tuttavia si possono immaginare una serie di modelli parzialmente soddisfacenti. Ciascuno di essi potrebbe proporsi di coprire solo una parte della fisica degli adroni e conterebbe quindi alcuni parametri non spiegati che ne indicherebbero i limiti; ma i parametri di un modello potrebbero essere spiegati da un altro modello. Così gradualmente una quantità via via maggiore di fenomeni relativi agli adroni può essere trattata con precisione sempre crescente mediante un mosaico di modelli interconnessi, il cui numero netto di parametri non spiegati continuerà a diminuire. L'attributo *bootstrap* non è quindi mai appropriato per nessun modello singolo, ma può essere adoperato soltanto per una combinazione di modelli reciprocamente coerenti, nessuno dei quali è più fondamentale degli altri. A questo proposito Chew ha scritto: « Un fisico che sia in grado di esaminare, senza privilegiarne nessuno in particolare, un numero qualsiasi di modelli differenti parzialmente riusciti è automaticamente un seguace del *bootstrap* ».¹

Già esistono alcuni modelli parziali di questo tipo che sono stati formulati nel linguaggio della matrice S e che descrivono alcuni aspetti dei fenomeni degli adroni. I

1. G.F. Chew, *Hadron Bootstrap: Triumph of Frustration?*, cit., p. 27.

più riusciti tra di essi sono i cosiddetti « modelli duali » che fanno un uso esteso della descrizione duale delle reazioni degli adroni in termini di canali diretti e incrociati.¹ Questi modelli incorporarlo, per la prima volta, due dei tre principi generali,² oltre alla proprietà di incrocio della matrice S e al formalismo di Regge, e fino ad oggi costituiscono il tentativo più promettente di attuare il programma del *bootstrap*.

L'immagine degli adroni che si ottiene da questi modelli *a bootstrap* è spesso riassunta nella frase provocatoria, « ogni particella è composta da tutte le altre particelle ». Non si deve pensare, tuttavia, che ogni adrone contenga tutte le altre particelle in senso classico, statico. Più che « contenersi » l'un l'altro, gli adroni si « coinvolgono » l'un l'altro nel senso dinamico e probabilistico della teoria della matrice S, in quanto ciascun adrone è un potenziale « stato legato » di tutti gli insiemi di particelle che possono interagire tra loro per formare Padrone in esame.³ In questo senso, tutti gli adroni sono strutture composite i cui componenti sono ancora adroni, e nessuno di essi è più elementare degli altri. Le forze di legame che tengono insieme le strutture si manifestano attraverso lo scambio di particelle, e queste particelle scambiate sono di nuovo adroni. Ciascun adrone, perciò, ha tre ruoli: è una struttura composita, può essere un costituente di un altro adrone, e può essere scambiato tra costituenti e quindi contribuire a formare le forze che tengono insieme una struttura. Il concetto di *crossing* è fondamentale in questa descrizione. Ogni adrone è tenuto insieme da forze associate allo scambio di altri adroni nel canale incrociato, e ciascuno di questi adroni è, a sua volta, tenuto insieme da forze alle quali il primo adrone contribuisce. Quindi, « ciascuna particella aiuta a generare altre particelle, che a loro volta la

1. Si veda p. 314.

2. Essi non soddisfano il cosiddetto « principio di unitarietà »; si veda pp. 316-317.

3. Si veda p. 306.

generano ».¹ In questo modo, l'intero insieme di adroni genera se stesso, ovvero si tira su reggendosi, per così dire, ai « tiranti dei propri stivali ». L'idea, allora, sarebbe che questo meccanismo estremamente complesso del *bootstrap* sia autodeterminantesi, che cioè esista un solo modo in cui può essere ottenuto. In altre parole, c'è un solo possibile insieme di adroni pienamente coerente: quello osservato in natura.

Nella teoria *bootstrap* degli adroni, tutte le particelle sono composte dinamicamente le une dalle altre, in modo intimamente coerente, e in questo senso si può dire che esse si « contengono » reciprocamente. Nel buddhismo Mahayana, una nozione molto simile viene applicata all'universo nel suo complesso. Questa rete cosmica di cose e di eventi che si compenetrano è illustrata nell'*Avatamsaka-sūtra* dalla metafora della rete di Indra, una grande rete di gemme preziose che pende sopra il palazzo del dio Indra. Così si esprime Sir Charles Eliot:

« Si dice che nel cielo di Indra esiste una rete di perle disposta in modo tale che, se se ne osserva una, si vedono tutte le altre riflesse in essa. Nello stesso modo, ogni oggetto nel mondo non è semplicemente se stesso ma contiene ogni altro oggetto, e in effetti è ogni altra cosa. "In ogni particella di polvere, sono presenti innumerevoli Buddha".² ».

La somiglianza di questa immagine con quella degli adroni nella teoria del *bootstrap* è davvero sorprendente. La metafora della rete di Indra può legittimamente essere considerata il primo modello a *bootstrap*, creato dai saggi orientali circa duemilacinquecento anni prima

1. G.F. Chew, M. Gell-Mann and H. Rosenfeld, *Strongly Interacting Particles*, in « *Scientific American* », CCX (1964), p. 83 [trad. it. Particelle a interazione forte], in *Il mondo subnucleare*, Le Scienze, Milano 1977, p. 43]

2. C. Eliot, *Japanese Buddhism*, Barnes & Noble, New York 1969, pp. 109-110.

dell'inizio della fisica delle particelle. I Buddhisti sostengono che il concetto di compenetrazione non è comprensibile intellettualmente, ma dev'essere percepito da una mente illuminata nello stato di meditazione. D. T. Suzuki, per esempio, scrive:

Il Buddha [nel *Gandavyūha*] non è più colui che vive nel mondo immaginabile nello spazio e nel tempo. La sua coscienza non è quella di una mente ordinaria che deve essere regolata in base ai sensi e alla logica... Il Buddha del *Gandavyūha* vive in un mondo spirituale che ha le sue proprie regole ».¹

Nella fisica moderna, la situazione è del tutto simile. L'idea che ogni particella contenga tutte le altre è inimmaginabile nello spazio e nel tempo ordinari. Essa descrive una realtà che, come quella del Buddha, ha le sue proprie regole. Nel caso degli adroni dell'ipotesi del *bootstrap*, si tratta delle regole della meccanica quantistica e della teoria della relatività, e il concetto chiave è che le forze che tengono insieme le particelle sono esse stesse particelle scambiate nei canali incrociati. A questo concetto può essere dato un preciso significato matematico, ma è quasi impossibile visualizzarlo. Si tratta di un aspetto specificamente relativistico del *bootstrap*, e poiché non abbiamo alcuna esperienza diretta del mondo a quattro dimensioni dello spazio-tempo, è estremamente difficile immaginare come una singola particella possa contenere tutte le altre particelle e nello stesso tempo essere parte di ciascuna di esse. Questo, tuttavia, è esattamente il punto di vista del Mahāyāna:

« Quando l'uno è isolato da tutte le altre cose, l'uno è visto come se le permeasse tutte quante e nel medesimo tempo come se le comprendesse tutte in se stesso ».²

L'idea che ciascuna particella contenga tutte le altre non è sorta solo nel misticismo orientale, ma anche nel

1. D.T. Suzuki, *On Indian Mahāyāna Buddhism*, cit., p. 148.
 2. D.T. Suzuki, *The Essence of Buddhism*, cit., p. 52.

pensiero mistico occidentale. Essa è implicita, per esempio, nei famosi versi di William Blake:

Vedere il mondo in un granello di sabbia E il cielo in un fiore di campo,

Tenere l'infinito nel palmo della tua mano, E l'eternità in un'ora.

Qui, di nuovo, una visione mistica ha portato a una immagine di tipo *bootstrap*; se il poeta vede il mondo in un granello di sabbia, la fisica moderna lo vede in unadrone.

Una immagine analoga compare nella filosofia di Leibniz il quale considerava il mondo come costituito da sostanze fondamentali chiamate « monadi », ciascuna delle quali rispecchiava l'intero universo. Ciò lo portò a una concezione della materia che presenta analogie con quella del buddhismo Mahāyāna e con la teoria *bootstrap* degli adroni.¹ Nella *Monadologia*, Leibniz scrive:

« Ogni porzione di materia può essere concepita come un giardino pieno di piante e come uno stagno pieno di pesci; ma ogni ramo di pianta, ogni membro d'animale, ogni goccia dei loro umori, è ancora un giardino simile, un simile stagno »².

È interessante supporre che la somiglianza tra queste righe e i passi dell'*Avatamsaka-sūtra* citati prima potrebbe derivare da una effettiva influenza buddhista su Leibniz. Joseph Needham ha sostenuto³ che Leibniz conosceva bene il pensiero e la cultura cinesi attraverso le traduzioni che egli ricevette da missionari gesuiti, e che la sua filosofia potrebbe benissimo essere stata ispirata dalla scuola neoconfuciana di Chu Hsi con la quale

1. Le analogie tra la concezione della materia di Leibniz e la teoria *bootstrap* degli adroni sono state discusse in un recente articolo; si veda G. Gale, *Chew's Monadology*, in « Journal of History of Ideas », xxxv (1974), pp. 339-348.

2. P.P. Wiener, *Leibniz-Selections*, Ch. Schribner's Sons, New York 1951, p. 547 [si veda G. W. Leibniz, *La Monadologia*, La Nuova Italia, Firenze 1934, p. 180].

3. In J. Needham, op. cit., vol. II, pp. 496 sgg.

aveva familiarità. Questa scuola, comunque, ha una delle sue radici nel buddhismo Mahāyāna, e in particolare nella scuola *Avatamsaka* (in cinese *Hua-yen*) del ramo Mahāyāna. Needham, in effetti, cita la parabola della rete di perle di Indra esplicitamente in rapporto alle monadi leibniziane.

Un più dettagliato confronto della nozione di Leibniz di « relazioni speculari » tra le monadi con l'idea di compenetrazione nel Mahāyāna sembra mostrare, tuttavia, che le due sono piuttosto differenti, e che la concezione buddhista della materia si avvicina di più allo spirito della fisica moderna che non quella di Leibniz. La differenza principale tra la *Monadologia* e la concezione buddhista sembra essere che le monadi leibniziane sono sostanze fondamentali, intese come i costituenti ultimi della materia. Leibniz inizia la *Monadologia* con le parole: « La monade di cui parleremo qui, non è altro che una sostanza *semplice*, che entra nei composti; semplice, cioè senza parti ». Egli prosegue dicendo: « Queste Monadi sono i veri atomi della natura, e, in una parola, gli clementi di tutte le cose ».¹ Questa concezione di tipo « fondamentalista » è in forte contrasto con la filosofia del *bootstrap*, ed è anche totalmente differente dalla concezione del buddhismo Mahāyāna che rifiuta tutte le entità o sostanze fondamentali. L'impostazione fondamentalista del pensiero di Leibniz si rispecchia anche nella sua concezione delle forze, che egli considera « leggi impresse per decreto divino » ed essenzialmente differenti dalla materia. « Forze ed attività » egli scrive « non possono essere stati di una cosa solamente passiva quale è la materia ».² Ancora una volta, ciò è contrario alle teorie della fisica moderna e del misticismo orientale.

Per quanto riguarda l'effettiva interrelazione tra le monadi, la principale differenza rispetto alla teoria *boot-*

1. P.P. Wiener, op. cit., p. 533 [si veda G.W. Leibniz, op. cit., pp. 129-130, 132].
 2. Ibid., p. 161.

strap degli adroni sembra essere che le monadi non interagiscono tra loro; esse « non hanno finestre », come dice Leibniz, e semplicemente si riflettono l'una nell'altra. Nella teoria *bootstrap* degli adroni, viceversa, come nel Mahāyāna, l'accento è sull'interazione, o « compenetrazione », di tutte le particelle. Inoltre, le concezioni *bootstrap* e Mahāyāna della materia sono entrambe di tipo « spazio-temporale », e considerano gli oggetti come eventi la cui mutua compenetrazione può essere capita solo se ci si rende conto che anche spazio e tempo si compenetranano.

L'ipotesi del *bootstrap* non è ancora saldamente fondata e le difficoltà tecniche che si incontrano nel completarla sono considerevoli. Ciononostante, alcuni fisici già meditano sulla possibilità di estendere l'approccio basato sulla coerenza interna al di là della descrizione degli adroni. Nell'attuale contesto della teoria della matrice S, una tale estensione non è possibile. La struttura della matrice S è stata elaborata specificamente per descrivere le interazioni forti e non può essere applicata alle altre particelle fisiche; la ragione principale di ciò sta nella impossibilità di trattare le particelle prive di massa che caratterizzano tutte le altre interazioni. Perciò, per ampliare la teoria *bootstrap* degli adroni si dovrà trovare una struttura più generale, e in questa nuova struttura alcuni dei concetti che attualmente sono stati accettati senza spiegazione dovranno essere tradotti in termini di *bootstrap*; cioè dovranno essere ottenuti dalla condizione di coerenza interna globale. Secondo Geoffrey Chew, questo ulteriore sviluppo potrebbe comprendere anche la nostra concezione macroscopica di spazio-tempo e, forse, addirittura quella di coscienza umana:

« Portata alle sue estreme conseguenze logiche, l'ipotesi del *bootstrap* comporta che l'esistenza della coscienza, insieme con tutti gli altri aspetti della natura, è necessaria per la coerenza interna del tutto ».¹

1. G.F. Chew, *Bootstrap* »: A Scientific Idea?, cit., p. 763.

Questa concezione, ancora una volta, è in perfetta armonia con le idee delle tradizioni mistiche orientali che hanno sempre considerato la coscienza come parte integrante dell'universo. Nella concezione orientale, gli esseri umani, come tutte le altre forme di vita, sono parti di un tutto inseparabile e organico. La loro intelligenza quindi indica che anche il tutto è intelligente. L'uomo è visto come la dimostrazione vivente dell'intelligenza cosmica; in noi, l'universo esercita ripetutamente la sua capacità di produrre forme attraverso le quali esso diventa coscientemente consapevole di se stesso.

Nella fisica moderna, la questione della coscienza è sorta in rapporto all'osservazione dei fenomeni atomici. La meccanica quantistica ha chiarito che questi fenomeni possono essere compresi solo come anelli di una catena di processi, che termina nella coscienza dell'osservatore umano.¹ Come dice Eugene Wigner: « Non era possibile formulare le leggi [della meccanica quantistica] in un modo pienamente coerente senza fare riferimento alla coscienza ».² La formulazione pragmatica della meccanica quantistica usata dagli scienziati nel lavoro di ricerca non fa esplicitamente riferimento alla loro coscienza. Wigner ed altri fisici hanno sostenuto, tuttavia, che l'esplicita inclusione della coscienza umana sarà forse un aspetto essenziale delle future teorie della materia.

Tale sviluppo aprirebbe emozionanti possibilità per un influsso reciproco diretto tra la fisica e il misticismo orientale. La comprensione della propria coscienza e della sua relazione con il resto dell'universo è il punto di partenza di tutta l'esperienza mistica. Per secoli, i mistici orientali hanno sperimentato varie modalità di coscienza, e le conclusioni a cui sono giunti sono spesso radicalmente differenti dalle idee ritenute valide in Occidente. Se i fisici desiderano realmente inserire nel

1. E.P. Wigner, *Symmetries and Reflections—Scientific Essays*, M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 1970, p. 172.

2. Si veda p. 159.

campo delle loro ricerche la natura della coscienza umana, lo studio delle idee orientali può fornire loro nuovi, stimolanti punti di vista.

Quindi il futuro ampliamento della teoria *bootstrap* degli adroni, con la possibile introduzione in una visione *bootstrap* sia dello spazio-tempo sia della coscienza umana, dischiude possibilità senza precedenti, che possono andare ben oltre la struttura convenzionale della scienza:

« Tale passo futuro potrebbe essere immensamente più radicale di qualunque altro, compresa la teoria *bootstrap* degli adroni; saremmo obbligati ad affrontare il concetto elusivo di esservazione e, forse, persino quello di coscienza. Può darsi quindi che gli sforzi che facciamo attualmente per elaborare la teoria *bootstrap* degli adroni siano solo una anticipazione di una forma completamente nuova di impegno intellettuale, che non solo si collocherà al di fuori della fisica, ma non potrà neppure essere considerata "scientifico" ».

Dove ci porta dunque l'idea del *bootstrap*? Questo, naturalmente, nessuno lo sa, ma è affascinante riflettere su questo destino finale. Si può immaginare una rete di teorie future che copra un campo sempre crescente di fenomeni naturali con una precisione via via maggiore; una rete che conterrà una quantità sempre minore di aspetti inspiegati, e che dedurrà parti sempre più ampie della sua struttura dalla coerenza reciproca delle sue parti. Un giorno, allora, si raggiungerà il pulito in cui l'unico aspetto inspiegato di questa rete di teorie saranno gli elementi strutturali della scienza stessa. Oltre questo punto, la teoria non sarà più in grado di esprimere i suoi risultati con parole, o con concetti razionali, e andrà quindi al di là della scienza. Invece di una *teoria bootstrap* della natura, essa diventerà una *visione bootstrap* della natura, che trascende il campo del pensiero e del linguaggio, che conduce fuori dalla scienza, nel

1. G.F. Chew, « *Bootstrap A Scientific Idea?*, cit., p. 765.

mondo di *a-cintya*, l'impensabile. La conoscenza contenuta in una tale visione sarà completa, ma non potrà essere comunicata con parole. Essa sarà la conoscenza che aveva in mente Lao-tzu, più di duemila anni fa, quando disse:

Colui che sa non parla;
Colui che parla non sa.¹

1. *Tao-tê-ching*, LXXXI.

EPILOGO

Le filosofie religiose orientali si interessano della conoscenza mistica atemporale che sta al di là del ragionamento e che non può essere adeguatamente espressa con parole. Il rapporto che questa conoscenza ha con la fisica moderna è solo uno dei suoi molteplici aspetti e, come tutti gli altri, non può essere dimostrato in maniera definitiva, ma deve essere esperito in un modo intuitivo diretto. Pertanto spero di essere riuscito, in una certa misura, non a dare una rigorosa dimostrazione, ma, piuttosto, a offrire al lettore una opportunità di rivivere di quando in quando una esperienza che è diventata per me fonte di continua gioia e ispirazione: l'esperienza che ci fa capire come le teorie e i modelli principali della fisica moderna portano a una visione del mondo intimamente coerente e in perfetta armonia con le concezioni del misticismo orientale.

Per coloro che hanno percepito questa armonia, l'importanza della corrispondenza tra la concezione del mondo dei fisici e quella dei mistici è fuori discussione. La domanda interessante da porci, allora, non è se questa corrispondenza esiste, ma *perché* esiste; e, inoltre, che significato ha.

Nel tentativo di comprendere il mistero della Vita, l'uomo ha seguito molti approcci differenti. Tra questi, vi sono la via dello scienziato e quella del mistico, ma ne esistono molte altre; la via dei poeti, dei bambini, dei pagliacci, degli sciamani, per nominarne solo alcune. Queste vie hanno prodotto descrizioni differenti del mondo, sia verbali sia non verbali, che mettono in rilievo aspetti diversi. Tutte sono valide e utili nel contesto nel quale sono sorte. Tutte quante, però, sono solo descrizioni, o rappresentazioni, della realtà e sono quindi limitate: nessuna riesce a dare un quadro completo del mondo.

La concezione meccanicistica del mondo della fisica classica è utile per descrivere il tipo di fenomeni fisici che incontriamo nella vita di ogni giorno e quindi può servire quando si ha a che fare con il nostro ambiente quotidiano; inoltre si è dimostrata estremamente fruttuosa come base per la tecnologia. Tuttavia, essa è inadeguata per descrivere i fenomeni fisici in campo subatomico. Del tutto opposta alla concezione meccanicistica del mondo è quella dei mistici, che può essere compendiata nella parola « organicismo >>, in quanto considera tutti i fenomeni nell'universo come parti integranti di un tutto inseparabile e armonioso. Questa visione del mondo emerge nelle tradizioni mistiche dagli stati di coscienza meditativi. Nella loro descrizione del mondo, i mistici usano concetti tratti da queste esperienze non ordinarie che, in generale, non sono adatti per una descrizione scientifica dei fenomeni macroscopici. La concezione del mondo organicistica non è vantaggiosa quando si tratta di costruire macchine, e nemmeno per affrontare i problemi tecnici in un mondo sovrappopolato.

Nella vita di tutti i giorni, allora, sia la concezione meccanicistica sia quella organicistica dell'universo sono valide e utili: l'una per la scienza e la tecnologia, l'altra per una vita spirituale equilibrata e compiuta. Al di là delle dimensioni del nostro ambiente quotidiano, tuttavia, i concetti meccanicistici perdono la loro validi-

tà e devono essere sostituiti da concetti organicistici che sono molto simili a quelli usati dai mistici. Questa è l'esperienza essenziale della fisica moderna che ha costituito l'argomento della nostra discussione. La fisica del Novecento ha mostrato che i concetti della visione organicistica del mondo, sebbene di scarso valore per la scienza e per la tecnologia su scala umana, diventano estremamente utili a livello atomico e subatomico. La concezione organicistica, perciò, sembra essere più fondamentale di quella meccanicistica. La fisica classica, che è basata su quest'ultima, può essere ricavata dalla meccanica quantistica, la quale comprende la prima, mentre non è possibile il contrario. Ciò sembra dare una prima indicazione del perché potremmo aspettarci che le concezioni del mondo della fisica moderna e del misticismo orientale siano simili. Entrambe si manifestano quando l'uomo indaga sulla natura essenziale delle cose e scopre una realtà diversa dietro la superficiale apparenza meccanicistica della vita quotidiana: in fisica, nella realtà più profonda della materia; nel misticismo, nella realtà più profonda della coscienza.

Le corrispondenze tra le concezioni dei fisici e quelle dei mistici diventano ancora più plausibili quando ricordiamo le altre somiglianze che esistono, nonostante la diversità delle strade seguite. Anzitutto, il loro metodo è interamente empirico: i fisici traggono la loro conoscenza da esperimenti; i mistici da intuizioni legate alla meditazione. Entrambe sono osservazioni, e in entrambi i campi queste osservazioni sono riconosciute come l'unica fonte di conoscenza. L'oggetto dell'osservazione è naturalmente molto diverso nei due casi. Il mistico guarda dentro la sua coscienza e la esplora ai suoi vari livelli, che comprendono il corpo come manifestazione fisica della mente. L'esperienza del proprio corpo è infatti messa in rilievo in molte tradizioni orientali ed è spesso vista come la chiave dell'esperienza mistica del mondo. Quando stiamo bene in salute, non abbiamo la sensazione di nessuna parte specifica del nostro corpo,

ma siamo consapevoli di esso come di un tutto integrato, e questa consapevolezza genera una sensazione di benessere e di felicità. Nello stesso modo, il mistico è consapevole della totalità del cosmo intero, che viene sentito come una estensione del corpo. Per usare le parole del Lama Govinda:

« Per l'uomo illuminato... la cui coscienza abbraccia l'universo, l'universo diventa il suo "corpo" mentre il suo corpo fisico diventa una manifestazione della Mente Universale, la sua visione interiore diventa espressione della sua più alta realtà e la sua parola espressione della verità eterna e del potere mantrico ».¹

Al contrario del mistico, il fisico inizia la sua indagine sull'essenza delle cose studiando il mondo materiale. Penetrando negli strati sempre più profondi della materia, egli è diventato consapevole della fondamentale unità di tutte le cose e di tutti gli eventi. Inoltre ha anche imparato che egli stesso e la sua coscienza sono parte integrante di questa unità. Il mistico e il fisico giungono così alla stessa conclusione: il primo partendo dall'interiorità, il secondo dal mondo esterno. L'armonia tra le loro concezioni conferma l'antica saggezza indiana secondo cui *Brahman*, la realtà esterna ultima, è identica a *Ātman*, la realtà interna.

Una ulteriore somiglianza tra la via del fisico e quella del mistico è il fatto che le loro osservazioni avvengono in campi che sono inaccessibili ai sensi ordinari: per la fisica moderna, il campo del mondo atomico e subatomico; per il misticismo, gli stati non ordinari di coscienza nei quali il mondo dei sensi viene trasceso. I mistici parlano spesso delle loro esperienze di dimensioni superiori nelle quali le impressioni originatesi in centri diversi di coscienza sono integrate in un tutto armonioso. Una situazione analoga esiste nella fisica moderna dove è stato elaborato un formalismo « spazio-tempo » qua-

1. A. Govinda, trad. cit., pp. 221-222.

dridimensionale che unifica concetti e osservazioni che nell'ordinario mondo tridimensionale appartengono a categorie diverse. In entrambi i campi, le esperienze pluridimensionali trascendono il mondo sensoriale e è perciò praticamente impossibile esprimere nel linguaggio ordinario.

Constatiamo che le vie del fisico moderno e del mistico orientale, che a prima vista sembrano totalmente prive di correlazioni, hanno, in effetti, molte cose in comune. Perciò, non dovrebbe sorprendere troppo che esistano corrispondenze impressionanti nelle loro descrizioni del mondo. Quando queste corrispondenze tra la scienza occidentale e il misticismo orientale saranno accettate, sorgeranno moltissime domande sulle loro implicazioni. La scienza moderna, con tutti i suoi raffinati macchinari, non sta semplicemente riscoprendo la sapienza antica, nota ai saggi orientali da migliaia di anni? I fisici non dovrebbero quindi abbandonare il metodo scientifico e cominciare a meditare? Oppure, può esserci una influenza reciproca tra scienza e misticismo, o forse persino una sintesi?

Ritengo che a tutte queste domande si debba dare una risposta negativa, in quanto scienza e misticismo sono a mio giudizio due manifestazioni complementari della mente umana, delle sue facoltà razionali e intuitive. Il fisico moderno fa esperienza del mondo attraverso una specializzazione estrema della mente razionale; il mistico attraverso una specializzazione estrema della mente intuitiva. Le due impostazioni sono completamente differenti e comportano ben più che specifiche concezioni del mondo fisico. Tuttavia, esse sono complementari, come abbiamo imparato a dire in fisica. Nessuna delle due è compresa nell'altra, né può venire ridotta all'altra, ma entrambe sono necessarie e si completano a vicenda per una più piena comprensione del mondo. Per parafrasare un vecchio detto cinese, i mistici comprendono le radici del *Tao* ma non i suoi rami; gli scienziati ne conoscono i rami ma non le radici.

La scienza non ha bisogno del misticismo e il misticismo non ha bisogno della scienza; ma l'uomo ha bisogno dell'uno e dell'altra. L'esperienza mistica è necessaria per comprendere la natura più profonda delle cose, e la scienza è essenziale per la vita moderna. Ciò che ci serve, quindi, non è una sintesi ma un'interazione dinamica tra intuizione mistica e analisi scientifica.

Finora, questa esigenza non è stata soddisfatta nella nostra società. Il nostro atteggiamento è ancora troppo *yang* – per usare di nuovo un termine cinese –, troppo razionale, maschile e aggressivo. Gli scienziati stessi ne sono un tipico esempio. Sebbene le loro teorie li stiano portando a una concezione del mondo che è simile a quella dei mistici, è sorprendente quanto poco ciò abbia influito sugli atteggiamenti della maggior parte degli scienziati. Nel misticismo, d'altra parte, la conoscenza non può essere separata da un certo modo di vivere che ne diventa la manifestazione vivente. Raggiungere la conoscenza mistica significa subire una trasformazione; si potrebbe persino dire che la conoscenza è la trasformazione. La conoscenza scientifica, invece, può spesso rimanere astratta e teorica. Così la maggior parte dei fisici di oggi non sembrano rendersi conto delle implicazioni filosofiche, culturali e spirituali delle loro teorie. Molti di loro sostengono attivamente una società che è ancora basata su una concezione del mondo meccanicistica e frammentata, senza vedere che la scienza punta oltre tale concezione, verso una unità dell'universo che includa non solo il nostro ambiente naturale ma anche i nostri simili. Io credo che la concezione del mondo implicita nella fisica moderna sia incompatibile con la nostra attuale società, la quale non riflette l'armonioso interrelarsi delle cose che osserviamo in natura. Per raggiungere un tale stato di equilibrio dinamico sarà necessaria una struttura economica e sociale radicalmente differente: una rivoluzione culturale nel vero senso della parola. La sopravvivenza della nostra intera civiltà può dipendere dalla nostra capacità di effettuare

un simile cambiamento. Essa dipenderà, in definitiva, dalla nostra capacità di assumere alcuni degli atteggiamenti *yin* del misticismo orientale, per esperire la globalità della natura e attingere l'arte di vivere in armonia con essa.

BIBLIOGRAFIA E INDICE ANALITICO

BIBLIOGRAFIA

- Alfven, H., *Worlds-Antiworlds*, W.H. Freeman, San Francisco, 1966 [trad. it. *Due mondi speculari*, Il Saggiatore, Milano 1971].
- Aśvaghosa, *The Awakening of Faith*, trad. di D.T. Suzuki, Open Court, Chicago 1900.
- Aurobindo, S., *The Synthesis of Yoga*, Aurobindo Ashram Press, Pondicherry, India 1958 [*La sintesi dello Yoga*, Ubaldini, Roma 1967].
- *On Yoga II*, Aurobindo Ashram Press, Pondicherry, India . 1958.
- Bohm, D. e Hiley, B., *On the Intuitive Understanding of Nonlocality as Implied by Quantum Theory*, in « Foundations of Physics », V (1975), pp. 13-109.
- Bohr, N., *Atomic Physics and Human Knowledge*, John Wiley & Sons, New York 1958 (parzialmente tradotto in *Teoria dell'atomo e conoscenza umana*, Boringhieri, Torino 1961).
- *Atomic Physics and the Description of Nature*, Cambridge University Press, Cambridge 1934.
- Capek, M., *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*, D. Van Nostrand, Princeton, N. J. 1961.
- Castaneda, C., *The Teachings of Don Juan*, Ballantine Books, New York 1968 [trad. it. *A scuola dallo stregone*, Astrolabio, Roma 1970].

- Castaneda, C., *A Separate Reality*, Simon and Schuster, New York 1971 [trad. it. *Una realtà separata*, Astrolabio, Roma 1972].
- *Journey to Ixtlan*, Simon and Schuster, New York 1972 [trad. it. *Viaggio a Ixtlan*, Astrolabio, Roma 1973].
 - *Tales of Power*, Simon and Schuster, New York 1974 [trad. it. *L'isola del Tonal*, Rizzoli, Milano 1975].
- Chew, G.F., « *Bootstrap*: A Scientific Idea? », in « *Science* », CLXI (1968), pp. 762-765.
- *Hadron Bootstrap: Triumph or Frustration?*, in « *Physics To-day* », XXIII (1970), pp. 23-28.
 - « Impasse for the Elementary Particle Concept », in *The Great Ideas Today*, III, William Benton, Chicago 1974.
- Chew, G.F., Gell-Mann, M. e Rosenfeld, A.H., *Strongly Inter-acting Particles*, in « *Scientific American* », CCX (1964), pp. 74-83 [trad. it. « Particelle a interazione forte », in *Il mondo subnucleare*, Le Scienze, Milano 1977, pp. 26-43].
- Chuang Tzu*, transl. James Legge, arranged by Clae Waltham, Ace Books, New York 1971.
- Chuang Tzu, Inner Chapters*, transl. Gia-Fu Feng and Jane English, Vintage Books, New York 1974.
- Coomaraswamy, A.K., *Hinduism and Buddhism*, Philosophical Library, New York 1943 [trad. it. *Induismo e Buddhismo*, Rusconi, Milano 1973].
- *The Dance of Shiva*, The Noonday Press, New York 1969.
 - Crosland, M.P., a cura di, *The Science of Matter*, History of Science Readings, Penguin Books, Baltimore, Md. 1971.
- David-Neel, A., *Tibetan journey*, John Lane, London 1936. Einstein, A., *Essays in Science*, Philosophical Library, New York 1934.
- *Out of My Later Years*, Philosophical Library, New York 1950 [trad. it. *Pensieri degli anni difficili*, Boringhieri, Torino 1950].
- Einstein, A., e altri, *The Principle of Relativity*, Dover, New York 1923.
- Eliot, C., *Japanese Buddhism*, Barnes & Noble, New York 1969.
- Feynman, R.P., Leighton, R.B. e Sands, M., *The Feynman Lectures on Physics*, Addison-Wesley, Reading, Mass. 1966 [trad. it. *La fisica di Feynman*, edizione bilingue, Inter European Editions, Amsterdam 1975].
- Ford, K.W., *The World of Elementary Particles*, Blaisdell, New

- York 1965 [trad. it. *Il mondo delle particelle elementari*, Mondadori, Milano 1975].
- Fung Yu-Lan, *A Short History of Chinese Philosophy*, Macmillan, New York 1958 [trad. it. *Storia della filosofia cinese*, Mondadori Milano 1956].
- Gale, G., *Chew's Monadology*, in « Journal of History of Ideas », XXXV (1974), pp. 339-348.
- Govinda, A., *Foundations of Tibetan Mysticism*, Samuel Weiser, New York 1974 [trad. it. *I fondamenti del misticismo tibetano*, Ubaldini, Roma 1972].
- *Logic and Symbol in the Multi-Dimensional Conception of the Universe*, in « Main Currents », XXV (1969), pp. 59-62. Guthrie, W.K.C., *A History of Greek Philosophy*, Cambridge University Press, Cambridge 1969.
- Heisenberg, W., *Physics and Philosophy*, Harper Torchbooks, New York 1958 [trad. it. *Fisica e filosofia*, Il Saggiatore, Milano 1961].
- *Physics and Beyond*, Harper & Row, New York 1971. Herrigel, E., *Zen in the Art of Archery*, Vintage Books, New York 1971 [trad. it. *Lo Zen e il tiro con l'arco*, Adelphi, Milano 1975, 1982⁶].
- Hoyle, F., *The Nature of the Universe*, Harper, New York 1960.
- *Frontiers of Astronomy*, Harper, New York 1955 [trad. it. *Frontiere dell'astronomia*, Bompiani, Milano 1958].
- Hume, R.E., *The Thirteen Principal Upanishads*, Oxford University Press, New York 1934.
- James, W., *The Varieties of Religious Experience*, Longmans, Green & Co., New York 1935 [trad. it. *Le varie forme della coscienza religiosa*, Fratelli Bocca Editori, Milano 1945].
- Jeans, J., *The Growth of Physical Science*, Cambridge University Press, Cambridge 1951.
- Kapleau, P., *Three Pillars of Zen*, Beacon Press, Boston 1967. Kennett, J., *Selling Water by the River*, Vintage Books, New York 1972.
- Keynes, J., a cura di, *Blake Complete Writings*, Oxford University Press, New York 1969.
- Kirk, G.S., *Heraclitus - The Cosmic Fragments*, Cambridge University Press, Cambridge 1970.
- Korzybski, A., *Science and Sanity*, The International Non-Aristotelian Library, Lakeville, Conn. 1958.
- Krishnamurti, J., *Freedom from the Known*, Harper & Row, New York 1969 [trad. it. *Libertà del conosciuto*, Ubaldini, Roma 1973].

- Kuan Tzu*, trans!. W.A. Rickett, Hong Kong University Press, Hong Kong 1965.
- Lao Tzu*, *Tao Te Ching*, transl. Ch'u Ta-Kao, Samuel Weiser, New York 1973.
- *Tao Te Ching*, transl. Gia-Fu Feng and Jane English, Vintage Books, New York 1972.
- Leggett, T., *A First Zen Reader*, C.E. Tuttle, Rutland, Vermont 1972.
- Lovell, A.C.B., *The Individual and the Universe*, Harper, New York 1959.
- *Our Present Knowledge of the Universe*, Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1967.
- Maharishi Mahesh Yogi, *Bhagavad Gīta*, I-VI, transl. and commentary, Penguin Books, Baltimore, Md. 1973. Mascaro, J., *The Bhagavad Gīta*, Penguin Books, Baltimore, Md. 1970.
- *The Dhammapada*, Penguin Books, Baltimore, Md. 1973. Mehra, J., a cura di, *The Physicist's Conception of Nature*, D. Reidel, Dordrecht, Holland 1973.
- Miura, I. e Fuller-Sasaki, R., *The Zen Koan*, Harcourt Brace & World, New York 1965.
- Muller, F.M., a cura di, *Sacred Books of the East*, vol. XLIX, « Buddhist Mahayana Sūtras », Oxford University Press, New York.
- Murti, T.R.V., *The Central Philosophy of Buddhism*, Allen & Unwin, London 1955.
- Needham, J., *Science and Civilisation in China*, Cambridge University Press, Cambridge 1956 [trad. it. del vol. I, Einaudi, Torino 1982].
- Oppenheimer, J.R., *Science and the Common Understanding*, Ox-ford University Press, New York 1954 [trad. it. *Scienza e pensiero comune*, Boringhieri, Torino 1965].
- Radhakrishnan, S., *Indian Philosophy*, Macmillan, New York 1958 [trad. it. *La filosofia indiana*, Einaudi, Torino 1974].
- Reps, P., *Zen Flesh, Zen Bones*, Anchor Books, New York [si veda 101 *Storie Zen*, a cura di N. Senzaki e Paul Reps, Adelphi, Milano 1973, 1982⁸].
- Ross, N.W., *Three Ways of Asian Wisdom*, Simon & Schuster, New York 1966.
- Russell, B., *History of Western Philosophy*, Simon & Schuster, New York 1945 [trad. it. *Storia della filosofia occidentale*, Longanesi, Milano 1967].

- Sachs, M., *Space Time and Elementary Interactions in Relativity*, in « Physics Today »>, XXII (1969), pp. 51-60.
- Schilpp, P.A., a cura di, *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, The Library of Living Philosophers, Evanston, Ill. 1949 [trad. it. *Albert Einstein scienziato e filosofo*, Boringhieri, Torino 1958].
- Sciama, D.W., *The Unity of the Universe*, Faber and Faber, London 1959 [trad. it. *L'unità dell'universo*, Einaudi, Torino 1965].
- Stace, W.T., *The Teachings of the Mystics*, New American Library, New York 1960.
- Stapp, H.P., *S-Matrix Interpretation of Quantum Theory*, in « Physical Review »>, D3 (1971), pp. 1303-20.
- Suzuki, D.T., *The Essence of Buddhism*, Hozokan, Kyoto, Japan 1968.
- *Outlines of Mahayana Buddhism*, Schocken Books, New York 1963.
 - *On Indian Mahayana Buddhism*, a cura di E. Conze, Harper & Row, New York 1968.
 - *Zen and Japanese Culture*, Bollingen Series, New York 1959.
 - *Studies in the Lankāvatāra Sūtra*, Routledge & Kegan Paul, London 1952.
 - Prefazione a B.L. Suzuki, *Mahāyāna Buddhism*, Allen & Unwin, London 1959 [trad. it. *Buddhismo Mahayana*, Sansoni, Firenze 1959].
- Thirring, W., *Urbausteine der Materie*, in « Almanach der Österreichischen Akademie der Wissenschaften », CXVIII (1968), pp. 153-162.
- Vivekananda, S., *Jnana Yoga*, Ramakrishna-Vivekananda Center, New York 1972 [trad. it. *Jnana Yoga*, Ubaldini, Roma 1963].
- Watts, A.W., *The Way of Zen*, Vintage Books, New York 1957 [trad. it. *La via dello Zen*, Feltrinelli, Milano 1960]. Weisskopf, V.F., *Physics in the Twentieth Century-Selected Essays*, M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 1972.
- Weyl, H., *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, Princeton University Press, Princeton, N.J. 1949 [trad. it. *Filosofia della matematica e delle scienze naturali*, Boringhieri, Torino 1967].
- Whitehead, A.N., *The Interpretation of Science, Selected Essays*, a cura di A.H. Johnson, Bobbs-Merrill, Indianapolis, N. Y. 1961.

- Wiener, P.P., *Leibniz-Selections*, Ch. Schribner's Sons, New York 1951.
- Wigner, E.P., *Symmetries and Reflections—Scientific Essays*, M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 1970.
- Wilhelm, H., *Change – Eight Lectures on the I Ching*, Harper Torchbooks, New York 1964.
- Wilhelm, R., *The I Ching or Book of Changes*, Princeton University Press, Princeton, N.J. 1967.
- *The Secret of the Golden Flower*, Routledge & Kegan Paul, London 1972.
- Woodward, F.L., trad. e cura di, *Some Sayings of the Buddha*, Oxford University Press, New York 1973.
- Zimmer, H., *Myths and Symbols in Indian Art and Civilisation*, Princeton University Press, Princeton, N.J. 1972