

# First You Build a Cloud

And Other Reflections on Physics as a Way of Life

# 物理与头脑 相遇的地方

● By K.C.Cole  
● 庄宏义译



麦格拉西出版社  
麦噶斯威士利出版公司





### 推荐序二

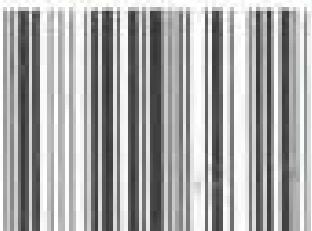
《物理与头脑相遇的地方》是继《像经济学家一样思考》之后，比尔·布莱森的又一部关于科学与技术的妙趣横生之作。本书以轻松幽默、风趣的语言向我们介绍了物理学与天文学（The Universe and the Teacup）和生物学与遗传学（A Short History of Nearly Everything）。

### 译者序

物理学与宇宙学的关系，从深邃神秘到浅显易懂，通俗而深奥，令人着迷。从《时间简史》到《暗能量之谜》，从《万物理论》到《上帝掷骰子吗？》，从《时间简史》到《暗能量之谜》，从《万物理论》到《上帝掷骰子吗？》，从《时间简史》到《暗能量之谜》，从《万物理论》到《上帝掷骰子吗？》，

王立群，男，1952年生，河南舞阳人。

ISBN 7-80664-329-X



9 787806 643297 >

开本：787×1092mm 1/16 印张：10.50元

First You Build a Cloud

And Other Reflections on Physics as a Way of Life

# 物理与头脑 相遇的地方

● By K.C.Cole  
● 丘宏义译

长 沙 出 版 社  
贝塔斯曼亚洲出版公司



**图书在版编目(CIP)数据**

物理与头脑相遇的地方/(美)柯尔(K. C. Cole)著;丘宏义译. —长春:长春出版社,2002.3

ISBN 7-80664-329-X

I. 物... II. ①科... ②丘... III. 物理学 - 普及读物  
IV. 04-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 010922 号

责任编辑:羽佳 封面设计:大熊 夏季风

长春出版社出版

(长春市建设街 43 号)

(邮编 130061 电话 8569938)

长春市正泰印务公司制版

长春第二新华印刷有限责任公司印刷

全国新华书店经销

880 毫米×1230 毫米 32 开本 8.875 印张 181 千字

2002 年 4 月第 1 版 2002 年 4 月第 1 次印刷

印数:1-10 000 册 定价:19.50 元

牛顿本人，和那些……攻击他的人……一定会对最近的论点感到诧异，这论点说：自然哲学和“价值”无关，自然科学本身应当“无价无值”；对那些追求人生方向的人来说，从我们最好的自然事物的知识中，不会学到任何东西。

即使少许的科学……对人之价值而言，却是有无限承诺的东西。

——小蓝得尔 (John Herman Randall, jr), 《牛顿的自然哲学》

以前物理科学被称为自然哲学，可是不幸的是，哲学课程中已经不教物理了。这事态令人感到惊奇。因为我所知的物理学家，在与我的谈话中及他们之间的谈话中，都充分了解这一点，即：在塑造我们人性及伦理世界的看法时，我们对于物质世界的想法，会有很深刻的影响。对这些物理学家而言，物理是文化及哲学的一部分。在本书的各章中，柯尔女士能以类似物理学家之间讨论这问题的方法，以同一深思的渠道向非物理学家谈及这些问题。

——法兰克·欧本海默 (Frank Oppenheimer)，探险博物馆创办人

(探险博物馆是一家在旧金山的博物馆，专于科学及认知。)



## 自序 物理是一种生活方式

柯 尔

这本新版的书，以前的名字是《和应振动<sup>①</sup>：物理是一种生活方式的反省》。本书已大量重新修订过，加入了许多的新材料，许多段落都已经大笔琢磨过，或者根本取消。再者，书中的材料已经重新组织成三部分，分别讨论不同的命题。

前言《生活在太空中》，定下了这书的哲学框架，同时解释了某些偏爱；本书的阐述及语调皆源自这些偏爱。

第一部《求知的艺术》，探索了许多物理学家的方法；他们用这些方法尝试着去看那些看不见的东西，去了解实体宇宙；这个宇宙很可能在人类感官、领悟能力之外。

第二部《发动者及震撼者》，讨论使世界万物运转的力及压力（pseudoforce）和近代物理的基础：量子力学及爱因斯坦的狭义相对论与广义相对论。

<sup>①</sup> 译注：和应振动的原文是 *sympathetic vibration*，如果把两根弦绷紧，把一根弦拨了发音，而如果第二根弦的频率与第一根的一样，那么第二根弦不久也会振动而发音，这称为和应振动或共振。如果在桥上步行时，步行的频率与桥的固有频率一样，也可能引起和应振动，有时会把桥震塌。因此，军队步行过桥时一定要乱步走。

第三部分《线与结》，追踪物质世界中某些不断重复织出的模式（pattern）。有些是节奏，它们像和应振动（共振）：你朝任何自然万物去看时，它们都会随时跳出。其他的则是物理学家面对的难题，例如因与果之间的关系；解答极为困难，可是物理学家仍然不断设法去搜寻它们的解。



## 导读 爱情、互补、因果关系及其他

丘宏义

医马和医人也差不多。

——胡适，《差不多先生传》，约 20 世纪 20 年代

这本书可以说是散文集，以洗炼的感情来把物理看成生活的一面。作者用的副标“物理是一种生活方式的反省”，充分地表明了她的观感。物理可以说是一门又具技术性又带哲学性的科学；至少在这门学科创建的时候，是如此的。

哲学的渊源是文学。好的文学能描述出隐藏在人类感情及行为背后最深不可测的内心自我（或他我）的情操。一位好的物理学家也想要去看出隐藏在普天下美妙神奇万物后面的自然界的“自我”。本书第八章写到伽利略在平滑的河流上乘舟航行的故事是一个很好的例子。当众人正在欣赏两岸的风景鸟树房屋人物时，现代物理学的始祖伽利略却以哲学的眼光，看出相对运动的真谛：“如果你坐在四平八稳的封闭船舱中，这艘船平滑地在河中航行，你不能分辨出你是否真正在动，还是不动。”也

就是说，动态和静态在本质上是同一种运动态。

船是很古老的人类发明，古老到连第一艘船出现的年代都无法考证。在伽利略之前有数不清的人乘坐过船，可是大都被大自然用来粉饰自己的美景所分心或被蒙住了。这些被蒙住的人之中包括了许多菁英，如大哲学家亚里斯多德等人。这些菁英也不是没有想过这些问题，可是也许由于客观的条件，没有认出这些问题的重要性。

亚里斯多德认为静止的状态是“自然态”，动的状态是非自然态，即运动中的东西终究要停下来。不是吗？一辆马车在崎岖不平的路上很快的就会停下来（在亚里斯多德的时代，有石子铺的路就算是很不错的了）。因此，静止的东西和动的东西基本上就有一个很大的不同——动态是短暂的，静止态是永久的，二者在表面上呈现的是完全不同的两种态。而伽利略在平滑的河上航行时，认出静止态、动态都属于同一种永久态。这就是伽利略和亚里斯多德在基本理念上不同的地方。

本来这种亚里斯多德的错误也算不了什么。即使在现代科学中，也有许多科学家原先认为不变的“真理”，到后来被推翻了。这是很普通的事。不幸的是，后来掌握欧洲最高政权的教会，把亚里斯多德的理论硬性规定为宗教经典的一部分，强迫人们信仰这理论为不能改变的真理，使得亚里斯多德的理论不能像一般科学理论一样被后人改进演变。物理学的另一位始祖牛顿说过，他站在巨人的肩上，因此才可以看得更远。可是在伽利略的时代，几世纪以来，教会已经硬性规定了，不允许任何人站在亚里斯多德这位巨人的肩上去看得更远。许多后人因此不分青红皂白地只去批判亚里斯多德的错误。

客观来说，伽利略是站在亚里斯多德的肩上才发现了这个划时代的“静态和动态是同一态”的力学原理。他大胆注意到亚里斯多德理论和自然界现象不符，因而发现了动态和静态之间没有可以观测出的区别——在船只移动时，封闭的船舱中所看到的物体现象，如丢一枚石子，鱼缸中游的鱼，等等，都和这船不动时看到的一样。这个看上去很平凡的原理，后来就变成牛顿力学的基础。伽利略的理念后来被牛顿发扬光大成为牛顿力学。这个结论就变成牛顿力学中的一个重要原理：静者恒静，动者恒动。而这个观念：动态和静态之间基本上没有不同，它是隐藏在自然界美丽外表内的一部分。自然界的自我特性就是我们所谓的物理定律。

## 科学最注重的是怀疑的态度

我们对自己经常看到的东西往往视所当然。有人认为这种观点是科学的阻碍。可是对人类来说，这才是人类能进步的原因。我们在小学念书时，老师把每一句子逐字解释，解释到我们把这些句法视所当然的时候，才算尽到了责任。我们长大以后，可以不必再回忆到这些句子的逐字解释就能应用，就如本书所说的，学物理要学到能一提起电子，就能运用自如，而不必经过这个过程：让我想一下，电子是原子外面的东西，质量是什么……等等；这些术语都已经长在舌尖上了，待命而出。

因此，我们学会了在讲话中能很快地构思，构思的速度快到有时比讲的速度要快。（当然有些人构思太快，不经大脑就讲出来了，可是这是一种毛病，另当别论。）

如果每说一句话都要深思其意，说话就会很慢，时说时停。说得好听是言语谨慎，说得难听是呆滞及思考做事缓慢。

记得听说过这么一个极端的笑话，可以应用在每一句话都要过分深思的情形。前清时代考举人进士时，按惯例要给少数民族一些保留名额，以笼络人心。有一年，一位目不识丁、被族人推选去应考的少数民族考生，硬了头皮，交上白卷。古代时，主考官一定要处事公允，不得循私，否则要严办。主考官在每一卷上一定要加上评注取和不取的原因。当时遴选进士的考试非常隆重，在皇帝的殿中考（殿试）。考卷要皇帝亲自过目，而皇帝过目时，主要看的是主考官的评语。这位主考官面对白卷，良久不知如何下笔，后来得了灵感，下评语云：“做事谨慎，轻易不下一语。”这几句评语顺利地过关。（这个笑话大约是杜撰的，因为古时考卷都是密封的，无法知道应考者的名字。可是这个笑话在中国大陆文革期间又重演了，出了一位“白卷英雄”张铁生。）

科学中最注重的是怀疑的态度，即对每一事物要采取保留态度，仔细审视一下，是否有漏洞，如果有，是否有突破的可能。好的物理学家和普通的物理学家之间的区别，除了学识以外，就是看漏洞及能以不同角度去审视突破方向的本领。这种本领是教不出来的，只能从经验及接触的人之中学来。（这就是为什么名师出高徒的原因。）因此，虽然科学家要把已经建立的科学原理学到滚瓜烂熟，都放在舌尖上，待命而出，操作自如；可是一旦遇到了疑难，就要先问自己一下，是否遇到了需要深思的地方了。

这种精神非但在科学家中有，在许多方面都有。例如，美国大公司的职位中，最重要的是执行长（CEO, chief executive officer）。他是掌舵者，他能决定一家公司的兴旺或失败。他成功和失败的地方，都是在于能不能审视他人看不出的方向，要以不同的角度去看。商业的机遇是瞬息万变的，如果不及时抓到，以后就很难抓了。墨守成规的公司最后就会走向失败的道路。毕竟一家新创的公司之能成功，大都由于创始人有独特新颖的理念。社会、传统及科技在不断的变化中。原先很流行的商品，会在隔夜之间过时。成功的公司一定要不断审视目前的商业政策，看出漏洞，及转型的方向。

国家的决策亦然，不能墨守成规。清朝失败的一个原因就是墨守中国两千年儒学至上的传统。

## 老生常谈——平凡之中的不凡

本书作者自称她所谈的都是“老生常谈”，没有谈到最新的高温超导体、基因工程，甚至于连现在最重要的高科技日常用具，电脑上的微电子科技也不提。她提到的都是30多年前发展出的物理原理。她并不是不知道有这些新奇的科技，可是她不提而专注于“老生常谈”话题的原因是：“在科学的最前锋，最奇妙的事往往只是把日日遇到的科学奇妙处，加以润色修饰而已……”如果仔细想一下，最平凡的东西，即老生常谈的东西，往往是最能吸引人的题材。平凡真的是多么神奇！

以艺术为例。所有人类绘画的题材几乎都是老生常谈。最早，穴居人的绘画题材几乎千篇一律都是他们行

猎的动物。中国的国画以山水为主，也许中国文化崇拜的是天（宇宙），可是中国文化崇拜的不是实体的天，而是隐藏在这个实体天背后的一个抽象天。天要比神高，因为神是附属在天之下的。所有中国的神来源都几乎脱不了这些（或类似的）字：“死后，上天怜其忠悌，封其某神。”

天后，又称妈祖，是台湾尊崇的神祇。她生前是一位住在福建海滨的女子林默娘，终生未婚，擅游泳，经常在风雨中救覆舟的落难人。后来在 27 岁时于一场大台风中救人时被大浪卷去失踪。乡民尊敬她舍己救人的精神，为她立庙，编出上天封她为海上守护神的故事。（天后的尊称是在前清皇朝时封的。）

中国学者至高无上的目标乃是“天人合一”<sup>①</sup>。而天人合一就是认为：天地宇宙万物与人为“道之所一体”，即人和自然界融成一体。这是古典中国学术精神情操中的至高象征。中国山水画中的题材往往都是雄伟的山水飞瀑，可是在这些最美的自然景色中，几乎无例外地都要放进去小到几乎看不出面貌的学者、下棋者或渔樵作为点缀，即天人合一的象征。

西方文艺复兴以前的绘画题材，也几乎都是“老生常谈”题材的宗教画，题材若不是基督，就是圣母，或其他宗教人物。而在文艺复兴以后的画，也几乎是千篇一律的希腊神话中神祇的题材，兼有应用画——达官贵

<sup>①</sup> 这个观念是《淮南子》首先提出的。《淮南子》是汉高祖的孙子刘安（公元前 179—122）率宾客及诸儒大师所著，综合儒、道、法、阴阳、兵、小说家融合而成。刘安为主编，现代的学者一般认为本书的中心思想来自他。刘安精道家的炼金术，把当时民间已有的以醋凝结制豆腐的技术改进，用熟石膏代之，沿用至今。所以可称他为豆腐的发明人。

人的人像。一直到 18 世纪末，风景画才流行。后来的画家喜欢画的静物题材，也是老生常谈的水果盘皿及渔猎物，如鱼、雉鸡等。即使是现代的抽象画（立体派、印象派，等等）的题材也脱离不了这些古典的“老生常谈”的题材，只是表达的方法技巧改变了而已。

文学中写到的题材几乎可以说都是老生常谈。几乎所有古今中外的文学都提到爱情，可是每次出现了一部好的爱情小说，人们仍旧疯狂地去买去读。每一部文学巨著中描写的爱情都令人感动。从罗密欧和朱丽叶到贾宝玉和林黛玉，可以说都是千篇一律的“老生常谈”，都是两性求偶之际引起的情操。几乎所有的男人或女人在年轻时候都经历过一段浪漫幻想式的白马王子或白雪公主的幻想心理过程。我们因此离不开这种情操。就是因为如此，对我们说来，这种题材最亲切感人。这题材可以说明“老生常谈”，但却是百读不厌的老生常谈。

百读不厌的原因是：几乎我们每一个人都对爱情有某种深度的了解。关键乃在了解的深度浅或深，或丰不丰富。

如果仔细想一下，自然界真是奇妙，即使一片绿叶也是神奇的。在太阳系之中，只有地球上有树叶。一片叶子的出现真是不易，要 30 多亿年的时间才能从类似月球的死世界环境中演化出树叶来。可是我们都觉得树叶是最不值钱的东西。这令我想到目前生活良好、儿女不多的社会中，一个相当普遍的现象，就是孩子们觉得钱是长在父母身上的叶子，要用的时候只要去摘就可以了（甚至于不要去摘也会送过来）。而在上几代，甚至于在现在一些贫穷的第三世界国家中，连吃饱肚子都有问题

## 物理与头脑相遇的地方

的时候，对金钱的态度就不像这些娇生惯养的孩子了。即使一分钱也是很珍贵的。在沙漠中的居民对树的价值观就和我们不同。一棵树代表的是在一片一望无际的黄沙中的可贵生命。连一片树叶都是可贵的。

柯尔女士举出一个例子。她同她的六岁男孩搭乘客机在一万公尺左右的高空上飞行的时候，她朝下面看。她这么写出她的观感：

我看到下面地球上大而广、像打翻的牛奶形成的白色盐渍区——地球之盐时，我发出喔喔的惊讶声。我看到洛矶山脉上锯齿状的山脊，把整个大洲一切为二时……也不禁发出了啊啊的惊讶声。我的儿子则专心注神地看电影。我不能自制，因此我催促他去看一眼。他似乎一点也不感惊奇，只模糊地表出一些兴趣……

就在这时候，空中小组来了，要我把窗屏拉下。她说，别的人想要看电影。可怜的地球，我这么想。到处都有被彗星打出的麻斑及皱纹，被风及雨磨平了的皱纹，可是令人不能置信的是，一片片的新绿植物就在这里那里长出，在旧的灰烬上冒出。可是没有人来赞美你那有尊严的美，还要说事物如此是理所当然的！

当然，有许多理由不去管这些老生常谈的东西。我要担心明天会不会刮台风，我放在窗台上的盆景是否会被吹下去。我明天要早些起来，因为交通会拥挤，而我又要赶一篇很重要的报告。如果我的上司对这篇报告满意的话，我怎样去说服他给我加薪，或升级……衡量之后，太忙了。算了吧，不去管这个地球了……

虽然这些老生常谈和我们的日常生活似乎不太相关，可是对于这些老生常谈的了解，却真的有助于我们的思考。作者的物理学家朋友说：“科学非但实用……科学也决定了我们如何思考及感受……我们对自己的看法以及对我们世界的认知是什么。”科学也占有我们文化中和艺术、音乐、文学同等地位的一部分。作者又加写几句：“科学给了我们对尺度的认识、对限度的认识、对透视的赞美，以及对不确定性的忍受。”

早期美国拓荒时期，有许多老粗进入政界，变成地区的议员，成为地方的土霸。在 19 世纪时，有一位这类的老粗反对在他所住的郡县中建造图书馆。他的理由是：“我们只需要三本书：（基督教）圣经，（教堂中用的）赞美诗歌，及农夫年鉴（相当于中国的黄历）。其他都是多余的，会教坏我们的孩子。”试想一下，如果当时的美国真的采取他的政策，是否在 20 世纪 60 年代能把太空人送到月球上去，再把他们接回来？现在是否会有通讯卫星、网络、电脑？

本书《前言》中引用了物理学家威尔逊在说服美国国会花巨资建造加速器时说的话：“它（加速器）只和我们人民之间的互敬、人民的尊严、我们对文化的爱好有关。它与以下这些事物有关：我们是不是好的画家？好的雕塑家？伟大的诗人？我的意思是，在我们这个国家中，这些都是我们真正崇拜仰慕及尊重的东西，使我们爱国的东西……”

也许是把这些“老生常谈”，以及和我们日常生活无直接关系的东西，变成中国文化的一部分的时候了。

## 深入尘世的科学观念

(量子力学中) 波和粒子这两个人性质是互补的。

——互补原理，量子力学始祖波耳（1920年）

无名……有名……同出异名。

(白话译文：无名的……（和）有名的……虽然名称不同，都属于同一体系)。

——老子（公元前604—505），《道德经》

本书花了不少篇幅阐明互补原理。其实互补原理很简单，即事物就如多面体一样，它呈现在你面前的形状要看你的观点而定。可是这么简单的原理却常常被人遗忘。

小时候看到写某人的传记时，往往看到在描述这人如何正直时，要加上一句赞语（想来是赞语）：“嫉恶如仇。”听上去似乎这人的品性很好，对“恶”恨透了，就如恨大仇人一样。真是多么正直的人呀。可是书上从未定出“恶”的定义。后来经历多了，发现一般被人赞扬为嫉恶如仇的人所嫉之“恶”，乃是和自己信念不同的东西，不一定是杀人放火的恶。

记得在19、20岁的时候，去过一间教堂。那位有相当中文基础的美国牧师以生硬可是都能听懂的中文传教，

把所有中国传统的宗教都说成似乎是魔鬼<sup>①</sup>的信念，只有基督是真主。其言论之激昂，就如“嫉恶如仇”一样。当时颇为所动。可是多年以后，觉得这类的言论把黑白界线划得过于明显：在这条线的这一边一定是绝对的善，在线的那一边一定是绝对的恶。是否这条线真的是一条数学上的线，不允许“中间分子”呢？是否在这条线之外，还有别的分界线呢？

这种硬性把善、恶区别出来的理念，似乎是与人类文化一起建立的。在穴居的渔猎社会中，也许这种黑白分明的观念为生存所必需。那时除了要防备猛兽以外，还要防范人侵的异族或陌生族人。一个最简单的敌我识别方法就是，如果来的人不是我族人，就是敌人。到了文明初步建立以后，才有互相来往的习惯。可是这还不是黑白界线分明的主要理由。我想，这个把所有事物都分成对垒的两面的基本原因，也许和思维方式相关。

在西方，自古以来一直都流行这种明显的黑白分界方法，而且一直延伸到今日。可是在中国，自从采用儒家思想以后，这种黑白分界的方法为学者所不齿，因为孔子的哲学是中庸，简单说来，即对什么事最好都采取中间路线。这并不是说黑白分明的方法绝对不对；在黑白分明后面的哲学是对任何事要下严密的定义。这种思维方法能促进科学的发展；毕竟科学就是在争那一点一滴的定义方面的不同。可是应用到人事上面去，尤其是

<sup>①</sup> 魔鬼（devil）是西方的观念。中国只有鬼。最早对鬼的定义来自《礼记》：“人死曰鬼。”鬼是能做小恶作剧的“妖魔”，因为所有的鬼在理论上都被阎罗王管，因此，做恶作剧的鬼最多只能看成流氓地痞之流。可是西方的魔鬼却能和“万能”的上帝抗衡；也有自己的领域，即一般人称为地狱。

很主观的宗教意识上去，就不免会引起干戈了。

而对什么事物都采取没有明确的分界线（即中庸之道）的态度，固然在处理某些人际关系方面有益，可是在科学上就不能采用。而且在处事态度上很容易产生出差不多，或马马虎虎的态度。国学大师胡适先生还为这种态度写了一篇讽刺性的文章《差不多先生传》呢！（在这篇文章中，这位先生什么事都差不多，最后生病时，家人去请医生，请错了，请了一位医马的医生来，开错了方子，医死了这位差不多先生。而这位差不多先生的遗言则是：医马和医人也差不多。）

也许最后还要引用中庸之道来解决这个中西之间不同的问题：不能完全采取黑白分明的做法，也不能采取黑白完全不分明的做法，要看情形而定。

## 互补原理

话说远了，再谈一下黑白分明演变出的问题。我在大学念量子力学的时候，用的是英文原文的教科书。在苦学之际，我觉得有一件无法解释的疑难之处。这个疑难之来由不是因为用了英文原文，也和那些复杂的方程无关，也和量子力学的基本观念无关。读到一个电子在某种场合能呈波的性质，而在另一场合又能呈粒子的性质时，我也觉得并没有什么问题。

可是疑难的地方是，提到了这个电子的性质以后，书的作者又加上了一大堆关于这种二象性的解释。当时用的词是一个哲学名词 *dualism*（在物理中称为二象论，以与哲学或宗教中的二元论有别）。创立量子力学的人们

甚至于采取了一种带有道歉意味的口吻，解释了为什么电子能呈波和粒子这两种象的原因。其实也没有真的去解释，因为这是观测到的现象，没有理由的。就如你在街上看到一个人，不会有人去问这人为什么她是女人，或他是男人，因为这是观测到的现象，也不是这个人所能决定的。

量子力学教科书上对这个现象的“解释”只是引用了量子力学祖师波耳想出来的一个原理，叫做互补原理。这个原理是很简单的一句话，波和粒子这两个性质是互补的。在做实验的时候，如果去测电子的波动性质，就看不到电子的粒子性质。如果去测电子的粒子性质，就看不到它的波动性质。说穿了，就是电子性质有两个象，每次去看的时候，只能看到一个，就如你看一个人的正面时，就看不到他的背影，反之亦然。当时觉得奇怪，困惑不解的是，这么简单的事，还要值得这位量子力学的宗师去讲出来。

后来对西方的文化了解了以后，才理解到，在西方这是一个非常严重的哲学及宗教问题。（这个问题在中国的儒学中并不存在，或者即使存在，也没有把它看得很重要。）在哲学中，原始的二元论以两种不可化约的异质原理（这两种原理可以互斥，也可以互补）去解释某种过程，称为认识论的二元论（epistemological dualism），或去解释现实或某些概略的面向，称为形而上学的二元论（metaphysical dualism）。我们经常听到的身、心，也是二元的一种。在宗教中，可以把这二元认为是神与世界。可是一般说来，在西方几乎都采取这个观点：控制宇宙的二元是两个超级对立的“派系”：一个是神，另一个是

魔鬼。

这种二元的观念由来已久，可能始于公元前七八世纪的波斯。可是后来基督教的教义把这种二元论大加扩充，使得圣经中本来是不足道的一位“折翅天使”，他的名字是撒旦，变成了万恶的魔鬼之王。撒旦第一次在《旧约》中出现的时候，是在《约伯记》第一章，撒旦奉上帝的命去巡视世界。可是撒旦像一位坏“特务”，专肆报告讲人的坏话。上帝说约伯敬畏上帝，可是撒旦就进谗言，说“约伯敬畏神，岂是无故呢？你岂不是四面圈上篱笆护他的家……你赐福……你且伸手，毁他一切所有的，他必当面弃掉你。”于是上帝授权撒旦去毁掉约伯的一切以试探他。

在《旧约》中，犹太人只把撒旦写成一位令人嫌弃的、专进谗言、小丑式的天使，并没有把他写成魔鬼。可是在《新约》中却把他“晋升”成为伪装成光明天使的恶鬼，为上帝及基督的死敌。后来就演变成和上帝对立的魔鬼，正式成为宗教上的二元，因而出现了基督教中的（极端的）二元论<sup>①</sup>。

一旦把二元论编入基督教教义后，西方就开始建立了任何事物都有两个面向的意识，可是这两个面向是不能相容、不能互补的。这种极端对立的二元论主宰思想

① 因为西方的基督教大规模传到中国很迟，因此，中国传统儒家学者很少有对这二元论的讨论。可是在清末刘鹗（1857—1901）所著的，可称为中国第一部政治小说的《老残游记》中有一章（第十一回）讨论到这个二元论的问题。作者借黄龙子的口，说出他对“万能上帝”的看法：“……不但佛经上说，就是西洋各宗宗教家，也知道有魔王之说……”阿修罗（佛经中的魔王）隔若干年就和上帝大战一次，战败后若干年又来一次。“试问，当阿修罗战败之时，上帝为什么不把他灭了呢？等他过若干年，又来害人？不知道他害人，是不智也；知道他害人，而不灭之，是不仁也。岂有个不仁不智之上帝呢？足见得上帝的力量灭不动他……”

的时间至少有 1600 余年。（自公元 325 年君士坦丁大帝召开尼西亚大公会议创建天主教起到现在。）最初是应用到善神与恶神上面，成为基督教中上帝及基督和魔鬼的对立。可是后来的发展及程度似乎有点“走火入魔”。例如在中古时代的欧洲，盛行这个理念，认为既然有了一个基督，一定也会有一个相对的二元，即“反基督”（虽然在基督教圣经新旧约中都根本没有提到过或暗示过有反基督这回事）。这个二元对立的观念深深地渗入西方文化中，到 20 世纪才开始消弭。甚至于马克思的阶级斗争观念也含有这种原始二元论的意味：阶级之间不能也不会有妥协，一定会有不断的斗争。

## 容许多元

量子力学刚出来的时候，发现物质有两象——粒子及波的性质。深深受到有高度宗教意味的原始二元论熏陶的西方科学家就不知所措了：如何去处理这又不代表上帝（善）亦不代表魔鬼（恶）的粒子的两象？是否要像宗教一样，在上帝和魔鬼之间（波和粒子之间）选择其一，而不可兼得呢？这时宗师波耳出现了，创互补原理，说粒子能呈波和粒子的象，可是在看到一个象的时候，就看不到另一个象。如果不去观测，粒子和波都没有物理上的意义。这个原理就把原始二元论的荒谬性摒除了。实际上，就是把二元论原有的两个面向能互补的观念重新引入而已。

波耳提出的原理最先的目的，乃是用来妥协在 1920 年早期的发现：所有一切物质，包括光，都具有波及粒

子的性质。互补原理的要旨，要认知一个事物能有种种不同的、甚至于对立的象，看你的观点而定，就如一个圆柱形杯子在正着看时，呈的象是一个长方形，可是从顶上向下看去又呈另一个象（圆形）一样。在看到某一个象（如长方形）的时候，就看不到另一个象（圆形）。可是不能说某个象要比另一个象更“正统”。任何一个单独的象都是对这物体不完全的描述。不能把这些不同的象认为是彼此之间的冲突。不作观测的时候，谈某物是某象是毫无意义的。

中国的伟大哲学家老子早已看到这点。他在《道德经》第一章中，说“无名”及“有名”这两个观念看上去是绝对对立的，可是都属于同一体系。也许我们应当认为老子是第一位把对立的观念认为也能互补的学者<sup>①</sup>。

现在，这个多元性的互补原理已深深地渗透到西方人们的意识中；最重要的一个对互补原理的接受（即使接受这原理的应用的人根本没听过这个原理）是对文化的多元性（diversity, 多样性）的认可。如果你把三十五年以前西方的一般写作和今天的做一比较，你会发现有显著的不同——其中之一是，已经从唯我独尊的基督思想体系转变到对文化、宗教等多元性的承认、认知、容忍及对它们的存在的接受。一个很大的改变就是传教运动的逐渐衰微（尚未消亡）。传教运动的中心宗旨就是认为基督教才是“真正”的宗教，有一段时间甚至于还把

<sup>①</sup> 为了避免断章取义之嫌，录老子的原文如下：“道可道也，名可名也，非恒道也；非恒名也。无名万物之始也，有名万物之母也。故恒无欲也以观其眇，恒有欲者以观其所噬，两者同出异名，同谓玄之有玄，众眇之门。”（1973年马王堆出土的汉朝版本老子《道德经》，为所有版本中最原始者。）

其他文化的宗教称为“魔鬼”的宗教。其目的是想要说服其他文化去皈依外来的基督教。最盛的时代在十八九世纪到20世纪中叶。在许多文化中，这种传教运动已经遭遇过太多的反感及反抗。现在第一世界国家中崇尚的是文化的多元性，即使这些多元性文化含有互斥的元素。

且再以现代文明的产物“电脑”为例。电脑用的是黑白分明的逻辑。电脑中用的都是二进位的数字，只牵涉到0与1。用这种二进位的原因是，0与1可以代表逻辑中的A(1)和非A(0)。整个古典逻辑（至少应用在电脑上的逻辑）都沿着这种A与非A的观念打转。可是在人机界面的地方就出了问题。

另一个方法是运用所谓的模糊逻辑(fuzzy logic)。在这种逻辑中，把0与1之间分成不同的等级，再打分数，把各种分数一起加起来，以总分来做决定。很像用学生的总平均分来决定等级一样。（现在应用糊涂逻辑的洗衣机、摄影机已经成为商品）。

这么说来，在某种场合，需要把黑白分明变成黑白糊涂化，或“马马虎虎”化，或胡适先生讽刺的“差不多”化。这又引用到中庸原理。纯中庸原理会造成思维不清；纯黑白分明会造成没有其他的选择。可是似乎很反讽，引用了中庸之道到中庸原理与黑白分明的问题上，却得到了一个中肯的答案。

本书中引用一位物理学家说的话，可以用来作本节的结论：和真理对立的不见得是异端，因为真理可能有许多不同的面向。如果早期的人们能认识这一点的话，历史上许多以宗教为旗帜的战争就可以避免了。

## 因果关系

无因不生缘，无缘不成果

——因缘果报，佛家语

本书花了相当长的篇幅讲另一个深入尘世的科学观念：因果关系。这是统治人间世界最重要的一个观念，已深深地织入我们的文化中，从经济到宗教到法律。其实因果关系在人类文化早期就已经存在，甚至于在动物之中也有很原始的因果概念。在地震之前，动物往往感觉到地面的微量抖动，因而感到不安。原始人发现，把系了马尾的棒子在天上挥舞，或者跳某种舞，或者残忍到杀家畜或人来祭祀某神，“有时”可以造成下雨，因而认为求雨就要做这些宗教仪式，他们认为这些行为和下雨（或其他要祈求的事）有因果关系。一直到近代逻辑建立以后，才有较明确的对因果关系的了解。

人人都知道有因果关系这个东西，可是问题就出在怎样决定什么是真正的因，或者这个人说的到底是不是真正的因。如果有两件事先后发生，我们第一步的工作是认出这两件事之间有相关性（correlation）。可是相关性和因不同。

本书举了一个有相关性而无因果性的例子：铁路局定出了火车时刻表，在计划中火车应当准时按火车表的时刻发车及到达目的地。因此，火车时刻表与火车准时发车及到达这二者之间有相关性。既然时刻表在先，火车开车在后，是否就能说时刻表是因，火车准时发车及

到达是果呢？当然不能。如果这两件事有因果关系的话，我们就可以做出这种荒谬的结论：可以把铁路局取消；只要把火车时刻表印得更精确，例如加上到达时间的秒数，就能使火车更准时了。

因此，如果我们观测到有两件事 A、B 先后发生，我们仍旧不能断言它们之间有因果关系。我们要去寻求这两件事是否由于另一件事 C（因）所引起的，而 A 和 B 只是 C 引起的两件先后发生的事而已。如果是的话，我们最多只能说，A 和 B 之间有相关性而无因果关系。

自然界及人世间的事情以及社会学研究的对象，往往是非常错综复杂的，使得其间的因果关系成为一团极难解开的纠结，往往混淆不清。当然一个因可以产生许多果，可是最糟的是，一个果也能有许多因，而且常常不是一个单纯的因所造成的。有一句常听到的谚语把这个情况说得很清楚：“冰冻三尺，非一日之寒”；即一件事的因不只一个，而是累积出来的。许多谬论或不适当的政策往往来自把相关性和因果关系混淆。

## 一果必有一因

佛家一直强调因果关系。中国古典小说中提到某事是命中注定时，往往加上一句“一饮一啄，莫非前生所定”的叹语。当然，确有许多表面上看来有因果关系的事物，例如，把硬币丢进饮料贩卖机，饮料罐就自动出来。因此，可以说把硬币丢进贩卖机是因，饮料罐出来是果。可是，在把硬币丢入，到饮料罐自动出来的这一段时间中，还有许多其他的因果步骤，而每一个因果步

骤又牵连到许多其他的因果步骤。例如，硬币丢入后，首先被电子设备检验硬币真伪，在这个过程中牵涉到不知数量的光子及电子，而这些光子、电子的行为遵守的是量子力学中由机率决定的“不确定性”因果关系。检验合格后才以按量子力学运作的机械动作（所有万物运作的基本原理都基于量子力学）释放出饮料罐，而所用的电是从数百里外的发电厂输送来的，从发电到输电到把电传送到这饮料机器之间，又牵涉到无数的量子力学不确定性的因果关系……等等，因而使得这个丢硬币到饮料罐出来之间的简单因果关系，变成非常不直接、而且很复杂。

再说，如果认准了每一件事都一定要有一个因，这种想法很容易把我们带到钻不出的牛角尖去。本书举了一个例子：如果你赶不上火车的原因是一场大风雪，而这场大风雪是两星期前大西洋中的暖锋造成的，而这个暖锋则是风及太阳黑子的组合所造成，如此继续推衍，可以一直追溯到宇宙的创生。而即使追溯到宇宙的创生，我们还是没有到达终点，还再需要一个因。于是我们就陷入了一个永远走不出的、因的后面还有一个因的牛角尖了。

即使假定有一个宇宙的主宰为最终结的因（注意，这仅是一种推诿，把最终结的因推诿到一个初始条件，而并没有真正解决这个因后有因的问题），还有一个困难：这个“一因必有一果”的逻辑把整个宇宙变成一部被因果关系注定的大机械，我们都是其中的一个小齿轮，我们的一举一动（包括杀人放火的强盗的犯罪行为）都是预先注定的。既然是注定的，就不是强盗的错，因此

可以把司法部门废除了。听上去好笑，可是这类问题烦恼了神学家及哲学家不知道有多久。

再者，即使把量子力学摒除，似乎还有一些内在的因素限制住了因果律的影响范围大小。现代的数学、物理、气候及社会学的模拟都牵涉到很复杂的方程组。（人生是否有不复杂的事呢？）科学家发现了这种复杂的方程组中有混沌（chaos）的现象，即在不牵涉到量子力学的古典问题中，似乎也有内含的不确定性。

为什么会这样呢？这要谈到简单和复杂系统中，量变引起质变的问题。在一个简单的系统中，例如两颗撞球相撞，其轨迹可以用极精确的数学方法表达出来。一位撞球行家几乎能很完美地控制他打出去的撞球，能使被撞的撞球乖乖地落在他指定的那一个球袋。非但如此，还可以用母球撞另一球，再撞另一球，甚至于再撞另一颗球，使最后被撞的球落在袋中。换句话说，撞球的动力学几乎可以用电脑解出它的牛顿方程，了解它的力学性质。一旦了解以后，只要击的力和方向（及球的位置）都不变，再击一万次也可以得到同样的后果。

把太空船送到数十亿公里外，用的科技很复杂，可是运动方程却相当简单。送出去后，只要在途中作少量的方向及速度校正，就能把太空船准确地送到处于太阳系边缘的海王星及其卫星的附近。

可是这种能预测的本领，似乎只限于类似撞球相碰及太空船飞行的最简单例子。到了较复杂的系统，如气候，这些方程就不灵了，至少在实用上就不灵了。似乎复杂性能引起一种使方程失灵的吊诡。以气候为例，风雨雪等是大气的现象，是由子空气中的不同组成，如空

气、水分、云、悬浮颗粒等等，受了阳光的能量及受地形、物性及地球转动等的影响而造成的；而气候方程中牵涉到的每一基本现象，都在实验室中做过不知多少次的实验，证实了每一个基本现象都遵守牛顿力学（及其他物理）定律。可是没有一个人能成功地证明（即使用了最好最有威力的电脑）他能用决定气候的方程组去预测天气。为什么呢？

其实在古典的牛顿力学范畴内已经隐含了“因不能确定果”的意味。可是我们只知道有这么一回事，而不知道为什么。从表面上（即从传统的方程的定义）看来，只要能在这方程组中放进去一个初始条件，例如某日某时地球上所有地点的温度、风向、气压等等，就能解出有无限精确度的解。可是近年来发现了混沌现象：在一个复杂系统中，理论会受到极大的限制。其意义如下：

如果要解出某合理精确度的解，例如在解预测气候的方程时，只要求百分之几的准确性，也会遭遇到以下的麻烦：要预测 20 日以后的气候，初始条件的精确度可能要达小数点以下十几位数，例如温度要准确到  $10^{-18}$  度。这非但做不到，而且会引起以下的吊诡问题：在巴西的一只小蝴蝶把翅膀动了一下，这么一动，在气候上说来相当于把初始条件在风速的第 13 位小数左右的地方改变了一点。结果这方程预测，三星期后在中国的青海会产生出一场大风暴。

当然这是荒谬的结论。可是这个在实验室中百试百灵的方程，在一个复杂系统中就会呈这种吊诡矛盾性。我们到现在还不能掌握这种不确定性的混沌性质。

因此，即使在古典物理中也隐含了“因不能确定是

什么果”的不确定性。由于这种混沌性质，我们可以说，宇宙不可能是一部被“一饮一啄，莫非前生所定”的简单绝对因果关系所注定的大机械。似乎每一因只有某一限度的影响力。因果关系似乎有一种内在固有的限制：在许多情形，都把因果关系的影响力限制于紧接着发生的事件（即在时空方面都有限制）。

## 量变引起质变

本书强调的是，量子力学又把确定的、简单化的因果关系做了基本上的改变，变成了一个更为“因不确定果”的关系。这是什么意思呢？再举撞球的例子，撞球的轨迹能被方程很精确地决定。可是在原子或粒子的微观范畴中就不然了。由于海森堡的测不准原理，如果把一枚原子或次原子大小的粒子朝另一枚同样大小的粒子一撞，你无法确定这两枚粒子要朝哪一方向散射过去。你只能说朝某方向的机率是什么。因此，如果有了一个因，能有许多果，可是没有人能确定到底是哪一个果。

当然，如果你有了上亿的粒子，你就几乎可以确定有多少粒子要朝哪一个方向散射过去。就是说，牵涉到的粒子数目愈多，因果就似乎更为确定。而我们接触的事物都牵涉到上亿亿亿数量的粒子，因此，在我们看到的世界中有许许多多似乎很确定的因果关系。可是在骨子里，这些因果关系其实都基于量子力学中的机率。就像抛转钱币，抛转次数愈多，人头朝上或朝下的几率就愈确定是接近 50%。

因此，在量子力学范畴里的因果关系的理念，与我

们日常生活中认为的“有一因必有一果”的理念不同。因为所有的物体遵守的最终结定律是量子力学定律，因此，所有的物体都被量子力学机率性的因果关系所决定。而使我们日常生活中因果关系能有确定性的，似乎反而是我们日常生活中最不能确定的（随机）机率。

我想就写到此，要不然导读就比本书长了。如我前面所说，这本书谈的是“老生常谈”，可是老生常谈之成为“常谈”的原因，就是因为这些题材和我们的日常生活有许多密切的关系。但是：如果把这些常谈的细节忘了，只记得在舌尖上的知识，在某些场合就会造成困难。二元论便是一个例子。把二元论变成从舌尖上冒出的就是黑白、善恶、上帝和魔鬼的对垒，就会忘记二元论中的二元原先也是讲求互补的。



## 前言 生活在太空中

物理的书都充满了复杂的数学公式。可是思想及理念，而非公式，才是每一物理理论的开端。

——爱因斯坦及殷菲德 (Leopold Infeld),  
《物理之演化》<sup>①</sup>

科学的发现，这个伟大房屋中的新房间，已经改变了人们对于墙外事物的看法……我的论题是，（这些发现）真的给了我们有效、有关联且亟需的类比，去了解现今科学领地或疆界之外的人类问题。

——罗伯·欧本海默，《科学与一般性的了解》<sup>②</sup>

科普作家一直都在宣称某类事件的深刻重要性，如

① 洋注：《物理之演化》(Evolution of Physics)一书在20世纪40年代出版，是爱因斯坦科普书籍中最有名的一本。

② 洋注：罗伯·欧本海默 (J. Robert Oppenheimer), 1904 - 1967, 曼哈坦原子弹计划主持人，“原子弹之父”，曾任普林斯顿高等研究院院长。旧金山探险博物馆创办人法兰克·欧本海默 (Frank Oppenheimer) 之兄。

宇宙最终的命运，或者在（宇宙创生）最初一兆分之一秒时发生的事件。我们把这些写下来，好像人们都和谚语说的一样，不安地坐在椅边，焦急地等待，希望尽快知道质子是否会（在  $10^{32}$  年后<sup>①</sup>！）自行衰变，或者微子<sup>②</sup> 内部是否有神神秘秘放进去的一些质量。我们使他们屏息等待着这类的奥秘，如搜寻顶夸克或宇宙常数<sup>③</sup>。有时我不禁要想，有多少读者早上起来，睡眼仍旧惺忪，正挣扎着去找袜子来穿的时候，心中不免起疑，有必要把这些远不可及的宇宙角落看得这么重要吗？

确实，重要性并不很明显。

可是宇宙大尺度构造中的生动奥秘以及原子的内脏，和我们之间的关系远比我们想像的要大得多。科幻小说把太空旅行去的地方描述成似乎这些地方有奇异及外星情调的景色，是远而又远的星系所在地，那里可能是古怪生物的家。然而我们多水的世界整天整夜地就在太空中打转，而那些古怪生物之中至少就有我们——大体的组成是血肉及骨骼，这些血肉骨骼的最根本组成则是夸克。

太空不是外星人的土地。内太空（原子内部）也不是。

① 原注： $10^{32}$  是 1 后面跟着 32 个零的数目。要给你们一个这数目有多大的观念，想一下一个 billion（10 亿）是 1 后面跟着 9 个零。物理学家认为宇宙的年龄为 150 亿年。要等一枚质子衰变可以说是等于“守株待兔”。

② 译注：质子（proton）为基本粒子之一，氢的原子核。从经验上看来是稳定的（依物质不灭定律）。但有人倡论说质子会自行消灭，其半衰期有一阵子被理论推断为  $10^{29}$  年。可是实验已把这半衰期推到至少  $10^{32}$  年以上。微子（neutrino，又称微中子）是基本粒子之一，是核子衰变后的副产品，可能有很少的质量（也许少到电子质量的十万分之一以下）。见后文。

③ 译注：顶夸克（top quark）是最近才发现的基本粒子。夸克为带  $1/3$  电子电荷的整数倍数的基本粒子，质子及中子都由夸克所组成。夸克共有六种，最后发现的是顶夸克。宇宙常数（cosmological constant）是爱因斯坦方程中的一个常数，代表宇宙级的斥力。爱因斯坦发明了宇宙常数，以兹解释当时人们认为是静止的宇宙。后来发现宇宙正在扩张后，爱因斯坦自责，称为是他“一生中犯的最大错误”。可是最近发现，宇宙常数可能真的存在，因为需要这常数来解释宇宙中似乎存在的斥力。有些在宇宙学方面工作的天文物理学家，称这发明为“爱因斯坦最灿烂的发明。”

它们是我们居住的地方。

更引人瞩目的也许是，科学的理念几乎已经溜进了我们文化及语言的每一面向。我们说，人们（就如磁石似的）互相吸引或互斥；我们也说，习性的力量、因果、无序、量子跃迁、时间及空间。我们的语言中已大量撒进了科学的隐喻；而科学语言中，也无可避免地渗入了日常生活印象的用语。

大多数的科学家都很有理由去怀疑，是否这种尝试有可行性，亦即：把他们很精确下了定义的理念用在捉摸不定的人为事务上。就像许多科学家认为的，科学与人文之间已经遭受了令人心痛而且也不自然的隔离。然而，科学不仅是一些事实的综合；科学更是许多理念的综合体，这综合体形成了我们的文化脉络，我们透过这些脉络去看这个世界。科学影响了几乎所有环绕我们的事物，也受到这些事物的影响。这些事物包括从宗教的角色到奴隶的地位。

## 科学和哲学密不可分

科学以“自然哲学”启端。在 19 世纪时，当所谓的科学革命产出这些预兆性的作品，如开普勒的《世界的和谐》及伽利略<sup>①</sup>的《星星报信者》时，当时的人们认为这些新发现是一种“新哲学”，这也就不应当使我们感到

<sup>①</sup> 译注：开普勒 (Johannes Kepler)，1571 – 1630，德国天文学家，发现行星绕日运动三定律，为牛顿力学的基础。他认为宇宙是和谐的，他把他的发现以乐谱表达出来，因此以和谐为他的书名。伽利略 (Galileo Galilei)，1564 – 1642，为现代物理始祖，因为鼓吹哥白尼的地球绕日理论，遭受天主教教会迫害，一直到 20 世纪末才得平反。

惊奇。哲学家及科学家二者都关心事物的因，而且都有要问的问题：为什么事物是如此而不是那般？为什么它们的行为是这样而不是别样？

近年来科学家已经多少失去了他们也是哲学家的地位了。许多人从技术的角度来看科学。可是历史显示出，科学一直都是人类思想的塑造者。例如去世不久的物理学家玻恩<sup>①</sup> 所指出的。“有人说任何时代的形而上学（metaphysics）就是前一时代的科学的后代。如果真是这样，这就使我们这些物理学家负有这个责任，要用不太技术性的术语来解释我们的理念。”

当玻恩在 20 世纪早期写这些话的时候，许多他的同僚也在同时尝试着把自己在科学上所做出的革命成果的哲学涵义，解开缠结及作成解释——这些骑在相对论及量子理论浪头的革命，完全改变了我们对每一事物的看法，从时间到空间，从能量到物质。

也许关于爱因斯坦理论最好的科普书是 1948 年出版的《宇宙及爱因斯坦博士》〔巴涅特（Lincoln Barnett）著〕。这书出版的时候爱因斯坦仍在世，而“新物理”的一枝一节仍旧在一步一步地阐明中。（当然，它们还在不断地阐明中，可是当时有一种感觉，这些题材还太新，因此需要更多的探索及解释。）在自己的序中，巴涅特解释他写这书的原因：

在今日，大多数的报章读者大约模糊地知道爱因斯

① 译注：玻恩（Max Born），1882 – 1970，原籍德国的英国物理学家，对量子力学的研究有卓越贡献，特别是对波函数的统计解释，1954 年诺贝尔物理奖得主。

坦和原子弹有关，除此之外，他的名字简直就是“深奥玄妙”的同义字……许多大学生仍旧认为爱因斯坦是某种数学超现实主义者，而不把他看成，在我们缓慢挣扎着去了解物理世界的尝试过程中，一位极重要的宇宙定律发现者。这些大学生可能不了解，相对论除了在科学上的重要性之外，还构成了一种主要的哲学体系，这体系增大了伟大的认识论者，如洛克、柏克莱、休谟等人的深思反省<sup>①</sup>。

科学和哲学不可分的这个理念，就是在这书中不断出现的命题。

## 不过是一些老生常谈

另一个很明显的偏见是某种偏爱，物理学家维斯可夫<sup>②</sup> 称为“老生常谈”。

大致说来，这本书不涉及黑洞，或者夸克，或者反物质，或者高温超导体，或宇宙之命运。本书若触及这些事物，纯粹因为这些事物本身就是很有趣的。可是专注于这些事物，却很容易变成去提倡这个感觉：科学是在我们日常生活之外的事物。然而科学并非“遥不可及”，并不比你“朝窗外看，讶异于为什么一棵树会按某种方式分枝？或者讶异于为什么天是蓝色的？（一个古老

① 译注：认识论（epistemology）为哲学的一支，研究人类知识的起源、性质、方法及限制。洛克（John Locke），1632 – 1704，是英国哲学家；柏克莱（George Berkeley），1685 – 1753，爱尔兰哲学家；休漠（David Hume），1711 – 1776，为苏格兰哲学家，他们都是认识论哲学的大师。

② 译注：维斯可夫（Victor Frederick Weisskopf），曾任欧洲粒子物理研究中心主任，见后记〈推动力及影响力〉。

但还是很聪明的问题)①”，更加不可及。

我喜欢老生常谈的原因是，可以用已有的知识及器材去了解，例如，搭乘一架民航机。每年约有 10 来次，我变成这些“太空”旅行的旅客，在四万英尺的高空上飞行，我总是被喷射机时代古怪的飞行特性所惊愕住；有看不见的力，无丝无缕地把我搭乘的 50 万磅重的飞机托住。下面的地球不再是一个世界，而是一颗浮在太空中转动着的蓝宝石似的球，上面遮盖了一些似不确实的薄云纱。从这里展望，你可以清楚看出地球的曲率，你会对这曲率居然这么小而感到惊奇——就这么一个柔和的阳光照耀的小蓝点，浮在黑暗的虚无中。

我可以朝上看，而看到的是，我的头几乎要碰到太空的顶；若再上去个约四万英尺的高度，我就在白日黑暗中，变成一位火箭女。我向下看，看到的是冒气泡的云团组成的大气锅，偶尔有一个不友善的山尖冒出来。我们似乎在一片愤怒的大海上浮掠过，我认为很难置信，纤弱的生命体居然能在底下这种环境中生活，更不必提去打造那些巨大、噪音四发的金属蚱蜢，就像我正在乘坐的这一只，能把人们载起，从一座机场跳到另一座机场去。

多年前，和我六岁的小儿一起旅行的时候，我看到下面地球表面上大面广、像打翻的牛奶形成的白色盐渍区——地球之盐时，我发出喔喔的惊讶声。我看到洛矶山脉上锯齿状的山脊，把整个大洲一切为二时，我看见

① 原注：许多年前，我的小儿问我一个稍加改过的同样问题：空气的颜色是什么？再三思索之后，我们最后想到这个答案：蓝色的。空气呈蓝色，因为天空（组成为空气）是蓝色的。也就是说，因为一团团的空气分子对日光中蓝色光的散射要比其他颜色的光为甚。空气看上去不呈蓝色的原因只因为在很小的空间中，没有多少的空气。（你也许可以这么说，空气呈非常、非常、非常、非常浅的蓝色。）

了为这个蓝色血液的世界带来生命的蜿蜒河脉，深深蚀刻出河谷，深到你几乎会感受到这颗活行星被蚀刻这么深时所感觉到的疼痛，也不禁发出了啊啊的惊讶声。我的儿子则专心注神地看电影。我不能自制，因此，我催促他去看一眼。他似乎一点也不感惊奇，只模糊地表现出一些兴趣。最后我问他，他认为是什么东西把这飞机及机内的数百乘客托在天上的？他以向一位小孩解释的口吻答说：“当然是空气”

当然！

就在这时候，空中小姐来了，要我把窗屏拉下。她说，别的人想要看电影。可怜的地球，我这么想。到处都有被彗星打出的麻斑及皱痕，被风及雨磨平了的皱痕，可是令人不能置信的是，一片片的新绿植物就在这里那里长出，在旧的灰烬上冒出。可是没有人来赞美你那有尊严的美，还要说事物如此是理所当然的！

## 别怕问天真的话题

艺术家米勒（Bob Miller）喜欢问下面的“科学”问题：你如何能把 10 万吨的水托在稀薄的空气中，而不用到看得见的支架？答案：“造一朵云。”

梭罗<sup>①</sup> 知道大自然是一位“巫师”，可是我们似乎已经忘却了。“一颗毫无生命的行星逐渐演化，最后达到了有绿叶的至高点，”博物学家爱诗礼（Loren Eiseley）这么

<sup>①</sup> 译注：梭罗（Henry David Thoreau）1817—1862，美国博物学家及教育家，思想近老子，曾在华盛顿湖过自耕自食的生活，著有《湖滨散记》（Walden）一书。

## 物理与头脑相遇的地方

写道：“目前，这个高高地悬浮在大洲上空，被改变过及加了氧的大气，邀请动物幻影似地从无中出现，而这些动物的组成则是以往毫无活力的泥土。只有在长期的观察后，一只老练的眼才学会把这些事件认为是自然而然的，不是奇迹。”

伟大的英国物理学家法拉第<sup>①</sup> 这么叙说：“没有哪个事物的奇妙性，会大到不能认为它的出现毫无真实性的地步。”麻省理工学院教授莫里逊（Philip Morrison）在一本以法拉第的话为名的书中，把它推敲成下文：

法拉第有说服力。没有哪个事物的奇妙性，会大到不能认为它的出现毫无真实性的地步：这些事物包括单个土球及其他所有类似土球（会被重力朝中心拉去）；包括所有看不见的木星的卫星；包括单一形式的神经冲动，无论其内含的讯息是视景或声音；也包括可见的宇宙中似太阳的星球的数目，多到可以让每一个活着的人都可以拥有千亿个太阳的地步；甚至包括这个慢而持久的大陆漂移，把印度从南方的冰区移来和亚洲相撞，在相撞的地方耸出这座巨大的喜马拉雅山脉。

而这些，包括每一个奇妙的细节，都是“老生常谈”。可是还有一些更基本的原因使我专注于日日遇到的“老生常谈”：在科学的最前锋，最奇妙的事往往只是把日日遇到的科学奇妙处，加以润色修饰而已。譬如，黑

<sup>①</sup> 译注：法拉第（Michael Faraday），1791—1861，学徒出身，自修成为当时最伟大的物理学家之一。1831年，法拉第成功证明了电与磁只是一体的两面，两者合称为“电磁”。

洞的底部就是重力。事实上，黑洞仅是当重力的拉扯达到极端的情形时，一种对重力的看法而已。而重力本身则是一个深奥待解的谜。

同样的，超冷材料的行为有时似乎很超自然：所谓的超流体（superfluid）只能在绝对零度（摄氏零下 273 度）附近存在，能向上流，流出瓶外，再向下流到瓷瓶的底；另有所谓的超导体，电流能在材料中永远流动，似乎不遭遇到一丝一毫的阻力。

在温度最热的那一端，物质的表现似乎也很奇怪。原子瓦解，形成超高热带电的离子体（电浆），能点燃核聚变之火，就如在太阳的中心一样。为了要驯服这些不可捉摸、热不可触的气体，物理学家制造了巨大的磁场组成的瓶子，可是这些离子体太滑溜了，很不易把它们关起来。恒星的燃料就是离子体。在更高热的温度下，物理学家希望能创造出所谓的夸克——胶子离子体（胶子是传送夸克间作用力的媒介），这就是太初宇宙浑汤，世上的一切物质都从它凝结出。

可是，这些物质的奇异形态也不过是普通物质的各种不同态——从固态到液态到气态的延伸而已。而且，要能鉴赏超导体或太初宇宙浑汤的奥妙，不可能不先去了解水是怎样结冰或化为蒸气的。

有些人说，重力及物质的不同态这一类的题材，已基本到引起不起任何兴趣的程度。今日的人太老练了。可是令人惊奇的是，即使在这个最摩登及高科技的社会中，还是非常容易变得无知。我的物理学家朋友喜欢这么说：“我们之中大多数的人，对于每日接触到而不了解的事物，数目之多，就和古代的希腊人（约 2000 年前到 3000

年前)或巴比伦人(约4000年前)一样。可是我们学会了不去问这些问题。我们不问汽车动力方向盘的工作原理,不问如何去制造小儿麻痹疫苗,不问在把柳橙汁冷冻时要牵涉到哪些步骤。后果就是把我们放在这么个令人不解的吊诡位置上,科学成就的一个后果居然是把好奇心泄了气,把好奇心抹煞了。”

如果简单的科学是无趣的话,可能是因为我们在问那些很“明显”的问题时,会被人耻笑。我们还不能确实地知道,月亮的起源是什么,或者地球上的生命是怎样来到的,或者为什么质子会比电子重。我们不知道人们为什么会对音乐有反应,不知道明日明尼阿波利城会不会下雨。我们不知道邪恶的特性,或者把夸克胶在一起的力。

布罗挠斯基(Jacob Bronowski,数学家、文学家)在他的书《人类的攀登》中这么写道:“像牛顿或爱因斯坦这一类的天才成为天才的原因是:他们问很明白、很天真的问题,结果是,这类问题的答案却是惊天动地的。爱因斯坦是能问极为简单的问题的人。”

## 科学当然是文化的一部分

很显然,这本书要描写的是科学在实用及哲学上的成果;这本书也先赞颂了我的物理学家朋友喜欢说的,“科学的情感成果”。

“科学非但实用”,他说:“科学也决定了我们如何思考及感受。宗教一直都包含了一种对自然的看法。即使基督教圣经,也以一段对宇宙论的讨论做为开始。在今日,这类关于自然的思想主要都来自科学。它们永远是

富有幻想力，难以置信的。可是今日的人们只归功给科学一个有限的角色。他们继续把艺术和音乐谈成文化的一部分，却忽略了这个事实：我们对自己的看法以及对我们世界的认知是什么，这在文化中也应当占有同等的重要性及地位。”

几乎 30 年前，我坐在前苏联的工业城卡尔可夫 (Kharkov) 的一间小旅社里有霉臭味的门厅中；我刚刚从一个集体农场回来。在这个小而不舒服的门厅里，有一小群美国人和俄国人局促不安地挤在一起，看两个美国太空人在月球上漫步。这个荧光幕上的影像模糊到几乎看不见，可是很明显地，俄国人也同美国人一样，深深被这第一次的地球外漫步打动了。对所有在场的人来说，这是极为深刻的感受，就像第一次用了好的双筒望远镜看到木星的月亮或土星的环一样。

按照科幻小说作家艾西莫夫 (Issac Asimov) 的说法，即使在美国航太总署 (NASA) 把我们推到这个世界以外的地方之前，望远镜的发明已经“戏剧化地把我们的‘文化’历史改变了，”（“是艾西莫夫加上的）：“当伽利略用望远镜去看月球，看到山、陨石坑及‘海’的时候，这就是支持有多元世界存在的铁证。地球不是唯一想像得到，可以让生物生存的物体。”望远镜把我们对宇宙的观点扩大到“使得这个早年以前筑成的、以人为中心的、罪与被拯救的戏码<sup>①</sup>，与这个新宇宙一比较之下就毫无价值了。”终于断然地把人类从宇宙舞台的中心点拉

<sup>①</sup> 译注：指在中古时代控制了欧洲人民思想的基督教中心思想，相信人有原罪，信了耶稣基督就能得拯救进天堂（基督教圣经说第一对夫妇亚当及夏娃不听上帝的指令，吃了禁果——苹果，因而被逐出天堂，这是第一次不服从上帝，因而称为原罪）。

出去的，就是望远镜。虽然远在公元前3世纪，有些人就已经想出是地球在绕日（而不是反过来日绕地），可是这个看法要等到哥白尼之后多年，大约在16世纪左右，才纳入普罗文化中。

传统价值观是把地球放在万物的中心，宇宙是为了我们而存在的。想一想，对一般人的宿命、个人的责任感及敬畏心来说，这带来的是什么样的意义。

### 了解之后，更加谦卑

可是从某方面来说，我们从科学方面学到的东西证实了，地球占的地位更为中心了——那是因为生命的似不可能性，使得生命更为可贵。制造我们的材料会在爆炸中的星球里冶炼过。我们曝晒在一个第二代的恒星——太阳——光芒之下，我们的行星的组成来自稍被外来元素污染过的原始氢气云，这氢气云形成了我们的太阳系。我们多岩石的家是沉到底的沉积物（其实是沉到中心，“底下”是朝地球中心的方向），在那时候，轻的元素不是被吹走就是沸腾而去。只有当早期的细菌把它们的环境以一种称为氧的“毒素”（对它们而言是毒素）污染后，陆地上的动物才能兴起。

这类知识不见得使我们更自感谦卑一些，可是按我这位物理学朋友的说法，“却把我们谦逊的性质改变了。”

仔细看一看那似乎静止不动的宇宙。这么仔细一看，就看出了它充满着令人晕眩的变化；即使恒星也会用尽它们的资源而死，然后再生。可是在数世纪前没有人知道，有时恒星会在暴乱中出生及死亡，这个宇宙仍在不停演化中。在伽利略的时代以前，人们简简单单地假设

我们今日看见的地球，就是在创世时已经存在的同样星球；同一星球会永存。

在大小尺度的另一端，20世纪发展出的量子理论把“原子和撞球一样”的观念击破了，也摧毁了“它们的一行一动都是预先注定”的观念。在原子的核心有极大的不确定性；“因果”关系看上去似乎很简单，可是却具有极度的复杂性及富饶性。结果是，今日对事物的看法已变成：它们很易变动，不像在牛顿时代的看法——一个如钟的机械，死板板地早已注定如何运转的宇宙。

达尔文令人畏惧的（在有些角落还是禁止提起的）果实就是，物种和星球一样，也会改变。在地球上，生物的形态不是不变的。我们就如宇宙一样，一直在演化中。如果我们从何处而来、我们祖先的外貌是怎样的……这类问题，并不是导致我们的心灵受到扰动的争论点，那么严格按基督教圣经字义解释的神造论者（creationists）对达尔文的学说，也许就不会起了那么大的激动作用。

即使是单纯对于物理作用力（如重力）的看法，也会对我们如何看待自己的方式，带来深刻的影响。17世纪时，牛顿的万有引力（重力）理论曾引起一场文化上的风波，不是因为他“发现”了重力（每一个人都知道物体会向地球下落），而是因为他发现了重力是无处不在的（万有）。在他之前，人们假定地球上的自然律和天上的自然律基本上完全不同。牛顿证明了，苹果的向下落及月球的轨道都被同一作用力所控制。

从这意义来说，去月球探险和击破原子的需要，和我们对自然博物馆的需要是同等级的：科学让我们掌握

到我们是谁，以及我们如何能在宇宙万物的体系中占有一席之地。要了解我们在太阳系的地位，必须先了解太阳在太阳系的地位、天上的循环周期、元素的性质，以及生命的似不可能性。如果我们学习到的，会使我们对自己的限度及潜力感到些许晕眩的话，也只好认命。科学给了我们对尺度的认识、对限度的认识、对透视的赞美，以及对不确定性的忍受。

### 不能什么都讲求功利

我所读过的对这些意见的最好总结，来自威尔逊 (Robert R. Wilson)。他是一位雕塑家兼物理学家。他负责监造座落在芝加哥附近的费米国家加速器实验室里的巨大原子击破器。有一位参议员不断地质询，要求知道去探测质子，对国防有什么用途：

“有没有任何和这个加速器有关的东西，涉及国家安全？”这位参议员问。

“没有，先生，我相信没有。”威尔逊博士回答。

“在这方面真的一点价值都没有？”这位参议员又问。

“它只和我们人民之间的互敬、人民的尊严、我们对文化的爱好有关。它与以下这些事物有关：我们是不是好的画家？好的雕塑家？伟大的诗人？我们的意思是，在我们这个国家中，这些都是我们真正崇拜仰慕及尊重的东西，使我们爱国的东西。”

“在这种意义下，这些新知识和尊荣、国家有关，可是它和防卫我们的国家没有直接的关系——除了能使这个国家变得更值得去保卫。”

在物理与头脑相遇的地方，你的脑筋可以豁然开窍，你可以轻而易举地化解掉物理现象中的匪夷所思。

换一种方式来认知物理，不仅学习变得轻松起来，更能令你明白许许多多发生在身边，从前却只能是雾里看花的人生哲学。



## 目 录

<b>自序</b>	<b>物理是一种生活方式</b>	◎柯尔	1
<b>导读</b>	<b>爱情、互补、因果关系及其他</b>	◎丘宏义	1
<b>前言</b>	<b>生活在太空中</b>		1
牛顿或爱因斯坦这一类的天才之成为天才的原因是： 他们问很天真的问题，结果是，问题的答案却是惊天动地的。			

### 第一部 求知的艺术

<b>第一章</b>	<b>科学如隐喻</b>	3
当物理学家说电子像粒子，他用的是隐喻式的比较，就如 诗人写爱情像一朵玫瑰花。		
<b>第二章</b>	<b>正确？错误？</b>	29
几乎可以确定，爱因斯坦一定会错。 至少他错的意义就如他证明牛顿力学有错一样。		
<b>第三章</b>	<b>瞧出端倪</b>	40
科学是极令人兴奋的探险，我们非但是观众，也是演员。		
<b>第四章</b>	<b>科学的审美观</b>	68
“它很简单，因此它美，” 费曼提到重力定律时这么说。		

第五章	自然的互补	80
自然界星期一、三、五是按量子理论做事的， 而星期二、四、六则按波动理论……		

## 第二部 动力者及震撼者

第六章	力和质力	91
以四种所谓的自然界基本作用力， 来了解质力，那就很容易了。		

第七章	量子跃迁	118
现在大家看到的大自然，是结结巴巴的或颗粒的， 从一数量跳到另一数量去，从来不横越这二者之间。		

第八章	相对说来	132
大众心目中的相对论就只是这句话：所有的事都是相对的。事实上，爱因斯坦理念的含义，几乎正好相反。		

## 第三部 线与结

第九章	波和四溅的水花	161
波是自然界中特别持续不断的模式，影响远大， 四溅的水花只是昙花一现的事件。		

第十章	共振的魔力	173
共振不只是冷酷无情的放大器， 它也是我们耳朵听到的音乐。		

第十一章	对称性和影子	181
影子是失去了的影像， 但影子也和原来的光一样，富含资讯。		

第十二章	有序及无序	191
费曼说：“在不可逆的过程中失去的 不是能量，而是机会。”		

第十三章	因与果	202
------	-----	-----

## 目 录

如果事出必有因,那么我们就是齿轮;	目 录
如果事出不必有因,我们仅是一堆骰子而已。	
<b>第十四章 差之毫厘,失之千里</b> ..... 218	
如果强作用力稍弱,或者电力稍强些, 原子、物质可能就不存在了。	
<b>后 记 推动力及影响力</b> ..... 228	
从爱因斯坦的理念, 到我的“物理学家朋友”原创的洞见。	

# 第一部 求知的艺术

在企图理解实情时，我们就像是想去了解手表的机械装置的人：虽然看得到表面和会动的指针，甚至于听到滴答声，却始终没法把表盖打开。如果他够聪明，可能会想出某种机械装置的心像，来解释观察到的东西，可是他永远不能确定这心像是否是唯一的解释。

——爱因斯坦和殷菲德，  
《物理之演化》



## 第一章 科学如隐喻

在哲学、科学及感触的最前沿经验上，不可避免地，要去摸索出一种新语言，用来为这些刚注意到及正在了解中、还不稳当的新东西，赋予精确的意义及心像（image）。

——法兰克·欧本海默①

欧本海默在探险博物馆介绍一系列关于“诗及科学的语言”的阅览时，写下了前面这段话。诗和科学？真奇怪。可是如果你读了波耳② 某一回写下的话，就不会感到奇怪了。波耳写道：“在原子这方面，语言只能以在诗中的用法来应用。诗人也不太在乎描述的是否就是事实，他关心的是创造出新心像。”

① 译注：法兰克·欧本海默（Frank Oppenheimer）是旧金山探险博物馆（Exploratorium）的创办人，“原子弹之父”罗伯·欧本海默之弟，在20世纪50年代，因他的和平主义论调而被列入黑名单，因而被摒除于物理界之外。见后记《推动力及影响》。

② 译注：波耳（Niels Bohr），1885 – 1962，丹麦物理学家，以拉塞福的原子模型为基础，提出氢原子结构理论。（引入量子数n，提出电子以循圆形轨道，以倾斜方式绕原子核旋转），1922年诺贝尔物理奖得主。

## 第一部 求知的艺术

毕竟科学牵涉到的多半是去观看看不见的事物——非但夸克及似星体，甚至于光“波”及带电荷的“粒子”，磁“场”及重“力”，量子“跃迁”及电子“轨道”等。事实上，这些现象之中没有一个是严格地按字面意思表达出来的东西。光波在真空中传播时，不像池塘中的水波一样上下波动；场（field）不像一片充满了干草的场地，而是力的强度及方向的一种数学描述；原子并没有照文字上说的，从某一量子态跳到另一量子态去；电子也不是真的绕着原子核走圆形轨道，就如爱情也不会按照文字所描写的，造成心痛一样。

我们运用这些字的方式是隐喻（metaphor）：以我们熟悉的材料为模，再加上幻想为型。物理教授纪安可利（Douglas Giancoli）这么写道：“当物理学家说电子像粒子，他用的是隐喻式的比较，就如诗人写爱情像一朵玫瑰花。这两个心像，都用实质的物品，一朵玫瑰花或一个粒子，来阐明抽象的理念，爱情或电子。”

### 试看一堆有字天书

几世纪以来，科学隐喻的形态已有很多种。最近，物理学家努力想去了解宇宙中某种斥力的新证据，你可以听见他们在这些词，如“精华”<sup>①</sup>、“X 物质”、“平滑物”、“怪能量”中翻来覆去。如果出现的景色愈复杂，他们也就愈要伸展开，去寻觅适当的幻想词语来描述。

<sup>①</sup> 译注：古希腊人认为世界的组成是四种元素：空气、水、地及火（类似中国道家的五行：金、木、水、火、土）。中古时代人认为天体的组成和地球的不同，他们把这组成称为第五元素（quintile 是第五之意），后来把任何精华都称为 quintessence。

可是这些语言的古怪性，并不比科学家用来描述难以形容的物体的专有名词更为甚。

以下是 17 世纪的培根<sup>①</sup> 对热的描述“热是一种扩张的行动，不分布于物体的整体，只存在于其小部分，同时又互为制衡、互斥、被击回，因而物体会有一种不同的运动，永远在颤抖中挣扎、被回音所刺激，因而从这些颤抖、挣扎、回声中能冒出火及热的威猛。”<sup>②</sup>

而牛顿对我们现在认为是化学反应的描述则为：“关于某种最微妙、弥漫及隐藏于所有整体物质中的精灵，我们应当说，有某些力及作用，它们能使物体振起精神，使粒子在近距离中互相吸引，如果邻接，则能紧密地结合……而可能还有别种能在小到无法观测的距离中作用的……及能在长距离起作用的带电物体，以及能斥开及吸引邻近的物体；能发出光、反射光、折射光、调节光，及使物体加热；所有的感觉都能被触发、受激，及……沿着神经的固体线丝传播。”<sup>③</sup>

再看厄司特<sup>④</sup> 在 19 世纪早期对电的心像：“电的冲撞只在物体的有磁部分有功效。所有不带磁的物体似乎都能被这种电的冲撞所穿透，而带磁的物体，或它们的磁粒子，能抵抗这种电冲撞的输送。因此，它们能被这些相争的力所冲动。”<sup>⑤</sup>

① 译注：培根（Francis Bacon），1561 – 1626，英国名哲学家、政治家及散文家。

② 译注：到了 19 世纪中叶，才知道热是什么东西（分子的动能），以前只能以感觉来测知热，因此用这些不精确的语言来描述热。

③ 译注：牛顿也是一位炼金学家（alchemist），因此用了炼金学的口气来描述。见后记〈推动力及影响力〉的注释⑤。

④ 译注：厄司特（Hans Christian Oersted）1777 – 1851，丹麦物理学家，在电磁学上贡献很大，磁场以他的姓氏为单位。

⑤ 译注：电的冲撞（conflict）指的是磁场，因为当时还不知道磁的来源。

拿这些和一篇现代论文中倡议某种“暗物质”<sup>①</sup> 的摘录相比。这篇论文是物理学家钟氏（Daniel Chung）、柯伯（Edward Kolb）及利奥托（Antonio Riotto）所写的，“本论文之目的是论证宇宙可能是由一种超重的大质量弱作用粒子<sup>②</sup> 组成的（我们把这粒子称为 X 粒子），其质量比弱作用的规模要大上好几个数量级……要看真空选择效应及其尺度因子可微分性在产生出的 X 密度的大 X 质量之行为，我们要开始把以下的作用形式〔座标为  $ds^2 = dt^2 - a^2(t) dx^2$ 〕量化……”。

## 科学家词穷了

科学关心的主题非但经常无法由肉眼看到，也无法感触及、无法量度，而且有时还想像不到。唯一能检视这些难以捉摸的实体的方式，就是把它们按尺度放大或缩小，或者赋予它们视觉化的心像，使我们至少暂时得到掌握它们的方法。可是甚至早在 1882 年，物理学家兼律师司大罗（Johann B. Stallo）就已经说了，目前的宇宙模型只是“推理小说”，是一个在了解它时有用的工具，

① 译注：暗物质（dark matter）是一种假设的不明性质的物质。自 20 世纪 30 年代起，天文学家就发现有许多星系的运动（速度）不能被观测到的恒星总数所解释；星系中恒星的速度是由星系本身的质量所定，一定大小的星系，若质量大，恒星的速度也大。但实际测量出的速度要比从观测到的恒星总质量估算出的要大很多，约相当于数十倍质量的差额。到了 20 世纪 90 年代，天文学家从另外独立的新观测中断定这质量的差额确实存在，因此把这些看不见的物质称为暗物质。似乎宇宙中的暗物质的成分为看得见的物质（即星球，包括我们的组成）的 50 倍。目前已有很多关于暗物质的理论，可是还不知道这些暗物质的组成，只知道它们和普通物质之间的作用非常微弱，弱到还不能测出的程度。本篇论文做了一种臆测，建议一种暗物质，可是不知其形态，只好旁敲侧击。这样的推论，错的机遇要比对的机遇多，就如以上培根、厄司特的推论一样。

② 译注：大质量弱作用粒子（weakly interacting massive particle），简称 WIMP，具有可观质量并能产生弱作用的基本粒子之通称。

可是最后也只能把它们看成物质世界“象征的表相”而已。

当我们谈到科学的时候，就如同谈到许多其他的事物，竟发现自己真的词穷了，因此就出现了隐喻。植物学家布朗<sup>①</sup>首先注意到悬浮在水中的植物孢子（芽胞）做疾速、无规则运动（现称为布朗运动），他把这现象称为一种“塔朗特舞”<sup>②</sup>。按照物理学家加莫夫<sup>③</sup>的说法，布朗把它拟人化为“神经过敏的行为”。（布朗运动是第一个令人信服的分子存在的证据，因为孢子被水分子撞击后，产生了舞蹈式的运动。）

后来加莫夫把X射线描述为许多种不可见光的混合体。“当运动中的电子被（靶）止住时，它以很短波长的电磁波形态吐出能量，像一枚枪弹射在钢甲上所发出的声音一样。”因此，在德国，这种光被称为制动辐射（bremsstrahlung）或煞车辐射。

有时这些隐喻很容易混淆。许多光的混合体称为白光，可是我们也把声音的混合体称为白噪音（white noise）。我们说某色彩很“响”（loud，如大红大紫），称发芽中的洋芋烂了，而发芽（seedy）的真意乃是有繁殖力，因为从种子能长出新植物。在不同场合，宇宙被描述为泡沫、虚无，或爆竹。时间为流体或粒状，或二者兼有。如果你听上去好像科学家不知道他们在说什么话，

① 译注：布朗（Robert Brown），1773—1858，为苏格兰植物学家，1827年观察花粉颗粒而发现原子的布朗运动（Brownian motion）。

② 译注：塔朗特舞（tarantella）是一种意大利南部的6/8拍双人快舞，原来是用治一种神经方面的病 tarantism，这是一种歇斯底里性或癫狂性的舞蹈症，以前认为此病是被一种大型有毛的蜘蛛 tarantula 所咬而引起的。

③ 译注：加莫夫（George Gamow），1904—1968，乌克兰裔美国物理学家，发现核子α衰变的原理，及预测宇宙背景辐射的存在。见后记《推动力及影响力》。

## 第一部 求知的艺术

至少有部分原因是，在把日常语言翻译为科学用语时，一大把意思都失去了。

去想像看不到的事物是件难事，因为想像的意思是在脑中已经有了视觉化的心像。而对一件你从来没有看过的东西，你怎会有一个心像？就如知觉一样，科学模型同样已经嵌入了我们对世界的复杂观感，也就是所谓的文化。想像一下（如果你能这么做），如果人们仍旧认为原子的模型和行星一样，电子绕着原子核转，如果人们还认为地球是平的。能不能呢？

因为我们已经有了这些事实的心像，因此，再也无法相像这些和既有心像不同的形态。“对我们说来，模型或图像之能有意义，乃在于它是由已经在我们脑中存在的理念所组成，”物理学家京期<sup>①</sup>这么写道。伟大的遗传学家霍登<sup>②</sup>首先注意到，自然内部的结构“非但比我们假想出的要怪异，而且比我们能够假想出的还更怪异。”

### 科学用语也不能免俗

因为不能假想宇宙真正的形态是什么，我们只能依赖自己很觉得自在、可是有相当限度的模型。这些模型的形象不时在改变，后果是，我们对宇宙的看法也一直在大幅改变。从牛顿的机械式模型（以不可见的滑轮及弹簧所控制的宇宙模型）到现在的模型之间，已经有一大段距离了；现在的模型中，力的心像是空间中的皱纹，物质的心像仅

① 译注：京斯（James Jeans），1877—1946，英国名天文学家、数学家兼物理学家，创恒星出生的理论及条件。

② 译注：霍登（J. B. Haldane），英国遗传学家、生化学家，在酵素研究及染色体研究方面有卓越贡献。

是能量的振动细丝，物质世界乃是一个更高的 11 维空间中的影子。科幻作家艾西莫夫这么写道：“科学理论倾向于符合我们时代的智慧时尚。”

艾西莫夫更进一步去谈一个具体的例子，原子。这例子很好，因为实质上我们仍然看不见原子。擅长几何学的希腊人，主要以形态来表达原子<sup>①</sup>：火的原子是锯齿状，因此火能伤人；水的原子是平滑的，因此会流动；地的原子是立方体，因此，地是固体。到了 19 世纪初，大部分的欧洲国家都采用了公制，从某种意义说来，当时注重的是量度，因此不再对形态感兴趣，只有多寡才重要。所以原子变成了无形无态的小撞球，原子之间的区别在于它们的质量。更迟一些，在 19 世纪 80 年代，当时科学的时尚是力场，因此对原子的看法是，它们之间的区别在于外围电子的组态。

所有这些心像一直持续到今日，物理学家仍然聚集注意力于量，而有机化学家则聚集注意力于分子的形状，等等。

另一个这种现象的熟悉例子，就是平凡的夜空。在北半球的恒星被分入叫星座的星群中。星座的名称反映出替它们取名的希腊人脑中跳动的心像：浪漫与冒险；这些星座说出皇后和战士、神和猛兽的故事。而在南半球的恒星呢，则是由一个更近代的文化所取名，当时这个文化的主要兴趣在于航海。他们在天上看不到熊、爱侣，看到的是三角形、钟及望远镜。“把恒星分门别类为星座，诉说出极少关于恒星的事，”京斯写道：“可是告诉我们极多的、这些最早的文化及中古世纪天文学家头脑中想到的事。”

<sup>①</sup> 译注：希腊人认为世界由四种元素组成，火、水、地、空气。

## 第一部 求知的艺术

当然,一点不奇怪,我们对原子及恒星的看法会变,因为每日愈来愈多的事物的心像也不时大幅变化。任何文化对童年的认识、对女人的角色、工作、宗教、政府等的看法,在不同时代都有大不相同的看法。《绿野仙踪》(The Wizard of Oz)里那位可爱的朱蒂,看上去要比今日的孩童模特儿胖了些。

### 常识不一定可靠

隐喻是从日常经验取出的。除了用已经知道的东西当做蓝本以外,没有其他方法去想像不知道的事物。因此,在这个一眼就眺望到的景色中,必定充满了熟悉的心像。我们用这些心像去描述科学中不可见的事物,以及尚未看到的未来;这些心像就从我们每日经验到的、“可看到的”世界取材。而这里就出现了摩擦。我们并未经过极大或极小的东西,不会触摸到看不到的力、数学的场、空间的曲率及时间膨胀。我们不能爬入一个原子,或者咻咻地到达光的速度。“整个科学乃是把每日的想法加以精炼,”爱因斯坦这么写道。可是他也指出,日常生活的“常识”仅是我们早期的教育训练留在我们脑中的一层偏见。

常识是必需的,也很有用处。“只有坚持,熟悉的知识一定要再次出现于不熟悉的事物中时,才会发生危险,”罗伯·欧本海默这么写道:“如果这想法只是把我们带上这样的思路:每一个我去拜访的国家都和上一个我们去过的国家一样,那就大错特错了。”然而这正是人们的所作所为。可以确定的是,每一个科学模型,就如学习一种外国语言一样,直到你不假思索的时候,才真正管用。若你仍然要

在脑中不断搜索正确字眼，你是很难流利地开口说这外国语的。如果简单的理念及假设仍然含糊、难以捉摸的时候，就很难了解从这些理念及假设引导出的复杂理念。如果你需要不断提醒自己，“让我们想一下，原子核是在当中的那个东西。电子是在外面的小很多的东西。电子就是那个带负电荷的？对了，我记得是如此。”这理念还不完全属于你。流利的意思是，所有的字眼及理念都在你的舌尖上，待命而出。可是，如果你的某种语言很流利或对某一理念很流利，它们就已经是你的一部分了。到了这个程度，其他的语言及不同的理念都会自动变成外语，或觉得怪异。

## 太熟悉也很危险

“熟稔有催眠性，”物理学家瑞德里(B. K. Ridley)写道。任何我们熟悉的模型都能孵育出认可。这是个柔而有力的陷阱。“想象一下熟稔的危险性，”瑞德里继续写道：“似乎很明显，同一物体不能同时出现于两个不同的地方；可是一个绕射中的电子却能<sup>①</sup>。看上去大小及位置都能无限变化，每一事物都共享同一时间；但是，爱因斯坦证明并非如此。我们一定要再三检视来自直觉的理念。”

要检视这些直觉的理念并不是易事，因为它们来自直觉！要迈步走向新疆域去，需要一些新的字眼及心像。可是这些从哪里来？常常，不知不觉间，我们一直回到同一

<sup>①</sup> 译注：在电子的干涉现象中，一枚电子能被处在两个地方的原子同时影响，造成绕射的模式。因为要同时受这两个地方的影响，等于说电子可同时出现在两个地方。光子亦然。

## 第一部 求知的艺术

泉源去。或者如爱因斯坦所说的，“我们忘却了，世上那些日常经验已使我们框制出（科学出现之前的）观念。要把我们经验到的世界描绘出心像，而不戴上已建立好的旧观念眼镜来作解释，是件不容易的事。还有另一个困难，我们的语言迫使我们使用那些和原始观念分不开的字眼。”

语言很容易使一个字变成“错误及迷惑之源，”爱因斯坦说。可是科学还有一个特别的语言问题，即字词都是从日常生活的语言中借来的，再把这些字词应用在离开日常生活很远的领域中。当我首次尝试以“当你的脚趾撞到东西时所感到的力”去解释新发现的力粒子<sup>①</sup>时，我发现我踉跄地步入语意学的灌木林中，因为宏观尺度的“力”和次微观尺度的“力”可以化装为完全不同的东西。物理学家从牛顿力学中借来这字，应用在量子力学中，而在那里它就改观了（至少对一位外行人来说是改观了），改得几乎面貌全非。

在因果律的观念几乎无立足之地的量子力学体系中，力怎能有意义？可是物理学家仍然谈到“力粒子”，而我们这批仍然留驻在撞球式粒子心像及“推、扯”力的观念的人，因此困惑于无希望及无可挽救的深渊中。

“科学所用的字眼和我们日常生活及语言中用的字眼一样，造出的误解经常要比阐明的多，”罗伯·欧本海默说：“与可辨识的术语相比，这些日常用字在科学上的应用，在你企图去了解时，经常会造成你的挫折感。因为科学中的字，如相对论、原子、突变、作用，含有的是完全改变过的意

<sup>①</sup> 译注：力粒子(force particle)指的是传播力的媒介粒子。按量子力学的看法，所有的力(重力、电力，等)都各由一种粒子为媒介，例如电力的媒介是光子，等等。

义。”

## 夸克是什么意思？

许多物理学家对于应用在次原子粒子方面的字眼感到不安。例如，夸克(quark)是从《芬尼根守夜》借来的<sup>①</sup>；在德文中的意思约为“乳酪”。可是对许多人来说，夸克没有什么意义。物理学家说，更糟的是那些有特殊意义的词的应用。次原子世界中充满了许多古里古怪的粒子族；奇怪的是，它们的名字都是熟悉的词。“奇异”乃是其中之一。可是被称为“奇异”的粒子或“魅”(charm)的粒子，或者“色彩”(color)或者“味”(flavored)的粒子并非有异，或者能使人在感官方面感到愉快，或者看得出绿色，或者好吃。有些物理学家声称这些词的应用比胡说八道还要糟，因为它们不折不扣必定会引起误解。

物理学家费曼<sup>②</sup> 反对这种“糟透的”命名法：“一个夸克并不比另一个夸克看来会更奇异些。也许‘魅’尚可用，因为它和现实的距离远到你不会把它看成有魅力。”可是人们却认为上夸克(up quark)在某种意义上是转向上面的方向的粒子，因此，这是很容易令人误解的。物理学家维斯可夫也赞同，“当人们谈及虚粒子时，我总觉得毛骨悚然，”他说：“没有这个东西，那只是用来描述场的强度的一个数学观念。”这字“虚”(virtual)指的是这类寿命非常短的

<sup>①</sup> 译注：《芬尼根守夜》(*Finnegans Wake*)是爱尔兰作家乔爱思(James Joyce, 1882 - 1941)写的小说，自1923年写到1939年完成，书中的许多谜语，有些尚未被猜出。在小说中，夸克(quark)代表的是海鸟鸣声。

<sup>②</sup> 译注：费曼(Richard Feynman), 1918 - 1988, 美国物理学家，以费曼图及路径积分法诠释量子电动力学，1965年诺贝尔物理奖得主，为人幽默风趣，对科学教育与物理学有独到的见解。

## 第一部 求知的艺术

粒子的特性，可是维斯可夫指出，即使这个词“粒子”，“也只是用来提醒我们这个场有量子效应。”

专门去找这些现代字眼如“魅”及“色彩”的麻烦，也许不太公平。像电荷(electric charge)这词的来源是什么？是不是一种“记帐”<sup>①</sup>？战争中的袭击或火药？〔倒是“从此处得到兴奋刺激”(to get a charge out of)这句话来自科学用法，而不是反之〕。我们常说的正电及负电，则根本没这回事；如果说有的话，正电应该称为负电，负电应该称为正电<sup>②</sup>。(带负电的物体其实带的是超量的电子，其电荷为负。)当原子“受激”(excited)，它并没有像人一样，紧张兮兮地坐在椅角(虽然原子受激会跳些舞)。在次原子的范畴，“力”的意思较近于“发生作用”，力的强度则是它能发生的机率。

### 爱因斯坦把“以太”请出物理教室

字的毛病是，无论我们觉不觉得，它们会自动表现出某种心像。以“波”这字为例，一想到波的时候，几乎无法不去联想到如水波的心像。因为有了这个把波和水波心像的联系，几世纪以来没有人想得出光到底是什么。水波在水中传播的方式，大约与声波在空气及其他物体中的传播一样，需要一个媒介。如果光是一种波，那么似乎非要忍痛认准它一定是在某物质中传播。几世

① 译注：电荷的英文是 charge，这字(动词兼名词)有许多的意思，如责任、记帐、火药、充电、袭击、花费……等等。

② 译注：电流就是电荷的流动。早期刚发明电池的时候，把一极称为正(阳)，另一极称为负(阴)，认为电流从阳极流向阴极。可是以后发现电子带的是负电荷，电流是从负极(阴极)流向正极(阳极)的电子流，因此如果按原有的定义的话，应当把现在的阳极阴极的定义反过来(即把现在的阳极称为阴极，阴极称为阳极)。可是因为已经用了多年，不便改。因此，现在沿用的是旧的不正确定义。

纪以来使人痛苦的，就是要想出这某物质到底是什么。

结果呢，没人能找出这个神秘的物质，甚至于想像出它那些不可能有的特性。某物质后来被称为以太(ether)。而从17世纪末叶到爱因斯坦的时代，人们对以太存在的信念，就如以前的人认为地球是方的信念一样坚强。可是如果要能传播光，振动一定要极快，因此，以太一定要有固体的特性<sup>①</sup>。不必说，这就引起一些问题。“如果这无所不穿的以太是固体的话，”加莫夫这么写道：

行星及其他天体如何能在其中运动，而不遭遇到任何阻力？即使能假定无所不在的以太是很轻的、很容易被压扁的固体，就如保丽龙，天体在其中的运动一定会钻出许多洞痕，因而使它失去了能把光传播越过大距离的特性！这件头痛的事在许多世代中一直困扰着物理学，直到最后被爱因斯坦把它请出去为止，他把以太丢出物理教室的窗外。

爱因斯坦能把以太丢掉，是因为他把光波像水波一样上下波动的心像丢弃掉。光波之所以能在虚无中传播，因为它在实质上的组成是运动中的电场，这电场造出一个运动中的磁场，这运动中的磁场又造出一个运动中的电场，如此这般——就如穿梭而上的靴带一样，把自己

<sup>①</sup> 译注：物体刚性愈大，声波的传播速度愈高。在钢铁中声波的速度要比在空气中大许多倍。如果真的有这传播光的“某物质”，其刚性势必不可想像地高。可是当我们把手在空气中挥动时，并感受不到这“某物质”的刚性。

## 第一部 求知的艺术

拉上去。也像一部电动机去转动一部发电机，这发电机再去开动一部电动机，等等。光不需要在任何物质中传播，因为光波疾行时（以每秒30万公里的速度疾行），电场及磁场互生互灭。但是我们很容易可以看出，这水波的心像如何能把人们的思路悬挂在那，动也不动。

当然，历史中还有许多其他的例子。毕达哥拉斯<sup>①</sup>行星绕着看不见的圆球旋转的模型，深深铭印于希腊人的思想中，使得“希腊人很快就不能在一想到行星时，不联想到这些以完美圆形轨道运行的球体。”作家墨奇（Guy Murchie）这么写道：“任何其他的轨道，明显地代表对神的不敬。”哈佛大学的生物学家古尔德<sup>②</sup>提醒我们，早期要人们去接受大陆漂移理论<sup>③</sup>，是件多么困难的事。因为这个理论和我们当时的思路异道而行；可是一旦这理论被接受了，每个人都认为不能接受这理论的人是笨蛋。

爱因斯坦也陷入一个基本上不变的宇宙的心像。他甚至于还发明了类似恶名昭彰的“万有以太”的东西，以便他的理论能应用来创出静止宇宙的模型。那是一个叫做“宇宙常数”的数学工具，这常数产生斥力，能排

① 译注：毕达哥拉斯（Pythagoras），公元前582—500，希腊科学及哲学家，发现毕氏定理（直角三角形两短边的平方和等于最长边的平方，中国在周朝时候也发现同样的定理，现称为勾股弦定理），并创音乐的乐阶。

② 译注：古尔德（Stephen Jay Gould），1941—，哈佛大学古生物学家，全球著名的科学作家，著有《达尔文大震撼》（Ever Since Darwin），《猫熊的大拇指》等书。

③ 译注：如果把所有大陆的大陆棚（continental shelf）视为大洲的边界，绘出地图，那么可以把所有的大陆棚地图都拼凑在一起成为一个大陆块。20世纪初，德国气象学家兼地质学家韦格纳（Alfred Wegener，1880—1930）创大陆漂移理论，说所有的大陆本来都联在一起，后来才漂移开的。这问题一直是悬案，直到20世纪60年代，用了镭射及人造卫星，发现大陆之间的漂移速度约每年10厘米（因此，经过10亿年后，可以把大陆漂移过太平洋、大西洋宽度的距离）。再加上地质学上的许多其他证据，这理论现在已被几乎所有的地质学家接受。

斥重力的吸引，因而使宇宙变成静态。后来他称这发明为“我一生中最大的错误”。可是反讽似的，最近的科学证据显示宇宙的边缘似乎有加速（扩张）的现象，因而暗示这种斥力可能存在。如果真是这样的话，可以说，爱因斯坦说自己犯下大错的话，就说错了。

一点不奇怪，努力想要去了解这种力的物理学家，也发明了一套新的词语去描述它。其中的一个词——精华，或第五元素<sup>①</sup>，等于巡回早期的以太。中古时期，以太也称为第五元素（在火、地、空气、水四元素之后）。

### 化约抽象法<sup>①</sup> 是老把戏

模型有可能是十全十美的，但却是不可行的，就如时装模特儿、超人、女超人。可是物理学中仍然充满了十全十美而不可行的东西：理想气体、完美晶体、充当所有事物（从原子到恒星）模型的撞球。莫里逊写道，科学的中心特性就是“抽象化过程，把真实世界的某部分蒸馏出一个洁净的体系。我们希望这个体系能代表我们有兴趣去研究真实世界体系的性质。在物理工作中，大多数的兴奋刺激都牵涉到去寻觅出一个能把复杂的体系聪慧地抽象化的模型；在抽象化之后还能证明这个抽象化是确当的。”

<sup>①</sup> 译注：本段标题原文为 *reductio ad abstractum*，来自拉丁文 *reductio ad absurdum*，归谬法（reduction to absurdity），藉证明一命题的反面为矛盾或荒谬，来证明这命题为正确的证明法。在此把 *absurdum*（荒谬）改成 *abstractum*（抽象化）。

## 第一部 求知的艺术

科学的抽象化都是老套<sup>①</sup>，就如把世界化成二维，以及很多能使人误解的陈词滥调。可是它对了解及过滤知识之必要，就如知觉的过程一样。没有这些老套、老把戏，就不可能有科学——也许是因为，处理真实的自然世界的自然形态，是一件太复杂的工作。抽象化是一种把深刻到无法去测量的事物蒸馏出要素的方法。

有一位物理学家注意到，“物理学是一门研究宇宙中简单事物的科学，”可是，“你可以争论，简单的事物根本就不存在。”与物理学相比，生物学及化学研究的对象，都是难以置信的复杂。即使是看上去似乎很简单的东西，如一块石头，他说：“对物理学家来说，也已经复杂到无法处理的地步了。”<sup>②</sup>

模型愈简单，就和现实离得愈远。然而最简单的模型往往是最有用的。这就是为什么数学在物理学中是那么有用的工具。它是抽象化的终极。这过程明显地以置之不顾的态度，来处理现实中的杂乱细节。从某方面来说，所有的模型都是走向数学抽象化的居间过程。“心像可以让我们更快向前走，可是真理却包涵在数学之内。”加州理工学院的梭恩（Kip Thorne）这么解释。

正如英国心理学家格雷高利（Richard Gregory）所云，心像是一种“卡通式的草图语言”。他注意到，“就如古代语文中的象形字（pictograph）演变成会意文字

① 译注：原字是 stereotype，通常是指恶意的陈词滥调、千篇一律，例如，一看见女人就认为是弱者，在美国留长发骑摩托车者就是犯毒者，黑男人就是罪犯……等等不合理的成见。

② 译注：在力学中，物理学家能处理的是图及点，椭圆及立方体已经很困难了，只有在特殊情形下才能处理。石头的形状无规则，几乎不可能处理，最多只能用电脑来处理。可是电脑还不能用来证明基本物理定律，只能用来计算。

(ideogram)，以表达复杂的理念——当图形不足以会意时，最后就得以抽象的符号来表达；因此，这类模型都有限度。它们最后都让步给数学理论。”

在今日，数学已经被器重成为科学的语言。科学的研究的主题几乎都是数学性的，模型亦然，连隐喻也是如此。加州理工学院的理论物理学家薄立乐（David Politzer）把早期宇宙（大霹雳刚发生后的瞬间）物理学这最新的发明，描述成数学理论。我听到这论调后，大感惊奇。“我们只是用英文来装满方程式之间的空间，”薄立乐说：“我们用来讨论的语言，讲到的都是在自然界中没有类似的事物。可是我们已经大幅度把我们的数学语汇增广了，我们不断地搜寻扩大这一套隐喻的路径。这就是真谛了：了解是一种把物体图像化的方式，而数学则给予你如何去做的方法。”

和许多物理学家一样，薄立乐也坚持说，物理真谛在本质上无法翻译成日常用语。可是这也不怎么需要紧张。你细想一下，就会了解，如果你不去学习一种特别的语言，就几乎不可能有深度地去了解任何体验，无论网球、芭蕾或法律。就如其他术语一样，数学是一种能让你走得更远的求知交通工具，如果缺少这种交通工具，你就不能走得那么远。

我的物理学家朋友有一次给了我这个术语“四代堂（表）亲”<sup>①</sup>。除非你了解亲缘关系，否则这个用词对人们没有什么意义。不过说以下的话：“佛莉达是麦克的四代堂（表）亲。”确实比下述的话简单得多：“麦克是佛莉

<sup>①</sup> 译注：四代堂（表）亲 second cousin twice removed 是第四代堂（表）亲，有同一曾曾祖（父或母，无论父母系）。

达的曾曾祖的曾曾孙。”水手都很明白术语的用处。有一次我同一批新手去驾帆船。我们看上去将要搁浅了。船长下令所有的人都要朝下风处（即帆荫处）走去。结果，一半船员走向港边（左舷），而另一半则走向星边（右舷）<sup>①</sup>。

### 数学在这里发出光耀

数学术语之有用，在于它能让你以精美及精确的方法去描述事物，而你可以对这事物的性质一无所知。至于如何想像出无法用日常语言描述的心像？因为你无需去想像，你可以把这个问题置之不理。“数学的光耀就在于，我们无需说出我们谈论到的事物，”费曼写道：“奇怪的是，这些数学的心像往往比以实体事物当做模子再想出的心像，更和实体接近些。”

在物理学中，来自审视方程式的发现，与来自显微镜或望远镜的发现，数目几乎一样多。不幸的是（也许是大幸），我们不能把世界变成数学，就如费曼指出的：“因为迟早我们一定要找出来，对于研究中的自然事物，这些定理是否能应用得上。因此我们立即得栽人这些复杂而‘浑浊’的自然事物里头；可是利用近似法，精确性还是可以不断增进。”

一点也不奇怪，当数学模型被来自日常生活的隐喻粉饰后，我们就遭遇到麻烦了。京斯爵士写道：“理论物

<sup>①</sup> 译注：在西方古时航海时，靠岸时船左靠岸，因此左舷称为港边（port），右舷朝大海，看得见星星，因此称为星边（starboard）。不用左右的原因是因为早期水手大都未受教育，许多人左右不分，乃以港及星来表达左右。这术语沿用至今。

理的历史就是在记录：数学公式的衣饰是正确的，或者是几乎正确的，可是物理学上的解释往往就是我们大错特错的地方。”牛顿的运动定律几乎是完全正确的——如果忽略极端的情况，例如近于光速的运动，就是“完全”正确的。可是当这些定律被解释为，宇宙是存在于绝对空间及绝对时间中的巨大机械装置，“有两世纪之久，这解释把科学放在错误的道路上。”同样的，描述电场和磁场交互作用（光）的方程变得不正确，只因为它们被解释为，上下波动的光波在万有以太中传播。

### 搭错线，却走对了路

我们对大自然所设定的数学或其他心像，终究一定会是错的。可是即使是不正确的模型，仍然有用。我认识的一位年轻物理学家认为，在介绍原子构造给人们时，先教他们把原子中的电子绕原子核转的模型，想像成行星绕日转的模型，是件坏事。他争论说，这模型本身是错的。可是我们所有的人（包括大多数的科学家）都以这个很适意及熟悉的模型当作起步，走向原子中心去；只有在后来，物理学家才把这模型以微妙的量子态的复杂体系来润饰。这些运动的轨道只是临时的框架；在攀上更高一层的理解时，它能协助人们先占有立足之地。就如罗伯·欧本海默在写他的“科学之屋”时，这么说过：“还不是很旧的屋子，可是人们仍可以听到附近建造新楼房的声音，在那里工人高高在上搭脚手架，一点不察觉他们站得太高了，跌下来会多惨。”

## 第一部 求知的艺术

18世纪的时候，苏格兰人瓦特<sup>①</sup>以错误的热理论，建造了一台能运转的蒸汽机。100年后，马克士威<sup>②</sup>创建一套电动力学的理论，基于“许多在空间中转动的幻想轮子及空转轮，”费曼写道：“可是当你把这些空转轮和空间中的杂物去掉以后，这个东西就没问题了。”物理学家狄拉克<sup>③</sup>首先预测反物质的存在，可是他的理论乃是基于幻想出的虚无空间中的“洞”<sup>④</sup>，结果是，反物质确实很真实，虽然“洞”并不存在<sup>⑤</sup>。

模型是踏脚石。就如爱因斯坦在牛顿的架构上建造他的相对论物理；同样的，牛顿是在开普勒及哥白尼的架构上建造他的力学理论。（如果哥白尼没有发表他的日心太阳系理论，如果开普勒没有精确计算出行星的椭圆

① 译注：瓦特（James Watt），1736 – 1819，苏格兰发明家、仪器制造者，1790年发明蒸汽机。瓦特率先以马力做为功率单位，为了纪念他的贡献，“瓦特”一词后来成为计算功率的正式单位。

② 译注：马克士威（James Clerk Maxwell），1831 – 1879，英国物理学家，剑桥大学第一位实验物理教师，对电磁学和气体运动论有重要贡献。他把18世纪所有的电磁方面的研究结果归纳成一套电磁方程组，是终结的古典电磁理论。他根据理论推断有电磁波的存在；物理学家认为是19世纪中最伟大的理论。爱因斯坦说过，马克士威的理论是自牛顿以来，最出色、最有影响力的理论。

③ 译注：狄拉克（Paul A. M. Dirac），1902 – 1984，英国理论物理学家，他展现了原子理论新而有效的形式，创立相对论性量子力学，因而获得1933年诺贝尔物理奖。

④ 译注：狄拉克的主意是，虚无的真空是一个完全被电子充满的状态。如果把一枚电子从这真空中拉出来，就产生了一枚真实的电子，而电子被拉出的地方就出现了一个“洞”，而这个“洞”就是反电子。这个观念在粒子物理中已被放弃，可是在半导体物理中有很大的应用。半导体有两种，一种是晶体的内部构造中有多余的、可以流动的电子（N型），另一种是晶体构造中少了一些电子（P型），这些少掉电子的地方就是“洞”（电洞）。如果把这些“洞”看成排队时当中缺少的一个人，而如果在“洞”右边的人朝左移一人的话，其他的人不动，看上去就好像缺人的“洞”右移过一个人的位置；如果每个在“洞”右边的人继续向左移，看上去就像这缺人的“洞”一直向右移去一样。从这观点来看，“洞”是真实的。在P型晶体中，如果有电压，电洞也像每人左移一样地流动，其方向和N型晶体中电子流动的方向相反。电洞的流动因此也可以形成一道电流。这种电洞的电流观念在半导体物理中极有用。

⑤ 原注：从某方面来说，“洞”仍是真实的，例如物理学家有时说起“费米海中的洞”等等。

轨道的话，牛顿绝不可能看出行星运动与苹果落地的相似处。) 模型可以用来做为坚实的基础，即使这模型的假设有误。很显然，马克士威并不相信当时流行的带电原子的模型。“当我们终于了解电解的真谛时，不可能还会把分子带电理论留下，”他写道：“因为到了那时候，我们就会找到很稳固的基础来建造真正的电荷理论，便可以脱离那些暂时性的假设。”

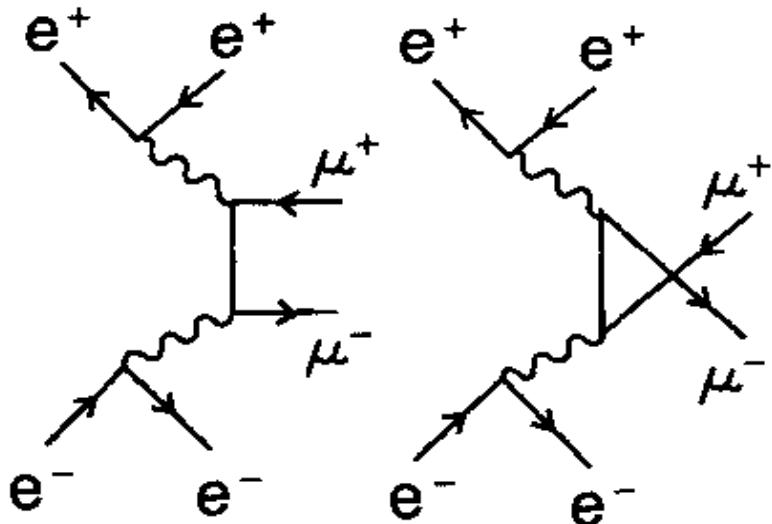
## 费曼是视觉化的大师

还有更基本的理由去应用模型；即使这些心像比起带有量度性质的数学用语，不免更模糊不清。我们能设想出心像，是因为“看到”总是与“了解”联接在一起。〔英文中，我看出了（I see）和我了解了（I understand）是同义语。〕视觉化的心像，可协助我们思考那些想像不到的事物。

有时自然界是无法想像的，因为它太复杂了。“在一块很普通的东西中，你就有  $10^{23}$  个原子，”物理学家戈德伯格（M. Goldberger，曾任普林斯顿大学校长）说道：“即使有一台能处理这类交互作用的电脑，你还是无法想像出来。即使这样做可行，也没什么用。因此，我们在词语及心像之间进进出出。”

而在其他的场合，许多自然界的事物仍是无法想像的，因为这些事物和我们日常经验到的事物，差距太大了。要尝试去想像在创世之前没有“时间”这东西的宇宙，或者在空间疆界之外的宇宙，对我们来说，都很难产生出心像。例如，我们也许能想像大霹雳在什么时候

开始，可是这大霹雳在何处发生呢？



费曼图

费曼和其他人一样了解视觉化的重要性，虽然他再三坚持，有些事物只能透过数学语言去了解。毕竟费曼是一位视觉化的大师，他的费曼图把复杂的次原子事件，用一种视觉语言描述成简明的事件。20世纪80年代初，我得到一次罕有的机会能坐下来，同他谈谈他对物理的想法是什么。一如往常，他的回答极具有启发性：

我们从爱因斯坦学到一些东西。他要我们把这两件东西放在一起（这两件东西即电磁和重力，这是在寻觅如何把所有的力都联系在一起的企图之一），可是他失败了，一部分原因是他开始得太早。就像你想要组装一辆汽车，而你只有两个零件。后来，我们有了更多的拼图片块，可是这个谜比我们想像中的要更为复杂。

但是他也失败了；当然我不知道为什么爱因斯坦会失败。他早期在工作时，经常会被视觉化来设想：某人

乘太空船升空，送回及接受光讯号（这就协助了他去“看”时间、距离及光速间的真实关系）；某人在升降梯中上升（这就让他“看出”重力与加速度等效）。他这样得到他的理念，然后再把这些化为优雅的方程式来解释他的理念。他在这方面极有才能，手法漂亮极了。

后来，当他在搜寻统一场论的时候，却用了不同思想方法——对方程式形式的猜臆。多年来我也试过这种方法，可是彻底的失败。因此，我正在尝试视觉化的思考方式。在这方面的应用，费曼图已感不足，因此，我正寻找新的心像来描述。我尝试追随我给自己的忠告。

那个时候，费曼的工作重心放在核子内，把夸克及其他“力粒子”、胶子胶合在一起的神秘力的特性上<sup>①</sup>。他解释，他如何喜欢把问题中“最古怪、特殊、醒目”的东西抽取出来，不顾其他的东西。在夸克的例子，最醒目的东西是当夸克之间的距离愈分开，色力（color force）<sup>②</sup> 就愈大。“因此你问，”费曼说：

怎样描述最简单？你如何以同样的特质，问出更简单的问题？例如，假如我只用两枚胶子，而不去管夸克；假定空间是二维的。如果我试一下这个只有两枚胶子、没有夸克的二维空间的理论，而我了解了为什么胶子不会分开。那么我再爬高一些，把夸克放进，看一看这理

① 原注：见第六章《力和质量》。

② 译注：夸克之间的吸引和排斥是由称为“色彩”（color）的新奇性所决定的。科学家在解释 20 世纪六七十年代由粒子加速器中发现的夸克组合时，推论“色彩”具有三种值（色荷），称为红、绿和蓝。具有相同色彩的夸克，正如具有相同电荷的粒子，会互相排斥。

## 第一部 求知的艺术

论还管不管用。在简化的过程中，我可能把脏的洗澡水和婴孩一起倒掉了，可是我想我并没有。

把脏洗澡水和婴孩一起倒掉（即良莠都丢了），一直是建造模型时面临的难题，因为模型总是抽象化的，你总是不能确定是否这模型中仍含有这物体的要素，还是已经被丢掉了。在大多数的情形，我们只攫取了表面的一层来研究，触不到内部更深层的实体。

“模型能协助我们到哪个程度？”费曼问：“有趣的是，模型经常真的有帮助，而大部分的物理学家都尝试着教人怎样去应用模型，以便掌握东西如何运行的物理窍门。可是最后总是发现，最伟大的发现都是模型之外抽象的东西，而那个模型在这方面没有什么大用。”

### 模型就只是模型

脚手架是虚有其表的模型。在最后，即使是最坚固的脚手架也要被拆散丢开，而最好的模型也会被新的模型所取代。爱因斯坦的理论取代了光以太；波耳的原子理论，以似乐音的驻波，琢磨了拉塞福<sup>①</sup>缩小尺度的行星原子模型。脚手架是很有用的支架，可以用来盖楼房及整修楼房，可是要记住的是：脚手架不是真正的目的。

若是过于把模型按字取义，那会把我们带进牛角尖，造成无谓的困惑。人们尝试去了解原子的时候，经常感

<sup>①</sup> 译注：拉塞福（Ernest Rutherford），1871—1937，新西兰实验物理学家，提出“原子质量几乎全集中在带正电荷的原子核”的原子模型。1908年诺贝尔化学奖得主。

到挫折，因为每日经验到的“粒子”已经不知不觉地铭印在脑中了。于是，我们不免想要知道电子到底在哪里？或者，在放射性的案例，不免想要知道电子在发射出去之前，到底藏在哪里？原子中的电子，当它从一量子态跃迁到另一量子态的时候，它到底在哪里？任何时刻，它们到底在哪里？哪一个电子占住哪一个量子（轨道）呢？

京斯说，这种对电子的看法，就和以下的看法类似，即你银行帐户的余额，其实是一大堆金钱中的某一堆。当银行存款的余额有某数目的变动时，你总不会想像到，这些钱真的是从你的帐户，飞过空中到达你刚刷过信用卡的某百货公司的户头里去。如果你坚持得亲手摸清这些来龙去脉，你会听到自己的语气，就同物理学家谈到电子时的语气一样。你一定会说，用来付房租的钞票到底是哪一张，纯粹是机率问题。京斯说，这“听上去像是笨答案；可是绝不会比问这问题更笨。”

模型用在不适当的场合时，也可能产生误解，例如，把物理学的简单模型应用到复杂的事物，如人身上。正如古尔德指出的，“用机器来比拟生物，是很差劲的模型。物理模型往往暗指无活力、只能被动反应物理作用力的物体，如撞球。可是生物并不这么容易被推来推去。”但是当我们说到“习性的力量”或“获致成就的压力”，就好像我们真的和撞球一样，只能一个命令一个动作。我们谈及“权力的均衡”时，好像我们真的知道权力有多重，也知道如何去量度它。我们说起“施加压力”迫使某人或国家去做某事，好像我们知道如何按某个钮使他们动作，再按另一个钮就可以使他们停止，好像他

## 第一部 求知的艺术

们对我们的动作只有一种可能的反应。

总之，模型和隐喻唯有在我们知道意义及限度时，才有功用。如果我们不了解撞球，就拿撞球来描述原子，那可一点好处也没有。如果不了解力，就无法以力来了解运动的因。就像京斯指出的，“如果我们不能解释肌肉是怎么运作的，就不能说自然界的运作情况与我们的肌肉一样。”



## 第二章 正确？错误？

我们也许再次需要倚重科学的影响力，来保持社会的神志清明。能适合这角色的不是科学知识的确定性，而是其“不确定性”。

——温伯格<sup>①</sup>，《一个终结理论的梦》

多年前，我受邀去我们社区中向一群“天资聪颖的”初中生演讲，讲题是科学和创造性。我心中想到，再没有比爱因斯坦的相对论更具创造性的东西了（比起把我们对物质、空间、时间这些基础观念都改变的理论，还有更具创造性的吗？）我决定拿这个想法在他们身上试试。

一切都进行顺利，直到最后，一位坐在后排的女孩问，“可是如果爱因斯坦是错的，那怎么办？”

真的，果真如此，应当怎么办？当然这是个合理的

<sup>①</sup> 译注：温伯格（Steven Weinberg），1933—，1967年首先提出电弱理论，统一电磁力与弱核力，获1997年诺贝尔物理奖。著有《一个终结理论的梦》（*Dreams of a Final Theory*）。

## 第一部 求知的艺术

问题。科学领域中似乎满地都是已被人遗忘了的“错误”理念。热不是流体，地不是平的，地球也不在宇宙的中心；行星也不在固定不动的圆球上绕圆圈转；火星表面并没有遍布运河；我们的空间中也没有渗满能上下波动传播光的以太。

可是从另一方面来说，现在已把四维空间描述成弯曲的，真空说成有好几种特异体。似乎昨日骇人听闻的理念，已经变成今日科学的事实；反之亦然。

就在最近几年内，科学经历了好些广受渲染的转错弯事件，所有这些错误典型的例子，显示出科学如何缓慢地、曲折蜿蜒地，走向真理：

- ◎一群天文学家说，在月球上面发现的冰根本不是冰，而是错误解释了某讯号——庸人无事自扰。
- ◎当其他研究者盘问数据时，有些原先被发现绕行其他恒星的“新”行星就消失了。
- ◎有人说看见空间中有房子大小的雪球，这消息大被渲染。可是后来这些雪球融化了，消失无踪。
- ◎声称在欧洲的一座粒子加速器中发现了“轻夸子”(leptoquark)，可是现在看来，这粒子大约是来自杂讯。
- ◎两位物理学家在一本颇有声望的物理期刊中宣称，虚无的空间像螺丝一样地沿着一个以前不知道的轴旋转，而由于这种神秘的旋转，宇宙分成上面及下面。但这发现不能立足，再一次，科学家看来似乎是不知道上下方向的人。
- ◎最后，还有那个有名的、朝地球轰来的小行星——只是根本没有。

这类的踉跄步子非但不可避免，而且还是必须的。“当人们试着去做很艰难的工作时，总是预期有些结果会半途而废，”加州理工学院天文学家布蓝福特（Roger Blandford）说：“如果人们非常保守，如果他们只发表自己期望发现的东西，就很少会有新发现。”犯错并不是发生在科学家身上最坏的事，而是如物理学家鲍立<sup>①</sup> 所说的“连犯错都不够格”，那才是更糟的事，因为你的理念根本就不值得去反驳。

因此，为什么爱因斯坦不应当错？

## 爱因斯坦的理论一定有错

就长期而言，几乎可以确定，爱因斯坦一定会错。至少他错的意义就如他证明牛顿力学是错的一样<sup>②</sup>。不过，用“错误”这字眼显然是错用的。这位小女孩的问题提醒了我：曾有一次，我和麻省理工学院教授莫里逊谈到某些当时流行的宇宙观是“正确”的或“错误”的。莫里逊告诉我，“当我说这理论不正确，我不是说它错，我的意思是，它在正确与错误之间的某处。”

不幸的是，对我们大多数人而言，正确与错误之间是一个陌生的领域。我们早已认定，“这是科学的事实”这句话实质上就和“这是绝对真实”这句话同义。把社

① 译注：鲍立（Wolfgang Pauli），1900—1958，原籍奥地利的瑞士理论物理学家，创量子理论中“不相容原理”，1945年诺贝尔物理奖得主。牛平充满了笑话，以自负及语言尖酸著名。

② 译注：爱因斯坦证明在近乎光速时，牛顿力学不能应用。从这观点来看，爱因斯坦证明牛顿是“错”的，可是其实应当说，爱因斯坦把牛顿力学延伸了，能在近乎光速的范畴应用。一般物理学家认为爱因斯坦的理论也不是终结的理论，因为不能容纳量子理论。以后也许会有取代爱因斯坦理论的新理论出现。

## 第一部 求知的艺术

会学的理论蒙上不同深浅的灰色是一回事，可是每个人都知道科学知识是黑白分明的——但这是十分流行的错误观念。

事实上，科学中很少有真正是错误的东西，可是科学中没有一件东西是永远对的。以牛顿为例，爱因斯坦证明牛顿是错的这件事，毫无争议。牛顿说时间和空间是绝对的，而爱因斯坦证明了它们不是。牛顿从来没有把重力想成空间中看不出的曲率。牛顿不知道物质是能量的一种形式，或者在趋近光速时惯量（惯性）会变成无穷大。

可是牛顿的“错误”理念迄今仍然用来策划太空船的航行，及把人造卫星放在近乎完美的轨道上。苹果仍然下落，月亮仍然绕地球转，都按牛顿的公式。就此而言，牛顿的理论在我们日常经验到的事物中，仍可完美地运用。只有在极端的速度（趋近光速）下，或者在质量极大的物体边上，如黑洞，才失效，被相对论所取代；或者在极小尺度的领域中，才被量子理论所取代。“爱因斯坦对牛顿力学的校正之小，”哲学家及小说家柯思特勒<sup>①</sup>写道：“使得只有专家才关心。”甚至于牛顿处理过的问题，用爱因斯坦理论所得到的结果与牛顿方程得到的结果完全一样。

爱因斯坦证明牛顿是错的，意义是：他站在牛顿的肩上，因而能看见牛顿看不到的东西，例如非凡的条件（对我们说来是非凡）对时空的影响。大多数情形下，爱因斯坦证明牛顿是对的，因为他的理论乃是建立在牛顿

<sup>①</sup> 译注：柯思特勒（Arthur Koestler），1905—1983，匈牙利作家，著有《日中昏暗》（Darkness at Noon）。

理论的基础上。爱因斯坦取了牛顿的理念，把它们延伸到以前没有想像到的极限去，把它们带入了一个新范畴，使它们加宽，更大胆、更奥妙。爱因斯坦把一些新东西加入牛顿的理论，就如今日的物理学家把新东西加入爱因斯坦的理论一样。爱因斯坦爬到牛顿搭建的高塔的脚手架上去，因此可以从更好的观点来看事物。如果这脚手架不够坚固，他一定会跌得鼻青脸肿。

## 没有绝对的真理

必定会令大家惊奇的是，用正确或错误这几个字来描述理念，特别是描述科学理念，是很不科学的方法。极少有革命性的观念，真正在未期望的革命中把旧思维推翻。物理学家卡锡米尔（Hendrik Casimir）甚至主张，从来没有一个健全的理论会被驳为错误的，“没有遭驳倒的下场，可是一直会遭遇到划定其边界及限度的过程（即确定这理论只适用于某范围）。”卡锡米尔在他的书《偶然的实体》（*Haphazard Reality*）中这么写道：“一旦某个理论面临了技术修正的问题，并不会被驳为错，而是建立了限制它的有效范畴。在这范畴之外，必须再建立新的理论。”

又如物理学家波姆<sup>①</sup> 所说的：“绝对真理的观念和科学的真正发展，彼此相应之处甚少……最好认为科学的真理只是在某个有限范畴内能应用的关系。”

新的理念会扩大、琢磨、综合、概括、磨练及修饰

<sup>①</sup> 译注：波姆（David Bohm），1917 – 1992，美国量子物理学家。

## 第一部 求知的艺术

旧理念，可是极少把旧的理念丢出窗外。有时“错误”的观念只是误会，或者错在陈述得很笨拙。有些结果不是错，而是没有需要，或无关。就如传光的以太，如马克士威的“幻想轮及空转轮”，或者“热是流体”的观念，新理论使这些变成多余。可是在科学史中，大多数错误理念误解的根源在于遗漏：没有把某些东西算进去，没有看到大自然隐藏起来的东西，没有注意到从表面看不到的关系。“错”的意义几乎就等于说“被限制住”。

几世纪以来，物理学家不断地争论，是光的波动理论正确，还是光粒子理论正确。结果呢，光是两者兼有：一部分是波、一部分是粒子。这两种理论都对，可是都有限制。正确的理论需要这两种不同的面向。

近来宇宙学家在作一场剧烈的争辩：宇宙是“封闭型”的，像球一样？还是“开放型”的，像牛角，一端可以无限延伸下去？封闭型宇宙总有一日会被自己的重力压到崩坍的地步，而开放型宇宙则永远扩张下去。最近，英国物理学家霍金<sup>①</sup> 在加州理工学院演讲时倡议，宇宙可以同时又是封闭的、又是开放的，看它怎样在八维空间中被切成（四维空间的）片。

即使“地是平的”这个理念，也是来自我们对地球这个大而圆的行星有限度的观察。当你在市镇中行走的时候，大地看上去确实是平的。可是这个从街道看出去的观点相当狭隘，你要离开够远才能开始看出地球是圆的。今日，大多数人都已经看过这个圆球形的地球的真正形状及色彩，这些影像来自绕地旋转的人造卫星。然

<sup>①</sup> 译注：霍金（Hawking, Stephen），1942，英国理论物理学家，《时间简史》作者。

而早在数百年前，甚至于数千年前，哥伦布及埃拉托斯特尼<sup>①</sup> 已经以他们的想像力，看出这些景色。

从实体或从智慧的角度来看，圆球形地球与扁平地球的主要区别，在于透视观点的差异——一个是广阔的视野，一个是狭窄的视野。当你的量度能延展到够大的区域时，时空本身就开始看得出曲率。而量子力学及相对论提供的是，比古典方法更宏观的透视观点。

## 科学只是近似！

正如爱因斯坦所描述的，建造新的理论不是像把旧壳仓拆了，去造摩天楼；倒不如说成，像爬上一座山，使你能得到更好的视野。如果你朝后看，你还能看到你的旧理论、你的出发点。旧理论并没有消失掉，只是它看上去变小了，也没有以前那么重要。

窃喜于（甚至担心）牛顿或爱因斯坦会犯错，有时会显得很傻。“当然”它们是错的。牛顿或爱因斯坦不可能解决每一个未被解答的谜，或者预知每一个结论的每一个后果。他们并未、也不能声称自己无所不视、无所不知。

科学从未证明某事完全正确，因为还有太多的东西要去学习。“这整体的每一片、每一部分，一直仅仅是对完全真理的‘近似’，”费曼这么写道：“事实是，每件我们知道的东西都是一种近似，因为‘我们知道自己还不清楚所有的定律’。因此，我们在学习某事物时，都知道

<sup>①</sup> 译注：埃拉托斯特尼（Eratosthenes），公元前 270 ~ 190，希腊科学家，首先量出地球的半径。

以后要把这些学到的东西抛弃，或者，更可能的是，把学到的加以校正改进。”

如京斯爵士所说的，“在真正的科学中，永远不能证明一个假设正确。如果它被未来的观测否定，我们就会知道它错，可是如果未来的观测证实这假设，我们仍旧永远无法说它对，因为它永远要受到更未来的观测的摆布。”

当然，科学家也是人，因为是人，也如其他的人一样喜爱“正确”的韵味。可是从亚里斯多德到爱因斯坦，最伟大的思想家都把他们信奉的主义认为是暂时性及没什么把握的，其暂时性的程度要比历史演义中声称的更小得多。例如，牛顿从未认为他的重力理论是“正确”的。爱因斯坦在牛顿逝世 200 周年纪念会上说：“我一定要强调，牛顿要比随后各世代追随他的科学家，更清楚自己的智慧系内在的弱点。这事实永远激发我心中深深的赞美。”

### 哪来“科学革命”这回事？

政治家和记者及社会学家，并不倾向于赞美会承认自身错误的人；反之，即使承认一小部分的政策或理论是错的，也常常会被纠缠成为这理论以前是、现在也是毫无价值的东西。至少他们在谈到形而上学时，经常把错误归咎于谁，把正确归功给谁，因而很容易形成一种萦绕于心的固执心态。

事实上，某一种科学理念是正确或错的这个问题，一旦进入了哲学领域，就染上了教条的色彩。一点也不

奇怪：把理念明确地分类为正确或错的，可能在科学界中没有什么用处，可是从哲学观点来看却非常诱人。没有一个人想要被留置在智慧的炼狱中，等待理论被证实为正确（上天堂），或错误（被打入地狱）。因此，科学理论的缓慢演化，就被哲学家重新改写为一连串的“革命政变”。

“科学革命不是科学家‘造’出来的，”卡锡米尔写道：“那是在事件发生后才‘被宣布’的，通常宣布者是哲学家及科学史家……那些相信物理理论的应用是毫无限制的人，才会认为逐渐演化出来的新理论具革命性，因而把这种看法变成一整支哲学的骨干……物理学家可能会感受到这种敬意的恭维，可是不应当认为科学家要对那些不可避免的失望负任何责任。”

在科学中，当然会有某些理念要比其他理念更正确。可是你如何能把它们区分开？正确的理念似乎是那些能引导到更多的探索，引导到一个全新的问题，引导到对知识更热情的摸索。正确的事物倾向于把我们的眼界打开，而错误的则把眼界闭塞。在这种意义上，牛顿是对的，而像亚里斯多德的人则是错的，因为如加莫夫所说，“他对地上物件的运动及天体动的理念，对科学的进步来说，其罪大于功。”这导致伽利略及其他人，穷一生之力尝试去校正亚里斯多德不变的天穹、以地为中心的宇宙观……等等错误的观念。

可是即使这样解释，也仍有异议。亚里斯多德最“错”的东西，是他的断言，说如果没有力去推动的话，所有的物体很自然会静止。在一本物理教科书中，作者纪安可利陈述如下：

## 第一部 求知的艺术

不能说伽利略和亚里斯多德对运动的观点是哪一个真正正确，哪一个错……亚里斯多德可能这么论述：因为至少在某种程度，摩擦力永远存在，因此它是自然环境的一部分；那么很自然可以说，当物体不被推动时，它们应当趋于静止……也许亚里斯多德和伽利略之间的分歧点是，亚里斯多德的观点几乎就等于终结性的陈述，无法再进一步。而伽利略建立的观点可以被延伸，去解释许许多多的现象。

正确的理念是能生长出更多正确理念之花的种子，而错误的理念常常是不孕的，产不出果实。一旦牛顿得到了关于重力的正确理念后，他能解释的东西还不只是落地的苹果，或者月球的轨道。牛顿把整个宇宙以一种广大无边的力联系起来，让后世的天文学家了解所有恒星及行星的运动及质量。

许多科学家说，这些“联系”就是引领到正确性的好导引，特别是在科学和所谓的伪科学（如星相学）之间划出一道分界线。星相学“行星位置能影响你的日常生活”这理念，简单说来，根本放不进任何人们对重力的知识及其他自然现象的体系中去。对任何似乎完全不能与其他知识联系起来的理念，一定要以怀疑的眼光去看待。

### 错要错得有价值

总结说来，“错”的重要性要比人们想像中来得大，因为一个好好地想出的错误理念，能用来和正确的理念

做比较，那是跳到正确理念的始点。即使到处都看得到的撞球模型，也是极有价值的模型，因为它有很明显的错处。“我们从一开始就知道它是错的，严格地说，它不可能是对的，”物理学家瑞德里说：“因此，在这个特例中，评估它究竟错到哪一度，往往能打开一条直路。”

维斯可夫提起一个故事，说一位没耐性的德国旅游者问，为什么奥地利人还要不厌其烦地印出火车时刻表；奥地利的火车从来不准时，总是迟到。奥地利火车的车长答道：“如果没有时刻表，就不知道我们不准时到什么程度。”

许多科学的模型，维斯可夫说，就像奥地利的火车时刻表一样。（维斯可夫之能说出这个故事，而不怕人批评他侮蔑奥地利人，因为他出生在奥地利，而且一直是奥地利公民。）在这些模型中，有些是部分错误，有些是极端错误。“有趣的是，你能看出它们‘为什么’错及‘如何’错，”维斯可夫说：“你永远需要这张时刻表。”



### 第三章 瞧出端倪

看来，我们从噪音中检出讯号的本领还相当不错。

——佛罗里达州立大学天文学家平纳①  
而有时我们还是相当富于想像力。

——加州大学洛杉矶分校天文学家格芝

多年前，当我首次钻入这个奇妙的爱丽丝奇境——粒子物理，这个夸克、胶子、奇异及魅物体居住的梦幻之国时，我问我的物理学家朋友，如何能相信真有这些似乎只存在于瞬间的东西？这些都是没有人能看到的东西。他的回答是：“那就是看你认为‘看到’这词是什么意思了。”

我和许多人一样，总觉得当我听到物理学家很自信地声称，已经“看到”从泡沫中冒出的、仅存在极短暂的 10 亿分之一秒时间内的粒子，或者摇摆于 100 亿光年之外、在时

① 原注：以上这句话是平纳（Rodert Pena）在夏威夷岛茂纳开亚（Mauna Kea）山顶，和加州大学洛杉矶分校天文学家格芝（Andrea Ghez）一同使用凯克望远镜（Keck Telescope）观测时讲的话。

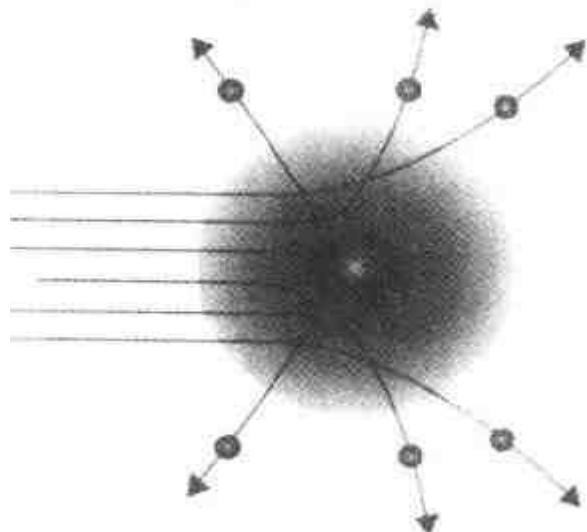
间及空间边缘，质量极大的似星体<sup>①</sup>，我总有点疑心。我知道的事实是，他们从未看过这类东西。夸克及似星体对肉眼来说，都是不可见之物。物理学家最多只看见，在次原子的对撞中，一张画出不同粒子轨迹的圆上显示的一道曲线的结突，或者在矽探测器上一枚 100 亿岁左右的光子留下的微弱足印。真相是，这些“目睹事件”是从好几个小时的电脑计算及一长串的推理及假设中，辛劳得到的结论。这些事几乎不能触发出一声狂喜的“我知道了！”<sup>②</sup>（或者如水手哥伦布在看到新大陆时，发出的狂呼：“喂！看到大陆了！”）有时科学家说看到的东西，那与真正的夸克或似星体其实还有段差距，使得人们不禁怀疑，科学家（或者我们）是否应当相信他们的眼睛。

物理学家以让粒子对撞的方法，及分析它们蹦跳到电子探测器之后产生的模式，来“看见”异种粒子。第一个“看到”原子核的人用的也是很类似的方法，不同的是，当时的电子探测器是人眼<sup>③</sup>。在第一次大战期间，拉塞福把一个放射性岩石放出的粒子束射向一片薄金箔靶。大部分的粒子都毫不受阻拦地射过，可是很奇怪，有少数粒子被散射到很大的角度，而有好几个还被反射回来。“其不可能的程度，”拉塞福说：“就如你向一张纸巾射去一枚 15 英寸口径的炮弹，而这炮弹还朝你的方向弹回来。”

<sup>①</sup> 原注：Quasar(似星体)是 quasi - stellar objects 的简称。似星体是发射出极多能量之源，在空间及时间上都是极远极久的物体。我们还不知道它们的本质。

<sup>②</sup> 译注：相传古希腊时期，阿基米得在浴缸中洗浴时，发现了测量国王金冠的黄金纯度的比重原理，狂喜之余，裸身到街上乱奔，一面跑一面大喊“Eureka”(希腊文“知道了”)。现在做为突然发现难题的解答时狂喜的惊呼声。

<sup>③</sup> 译注：当时的仪器很简陋。金箔前后面放了一片萤光板，以显微镜在暗室中看粒子打上去后发出的萤光。因此是肉眼发现了粒子撞击。



### 拉塞福怎么看到原子的？

从这个实验，拉塞福因而断定原子不是如以前所想像的均匀分布的物质，而是像超小型的太阳系，大多数质量都集中在一个居中的核“太阳”（原子核）。大多数射去的粒子都直行无阻，因为金箔的原子中大都空荡荡的；可是如果粒子射到了原子核，它就会被散射开，就如一枚撞球撞到砖墙一样。

今日，物理学家同样以不同的粒子去撞击不同的靶，用奥妙的电子仪器去分析结果，因而能“看到”种种不同的粒子。可是真相是，看到原子内部和看到一位朋友或看到一栋建筑，并没有太大不同；只是“似乎”缺少了真实感，也太过抽象了，因为这种“看到”的过程我们较不熟悉。不过，我们在日常生活中“看见”东西的过程，也几乎不是你能称为“直接”的。

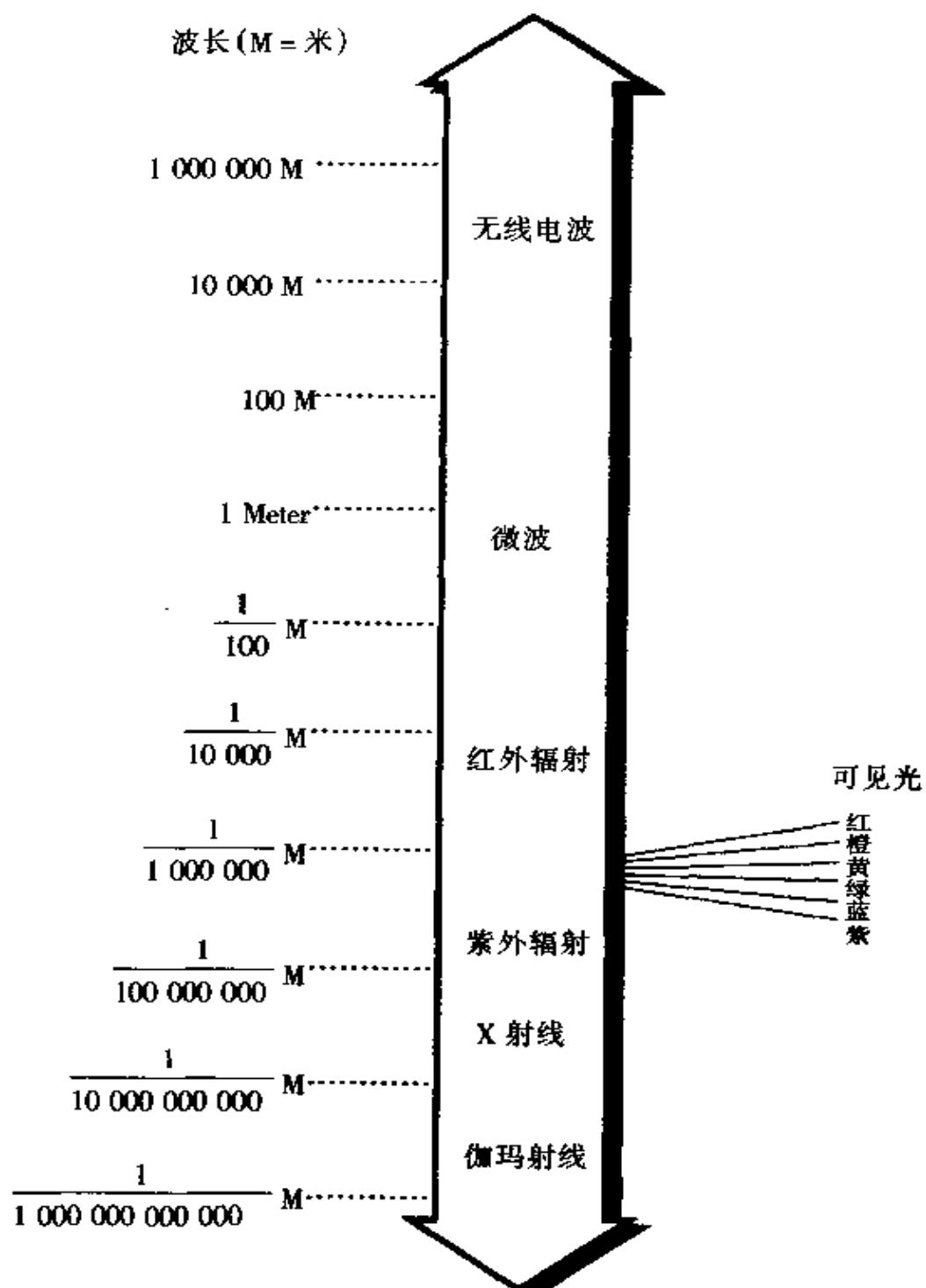
### 我们的“心眼”狭窄？

举例来说，我看到这页的书。这是因为在我头上，

灯泡的灯丝中急速振动的原子，以及窗外、约 1.5 亿公里远的太阳，都送出来如河流般的光粒子，称为光子，其中有一部分射到印有黑字的白纸上。这些射来的光子中有一些撞击到印墨的原子而被吸收了；其他的则被纸上的色素吸收了，剩下来的转向，朝我眼睛的方向射来。如果有些光子射入我的瞳子，它们就被一个透镜聚焦在一片对光敏感的屏幕（视网膜）上。这屏幕是很奥妙的电子探测器，能把光子的能量、轨迹及频率的资讯，都以数位形式传到我脑中。经过辛勤的计算及一连串的推论及假设，我的脑断定这些光的模式代表的是印出的字，传达了这位作者随意思想的粗涩译意。

当然，我的眼睛和粒子探测器及望远镜一样，都调整到只能去接收从外在世界来的资讯中的最窄波段。眼睛的瞳孔只是辐射海中的小舷窗。在闪着许多影像的宇宙中，我们仍然大都处于黑暗中。人的眼睛只能对波长在 0.00 007 到 0.00 004 厘米之间的电磁波起反应。

可是当我在打字写这书时，我仍被许多从原子大小到高山那么大的电磁波所轰击；这些电磁波来自遥远的空间、我身体的内部、以及 20 英里之外的电波发射机。我知道在这房间中这些讯号同我在一起，因为如果我一打开收音机或电视，就突然能听到或看到它们，道理就如我一睁开眼去看，视野就突然出现在我面前一样。如果我还有其他的探测器（我的皮肤可以感觉到某些红外辐射），我就能检视到其他的讯号。可是我们每日行走在这种辐射讯号的稠密网络中，却一点也不觉得它们存在。



我们对许多资讯都很盲目，辐射只是其中一种。我们无法听见大多数周围的声音。我们对化学的反应（味觉和嗅觉）和植物、细胞或者狗相比，都差得远呢。我们几乎不能分辨热与冷：眼睛蒙住的人不能分辨他的手是被热烙铁或被干冰所烫。即使我们对力的认知，也受身体的尺度所限制。我们能很容易地感到重力拉引，可是对空气阻力的拉扯却一点也不敏感；表面张力对细胞及苍蝇的生活说来是一种主要的力，可是我们也一点都不敏感。在空气中行走时，你我不必像小蚊子一样要把空气推开。另一方面，对小动物来说，电的吸力相对是强多了，因此，苍蝇能完全不顾重力的影响爬上墙。可以说，批评我们“心眼窄”（或者“麻木不仁”）还算是客气话。

### 跨出自己的蜘蛛网世界

博物学家爱诗礼（L. Eiseley）写到在树林中看到蜘蛛网的经验。这蜘蛛受限于它自织的二维宇宙中，完全忘却了转绕它的植物及人们，甚至于爱诗礼拿铅笔去碰它，也不理会，“蜘蛛在蜘蛛的宇宙中思想，对雨点及蛾所引起的颤动很敏感，除此之外什么也不管，对出乎意料之外的事一点也没准备，例如碰触它的铅笔。”

我们也住在蜘蛛网中，一个在我们四维空间中织出的三维蜘蛛网，看不到前后上下；直到现在，我们才开始注意到广阔的宇宙。我们对时间及空间的认知，大都限于自己经验中以及相对说来和我们大小类似的事物。我们发现，要去领悟比我们能用手指及脚趾计数的大

## 第一部 求知的艺术

数字，或者比我们寿命要长很多的时间，遭遇到的是几乎难以克服的困难。要看到周遭的蜘蛛网以外的事物，我们在想像力上需要极大的大跃进。

从我们“蜘蛛瞰”的观点来看，世界明显是平坦的，世界也很明显地静止不动。伽利略大概是第一位创议这个理念的人：仅只依靠实验，并不能知道我们是在运动中或是在静止状态中。他说：在一般四平八稳的船上，如果你坐在完全封闭的船舱中，看不见外面。你看到一些带翅的小动物如蚊子在室内飞，你望着鱼缸中的游鱼，而且把物体丢上扔下，注意物体如何落地。不管你做了多少次实验，“都无法辨别上述物体的运动有什么改变，你也不能从这些物体的运动推断出这船是在运动中还是静止不动。”

在赤道看到的“静止不动”，其实是在运动中。赤道的地方绕着地轴，以令人晕眩的每小时 1600 公里的高速转动。再者，这个旋转的地球的中心，也绕着太阳飕飕地以每秒 32 公里的高速奔行。整个太阳系也绕着银河系的中心，以每秒 100 余公里的高速旋转，而我们的银河系则朝向临近的仙女座星系，以每秒 100 余公里的速度奔去。还不止于此，如果你从一枚遥远的似星体的所在地来看地球，你可以看到我们以每秒 265 000 公里、近于光速的速度奔驰离开它。

伽利略走出他的蜘蛛网时碰上的东西，后来被爱因斯坦用来精炼出相对论。爱因斯坦看出了其他我们不能认知的东西，如时间和空间的弹性。我们受了自己感官所骗，相信适用于自身三维空间的欧氏几何，也是能适用于整个宇宙的几何。爱因斯坦走出他的感官经验之外，他看

出来，如果物体运动得很快，质量会有微量的增值。不必介意我们粗糙的知觉感测不出这增值；限制因素其实来自当年的仪器。今日的粒子加速器已经很容易把粒子加速到近乎光的速度，我们发现，粒子的质量增加了四万倍！

除了我们“无能”看出的东西外，另有其他我们“故意不看”因而看不出的东西。现在，我选择不去注意我呼吸的声音，不去察觉戒指施加在我手指上的触觉，不去看我鼻梁上的眼镜，甚至于不去看我的鼻子。百叶窗及瞳孔的目的不是把资讯放进来，而是把资讯排除。每一位用过照相机的人都知道，太多的资讯（景像）使人目眩。如果你把贝多芬的九首交响乐同时播放，你听到的只是噪音。

可是要去决定，哪些是要留下的资讯，哪些是要摒除的杂讯，是件危险的事。最近曾有四个人坐在我家客厅中，坐在一个声音很响的古董大钟下方。在3:05 的时候我问他们，这钟打了三下没有。两位坚持只打了两下，其他两位则坚称钟没有打过。

我们的眼睛自动忽略掉注意力之外的影像，可是对客观的照相机来说，它们却纤毫必露。分心能把大批的资讯消除，这就是为什么“倾听”（Listening）和“听”（hearing）之间有区别。不能同时倾听两场谈话是事实，眼睛聚集注意力看窄细的景像时，就看不到这窄细景像以外的东西<sup>①</sup>。

<sup>①</sup> 译注：眼睛能看清楚的部分实际上很小，在这很清楚的部分之外，在所谓周边视野（peripheral vision）看到的只是些印象。有些动物如羊则能全面看到，甚至于左右双眼都可以同时看到不同的东西。有些心理学家认为人眼之所以有选择性，大约和人的智慧的演化有关，因为如果有选择性（即本书说的把某些资讯摒除），则易于专心。

把资讯从“杂讯”中铨选出来是所有认知中最重要的过程，可是它明显的也是能暗藏错误的诡雷地。有一个心理学上常用、简单而很醒目的幻觉图，在这图中你先看到的是两个面对面的侧影，可是突然又觉得它像一只花瓶，这只花瓶又突然间消失了，代之的是两个面对面的侧影。你不能同时把它看成花瓶，又看成面对面的侧影，因为你不能把同一样东西同时看成前景、又看成背景（或者看成资讯、又看成杂讯）。任何被视为背景的东西，立刻变成好像不存在，即使你直向它瞪视。这就是所谓的“视而不见”。

还有，视而不见的东西往往是我们最熟悉的，譬如鼻梁或眼镜，日落及孩童的吵闹声亦然。不变的讯号往往使我们的感官感到疲乏，因而使我们的反应能力麻木。狗能在各种日常生活的噪音中熟睡，可是一个闯入者的轻脚步声却能令它机警跳起；有许多父母能在警车呼啸声中及垃圾车的砰然噪音中熟睡，可是新生爱儿的细声抽噎或呜咽，却能使他们惊醒。

### 残像原来是如此

感官的迟钝大都是学来的。不过有些却是自动的，即有些讯号实质上会把感官疲乏到我们无能去注意的地步。也许最常遇到的例子是心理学上说的残像（afterimage，又称为后像）。

如果你朝一亮灯瞪眼看，或者早上睡醒刚睁开眼时，看到从百叶窗缝中射出的太阳光，你可能把头转开，可是立刻又看到这些影像仍然残留在视野中。原来的影像

是明亮的，残像却是暗的，因为它们相应于你视网膜上被光“漂白”过的地方。被光漂白后，视网膜失灵一阵子，因此，这些地方无法反应。它们不能送资讯去脑中，说这里是白墙、这里是蓝天。可是视网膜其他部分的反应却是正常的，因此，你看到的像正常的背景，而在原来有强光照过的地方，留下被强光“闪”过的暗影像。

有些画家的作品甚至于也利用残像的原理。当你的眼对某种颜色疲乏之后，看到的部分会出现补色。例如，你朝墙上一幅画的大红块看个约 15 秒左右，你眼中对红色灵敏的部分就感到疲乏了。如果你朝白墙看，你的眼会把以下的资讯送去脑中：除却了红色的白色。因为除却红色的白色呈绿色，因此你看到的就是绿色。（如果你朝一绿点看，然后朝白墙看去，你看到的就是红点。）

运动感官的机能也是一样。如果你在房中不停绕一个方向打转，你很快就会失去了对不变讯号的反应：它们不再送讯号到脑中说你沿着顺时钟方向打转；沿着顺时钟方向打转就和“停住”同样意思。当你停下不转后，这些疲乏的感官反而是送一个讯号到脑中去，说“不再停住了；朝反方向转”<sup>①</sup>。于是你感到你朝逆时钟方向转。如果你朝着向下流的水注视 15 秒左右，然后再朝地面注视，你看到的是地似乎“向上落”，这个现象很恰当地被称为“瀑布效应”。

感官机能的疲乏，有时能让你认知出与收到的讯号相反的现象。

<sup>①</sup> 译注：有方法防止这类“假讯号”。跳芭蕾舞及花式溜冰者，有时要转好几圈。在转的时候，先把脸朝观众不动，等到身子几乎转过去以后，再把头很快地转过去，立刻再把脸朝向观众。这样姿势又美，又不会头晕。

聪慧的科学家（或作家、或父母、或医生、或木匠）就是拥有“集中注意力于重要事物”这个特别才能的人，既能把讯号和杂讯分开，又能知道在什么时候，看似杂讯的讯号含有重要资讯的呢喃声。

### “像”由心生

科学仪器大幅延展了我们的感官机能。的确，美国量子物理学家波姆断言，“科学主要是一种把我们对外界的认知能力延展的方法”，目的乃在促进“我们对于自己接触到、不断增加的世界截面的觉察及了解。”

工业技术已经揭露出极广阔的新展望，打开了未被开发的时间、空间及温度的领域。现代的望远镜及粒子探测器已经打开了我们看不见的电波及伽玛射线（高能X射线）的视野，给我们带来极丰富的影像。所谓基本粒子的数目如野火一般地增加，因为能“看”到它们的仪器越来越好。同样，天上星星的数目亦然，还有这些宇宙动物园的新客，如脉冲星、似星体、及可能绕行太阳以外的恒星的行星。我们朝远处望去，朝以前的时间望去，也看到我们遗传基因的构造，看到恒星如何诞生，看到病毒的形态。我们能测量更小及更大、更冷和更热、更快和更慢的物体，比以前能“看”到的更为之大或小的东西。利用高速电脑，科学家可以推算到宇宙的末日，或者时间开始（宇宙创生）的时候，或者到地球的中心去。他们能“看到”化学反应时、粒子撞击时、台风酝酿时，发生了怎样一回事。

“我们多富有呀，”作家墨奇说：“我们能用现代科学去透视这些世界……不必和以前的人一样，只是幻想盘

算，星球是从天穹的幕上挂下的珠宝，还是把创世遮住的星穹外壳上的窥视孔！”

我们的宇宙心像转变得这么快的一部分原因是，我们看的能力成长得很快。这就是为什么今天看来正确的理念，明天就这么轻易被推翻的理由。我们看得越多，要去校正视野的地方也越多。“早期对宇宙的描述以自我为中心，而且都基于人的尺度及观测能力，”英国心理学家格雷高利在他讨论知觉的佳作《有智慧的眼》一书中这么写道。在科学发展之前的哲学大都基于人的知觉。可是我们现在知道，有许多若不透过科学就看不到的事物。格雷高利写道：“仍有我们眼睛看不到的星体，这个简单的事实，使天穹是人类舞台背景的这类想法，变成不切实际。”

科学的认知自有一种与个人的认知不同的权威性，因为科学的认知能同别人分享。这是许多人都能同意的看待事物的方法；或者至少能同意有这么一个共同的思考方法。科学的认知过程在本质上大致是相同的：科学家以收集数据、量度、作假设、下结论来“看”。“对普通人来说，基本粒子不像是真实的东西，因为它们不能用普通方法来认知，”麻省理工学院的物理学家奇士塔考斯基（Vera Kistiakowsky）说：“像天文这类的东西似乎是真实的，因为你能用肉眼看到恒星。可是即使如此，整部天文学也是推断出来的。所有的科学都基于衍生的（secondary）资讯在作解释。”

所有的认知都牵涉到衍生的资讯。我们看到的东西总要比直接到达我们眼底的多。在我们眼中，在那小小的视网膜上，光形成了上下颠倒的模样，既有洞又有斑

点，七歪八扭得不成形。大多数我们看到的东西都形成于脑中。如果我真相信我的眼睛，当人们走开时，我就会看到他们都缩成拇指大小的人。可是事实上，所有我的视野都留在我的体内。这就是脑的功用，把我们眼睛后面的视网膜看到的“在那里的东西”投影到空间的任何地方，产生了一种某物的观念，不论其大小远近。

这真是难以置信的工作。非但视觉，所有的感官经验也都在我们体内产生出来。可是我们仍然把这些性质归属于体外的事物。我们说冰淇淋吃起来很甜，或者觉得桌子硬，其实那都是“我们”吃出来的甜味或感觉到的硬度。

### 科学不再以人的感官去探测世界

伽利略认识到颜色及嗅味这些品质的真谛，“不能把接触到物件时感觉到的轻触或痛感，归属于这些外界物体的本性。”我们不是被羽毛呵痒或被笔尖所刺痛；这些感觉都来自我们脑中对一些电流讯号的解析。

“每个人都活在逃不出去的精神监牢中，”京斯爵士写道：“这监牢就是我们的身体；唯一能同外界沟通的途径，是透过我们的感官——眼、耳，等等。这些感官成为我们能观望外界及获得知识的窗户。”

我们新发现的科学感官机能，离开直接诠释还要更远。例如，用特长基线干涉仪<sup>①</sup> 能看到似星体的影像，

<sup>①</sup> 译注：特长基线干涉仪（VLBI, very long baseline interferometry）是许多电波望远镜联接起来，用干涉仪的原理，使这些望远镜同步观测，其分析力等于一座超级巨大的电波望远镜；这座巨大望远镜的天线直径相当于这些电波望远镜座落的距离大小，例如，如果这些望远镜座落于地球的两端，其分析力就如地球大小的电波望远镜。

其实这些影像只是把好几个单独的电波望远镜天线收到的讯号都记录下来，以原子钟把它们同步后，再以电脑合成出来的图像；这些电波望远镜之间的距离可能有6000英里之远。它们不是普通的“影像”，而是干涉模式，就如光线穿过两道狭缝，在屏幕上产生出的波纹模式——两个看不见的模式合并时衍生的模式。

科学不再以人的感官去探测这世界。真的，近年来，许多科学知识和我们的感官意识完全矛盾，这就是为什么一般人很难去接受量子力学及弯曲空间的原因。环绕我们情景的声音和物体及运动，并没有被切割成量子级的小片，有如电影是由一张张动画组成的。围绕我们的空间也不像弯折过的。“这就带人了一个奇怪的形势，”格雷高利写道：“从某种意义说来，物理学家不能信任他自己的思考。”可是，他又指出，我们必须要以这些物理的“非感官认知出的观念”来学习：“我们因而面对这问题：如果运用了和感官经验不相连结的观念，人类的头脑能运作到何种程度？”

这问题的解答一定是，有不只一种正确看待事物的方法。如果我们以耳去倾听巴赫的音乐，而再以电子探测器去“倾听”，我们得到的是大不相同的两套讯号。这两种认知同样都是间接的。

去认知现实，有许多可利用的窗户。其实爱因斯坦最激进的观念和时空的多元现实有关，即我们认知出的时空被我们用来标志它们的方法所决定。“除了我们认知出来的物体的次序及排列之外，空间没有客观的真实性，”巴涅特写道：“而除了事物发生的前后次序之外，

时间也不能独立存在。”<sup>①</sup>

## 凡事只有一个观点才是错误的

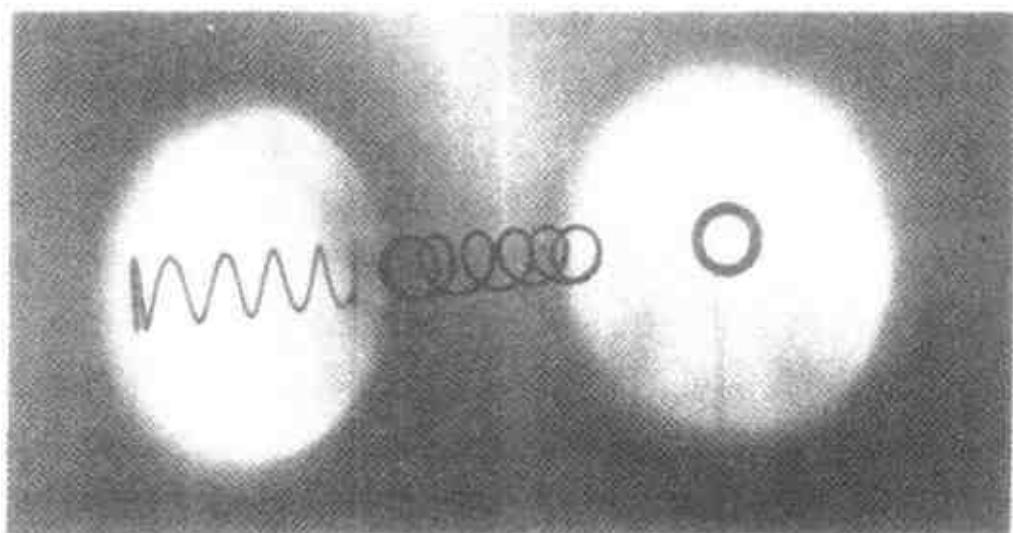
毕竟认知是很“积极”的过程，我们并不坐在这里等待资讯如雨般地落来。我们走出去，把它们搜寻来。在这个过程中，我们把它们改变了，甚至于还创造些资讯。关于物理学家去“看”基本粒子的过程中，最奇怪的一件事是，他们经常以其他粒子的能量创造出某些粒子，因而使它们能被看到——这似乎不是太“公平”的事。可是就如物理学家莫里逊所说的，如果你不把电风扇关了，或向它丢一块石头，你就无法看到那疾速旋转的扇叶。你不能把你的手放在电波前去感测收音机的电波，可是如果你有办法把身体的接受器调到共振频率，你就能感测到。这时，收音机放出的声音，就和加速器中创造出而探测到的粒子一样。

我们看到的完全依赖我们在找什么，也依赖我们的观点是在哪里。从飞机上看到的房屋、形象和站在房子正门前，或坐在疾驰的汽车里、从车窗望见的不同。如果婴孩只看到玩具的顶，他不能认出这就是同一个从边

① 译注：按爱因斯坦的理论，时间及空间具有“弹性”，大小能改变，看运动的速度而定，因此说时间和空间都没有客观的真实性。可是空间和时间虽然具有弹性，在空间及时间中事件的次序不能变。例如，某地方，A时间发生某事，在比A时间更迟的B时间发生某事。一位观测者看到A和B之间的时间差，能被他的相对速度所改变，因此，时间不是绝对的，而是具有弹性。可是A比B早，这个次序怎样也不能变。注意，这个次序指的是同一空间点的不同时同事件。不在空间同一点的事件次序则可以变。同样的，如果在空间中沿一条直线依序放了三件物件，甲、乙、丙。一位观测者看到的甲和乙、乙和丙之间的距离依他的运动速度而变，因此，空间也具有弹性，可是不管他怎样运动，甲、乙、丙之间的相对次序关系不能变。

上看到过的玩具，因为二者看上去大不相同。哪一个才是正确的观点？也许“认为只有一个观点才是正确的”这种观点才是错误的。就如婴孩和他的玩具一样，我们可能忽略了一两件东西。时与空、能量及质量、波与粒子，都是同一东西的不同形态。

可是搜集、安排及分类外来资讯，仅是第一步。我们仍然要做这个决定：那是什么？这些资讯的意义是什么？介子或质子？街灯还是月亮？影子还是窝贼？行星还是恒星？



弹簧的一个影子是圆，同一弹簧的另一个影子是波。如果你只能从弹簧的影子去认知这弹簧的话，你可能会断言它是两种完全不同的物体。(Copyright 1980 by Nancy Rodger)

很近的黯淡物体和很远的明亮物体，看起来一样。把你的拇指伸出去比一下窗外远处的房子大小，这房子可能不比你的指甲尖大，那么你怎样知道房子不是那么小？“当一枚比豌豆小的陨石落在空气中，”京斯写道：“它送到我们脑中的电流信息和一颗比太阳要大一百万倍及百万倍远的恒星一样。原始人立刻断言这小小的陨石

是一枚真的星体，而我们仍然把它称为流星”

除非你转头朝后面看，你不知道后面有什么东西，可是我们看到后面的东西时，并不觉得奇怪。你不知道下一步踩到的是不是硬的土地，可是你就是有信心。有时我们会受骗：在数英尺外飞翔的绒毛，看上去像是几英里以外在天上飞的飞机（反之亦然）。可是我们在多数情形下，都能非常准确地估计出我们熟悉的世界里的事物大小。

关键在于熟悉。如格雷高利指出的，认知是用以前储存的心像来看待现在的事物；认知是选择一个最可能的（最熟悉的）事物，当作“这是什么？”这问题的明显答案，“头脑对于最可能的事物的接受，隐含着某种危险：要看出不寻常的事物，一定很困难，甚至于不可能看得出来”格雷高利注意到这一点。他提出这个问题，如果认知的过程是一种以过去得到的有限答案的总和去认识这世界，“那么如果我们面对某个独一无二的东西，会怎么办？”

答案是，我们就看不到。17世纪的荷兰科学家惠更斯<sup>①</sup> 以他自制的望远镜观测土星，画出很详细的土星表面图，可是他从未注意到现在很熟悉的、不寻常的土星环。“我们非但只相信自己看到的东西，”格雷高利写道：“到某种程度，我们也只看到自己相信会有的东西……这些在我们信念上的涵意，实在令人感到恐惧。”

几乎可以说，格雷高利不是唯一得到这种结论的科学家。博物学家爱诗礼写道：“每一个人在解码大自然的古

<sup>①</sup> 译注：惠更斯（Christian Huygens），1629—1695，荷兰大文学家及物理学家，发现土星的卫星，又创物理学中光波动的惠更斯原理。本书中说他没有发现土星的环，其实有点不太公平，因为他在观察土星的时候，土星的环正好平面对着地球，而环很薄，因此不易看见。约每15年，土星的环平面会向着地球一次。

老事物时，只去解那些他心中有能力去解释的秘密。”梅达华爵士<sup>①</sup>在他的书《给年轻科学家的忠告》中，完全摒弃了“所有的科学发现都来自到处去看看”这个观念：

我自己认为这是一种错误的推断，把任何的发现都认为如是而来。我认为巴斯德及方特涅尔<sup>②</sup>会同意我的说法，头脑早已在正确的波长上。这理念的另一个表达是，这些发现开始于已经暗藏在心内的假设，也就是说，对世界的性质已经有了富于想像力的先入之见，或者预期它如何出现的方式早已存在于脑中，而绝不是来自被动，先去获得由感官得到的证据，再去熟思出来的……真理“并未”早已藏在大自然之中，等待人们去发现……每一个发现，每一个把了解的扩充，都是以富于想像力的先入之见去预知这真理的真谛。

事实上，要把这“真实”世界的心像从我们先入之见的影像中解开，是很困难的事情。我们知道的宇宙有多少是我们真正发现出来的，还是我们认为是如此的？

先入之见毕竟是好臆测。那是我们需要的捷径，能使

① 梅达华：(Sir Peter Brian Medawar), 1915 – 1987, 英国免疫学家，发现把抗原疫苗注入动物胚胎，该动物就会对该抗原产生后天免疫相容性，这对器官移植有重大贡献。1960年诺贝尔生理医学奖得主，著有《给年轻科学家的忠告》(*Advice to a Young Scientist*)。

② 译注：巴斯德(Louis Pasteur), 1822 – 1895, 法国人，创微生物化学，证明生物不能自动起源(生物由生物生出)，发明狂犬病疫苗、牛奶低温消毒法，等等。当时德法战争结束后，法国赔偿德国巨金，可是估计由巴斯德的贡献而得到的利益远超过赔偿的金额。方特涅尔(Bernard Fontenelle), 1657 – 1757, 法国科学家及文学家。他的作品在启蒙时代时影响极大，最著名的书是《世界的多元性》(*A Plurality of Worlds*)，阐明并支持哥白尼的地动学说(地球绕日动而非日绕地球动)。在1686年时，哥白尼学说还未完全被接受。不幸的是方特涅尔的理论基于笛卡儿的涡流理论，此理论于次年被牛顿的力学击得体无完肤。可是方特涅尔的书还是很成功。

## 第一部 求知的艺术

外界来的资讯不至于把我们压得不能喘气，可是绝不能认为它们是真理（这很必要）。

我们以一本书的外壳来断定其内容，因为我们没有时间去看每一本书的内容。我们假定一张由窗子向外张望的脸，后面一定跟着一个身体；某个看上去像一棵树或一艘帆船或一颗星星的东西，大约就是那些东西。我们以自己似乎熟悉的一大堆事物的前后脉络关系来认知模式；即使是小孩也似乎直觉地知道，圣伯纳救难犬同北京长毛狗都是“呜呜”（还不会说话的小孩模仿的犬吠声）。

可是很重要、必须谨记的是，决定这两种看起来大不相同的动物都是“狗”的是我们，就如我们把厨房用器“斗”用来称呼一群恒星排列的形状一样。看见月亮当中有“人”的也是我们。随手拾来的判断，其有用程度及必要性，和它们能令人误解及易犯错误的程度一样。

“我们不能以为认知到的原始数据、不能假设所有认知到的‘事实’，都是能成为知识基础的坚实砖块，”格雷高利写道：“所有的认知中都装满了理论。”

### 记忆并非不折不扣的记录

我们看到的都是对自己说来熟悉的东西，同时我们也选择出自己想要看到的东西；这两者常常是同一回事。按照最近关于记忆的研究，如果人们互相谈话只为了以后完全不同意他们说的是什么，那么事实上他们真的认为“听到了”不同的东西。

“记忆并非不折不扣的记录，”哈佛大学的心理学家沙克特（Daniel Schacter）说：“它比较像一种演变中的塑像。”实

验室的研究已经显示出，我们记忆事物的方式有一致性的差。例如，按照华盛顿大学的记忆专家洛夫土斯(E. Loftus)所说的，记忆经常用来吹嘘自我、自尊，“我们记得自己捐钱给慈善机构的次数，往往比真正捐过的次数多；我们搭乘飞机的次数要比真正乘过的多；我们认为自己的小孩学会走路或说话的时间，要比他们真正会走路或说话的时间早；我们记得的投票次数也比真正投票过的次数多。”

我们看到的是什么，也与文化有关；这偏差甚至还适用于我们透过应当是客观的科学所看到的事物。当人们第一次使用显微镜时，大都只看到自己的眼睫毛，或者随机的闪光。要教他们如何去观察变形虫（最普通的单细胞生物），就如“必须要教育”他们种族歧视的不当一样。

文化也影响到科学家看到的是什么。影响之大，使得没有任何一部欧洲编年史提到1054年爆炸的超新星，虽然这星照耀天空好几个月。那时代正当欧洲宗教信仰的高峰，没有人去记录，因为没有人认为它重要。它被历史过滤掉，就如我客厅中的钟鸣声被过滤掉一样<sup>①</sup>。

伽利略第一次遭遇到麻烦的原因是，他有胆量去看出这类的超新星。“在天上出现了一枚超新星。”物理学家加

① 译注：按宋史（及辽、金史）记载，这超新星出现时，白日可以看到，以后光度渐减，两年之后才消退不见。现今在它出现的地方有一个星云，称为蟹状星云（Crab Nebula）。超新星是恒星的核能完全用尽后，被重力压缩崩溃的爆炸。20世纪高能天文物理即发源于对蟹状星云的研究。本段中说“没有人去记录，因为没有人认为它有重要性”，也许不尽然。这新星出现在新月的时候，明亮异常，该日这新星就在新月的边上，不可能看不到，因为连北美洲的印第安人也留下记录；考古学家发现他们在穴洞的画中，有一个新月图，在它的边上有一枚亮星。1054年时，欧洲正处于黑暗时期的最高峰。亚里斯多德的理论已编入基督教的教义中，这理论说天穹是完美的，不可能有变化。因此，最可能的是，即使看到了也没有人敢讲，就和皇帝的新衣一样。可是有一位意大利织绣帷的织匠大约不知道有这个忌讳，在一幅现今保存在威尼斯的织帷上织出了这枚新星，也许这位织匠就和讲皇帝没有穿衣的天真小童一样。这是欧洲唯一关于这超新星的记录。

## 第一部 求知的艺术

莫夫写道：“而按亚里斯多德的哲学及教会的教诲，天穹绝对不会有任何变动。这事件因此使许多和伽利略同时代的科学家及教会中的高层神职人员，变成他的敌人。”伽利略的望远镜显示出许多发现，其中有：金星及水星和月亮一样，有时呈新月形状，因此就含有它们绕日旋转的意义。可是他看到的“确定是超过宗教法庭所能允许的，他因此被逮捕，受到长期单独监禁。”

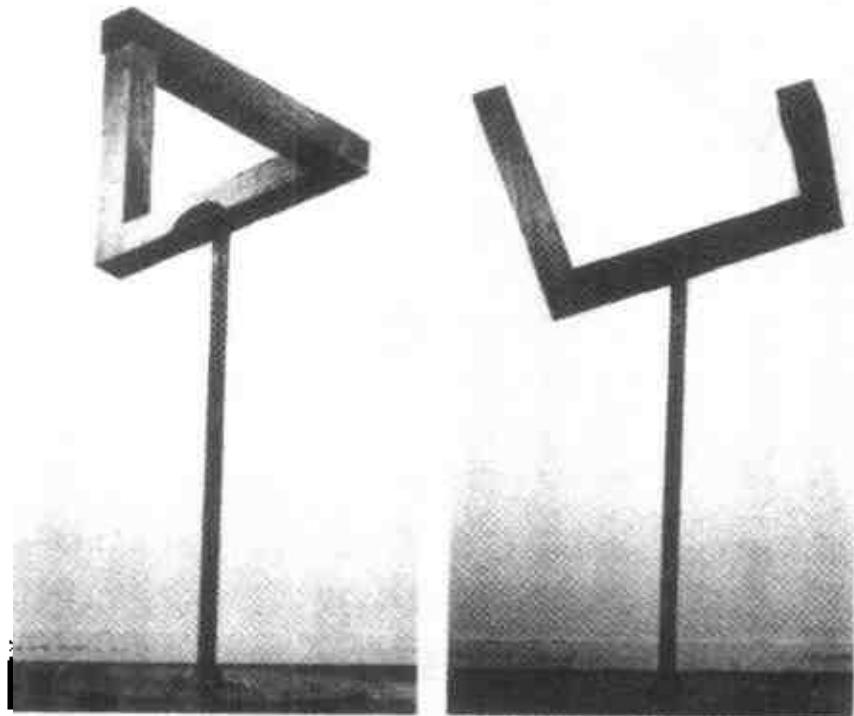
我们不必回顾历史，也能看到这类被文化熏陶出来的有条件认知。谁会想到，人们受到文化的影响，认为房间的墙都以直角相交，因而宁愿看见人变小了，而看不出房间变了形？可是这就发生在心理学家爱姆斯（Adelbert Ames）发明的极有名的变形屋实验中。这变形屋的形状歪扭，墙不以直角相交。人们从一条窄缝去看某个人从这房间的一端走到另一端时（做成窄缝的原因是使人们看不出立体感），要做出一个认知上的决定：如果不接受人的高度会从一端到另一端变高或变矮，就要接受这房间很特别，不呈普通房间的长方形状。人们习于接受直角，因此都认为房间中的人从一端走到另一端时，会变矮或变高。

即使我们认为远处的东西并不真正缩小，这认知多多少少也是环境造就出来的。一位拜访旧金山探险博物馆的心理学家告诉这馆的工作人员，一族树居的侏儒族人的故事。因为生活在浓密的树林中，他们没有看远处物体的经验。有一天这族的人窥视到一群远处平原上的牛羊，他们理所当然地假设这些都是很小的动物，也许只有蚂蚁般大。你可以想像，当他们走近看时，这些动物突然变大，这些侏儒会感到的恐惧感！

看光学幻像是件趣事，可是幻象能带来失望。通常这些

幻象牵涉到的是与我们日常观点之间的差异，与我们先入之见的实体观念的矛盾。预期中的认知，非但使我们不可能看到物体的正确形状，也使我们看到“不可能”的东西。

这里要提到的是“不可能的三角形”，这是三支以直角相接的厚方梁木。当然，没有哪个三角形的三个角都呈直角的。可是这个“不可能的三角形”不是普通的二维三角形，但从某个角度去“看”就像一个三角形，你看不出它是一个不熟悉的形体。它看上去好似不可能的原因是，我们坚持它呈现的是熟悉的三角形状，而不是我们不熟悉的真形状。反过来说，这个不熟悉的形体反而看似不可能，“虽然在那里它实实在在地存在，”格雷高利说。



“不可能的三角形”能呈现出不可能的形状，原因是，我们坚持要看到一个熟悉的、称为三角形的图形。去认知出完全不熟悉的物体，才是真正不可能的事。(Copyright 1980 by Nancy Rodger)

我们经常把真实的东西错认为不可能，却能经验到不可能的东西。例如，你把一手放在冰水中，另一手放在热水中，然后把双手都放在温水中，一手会觉得冷而另一手会觉得热，虽然双手都浸在同一温度的水中。

另一方面，如果你触到同一温度的金属及保丽龙，触到金属的手会感到较冷<sup>①</sup>。

“不可能的三角形”能呈现出不可能的形状，原因是，我们坚持要看到一个熟悉的、称为三角形的图形。去认知出完全不熟悉物体，才是真正不可能的事。(Copyright 1980 by Nancy Rodger)

### 感官仍然继续愚弄我们

仅靠智慧知识，也不能改变我们认知出来的是什么。即使我们知道不可能的三角形、变形屋、热冷水的感觉原理，它们仍然继续在愚弄我们。我们仍旧看见太阳“上山”及“下山”。我们看见星星挂在平坦的天顶上，看见地球如平面似地展开。我们看到的月亮约30厘米大小，悬浮在大约两公里外的地方，即使我们知道它是直径3000公里的大球，悬浮在36万公里之外。

朝太阳看，尝试把它看成1.5亿公里外的恒星。但这是不可能做到的事。“要把认知到的形态与知识相符合，需要花功夫，”格雷高利写道：“如果18世纪的经验主义者知道这一点，哲学发展的途径也许会大不相同。毫无疑问的，在政治理论及审判上也有其隐含的意义。”

① 译注：原因是，保丽龙不导热，金属导热。

特别要指出，月亮是“上天赐予用来研究知觉的物体，”格雷高利说。它的大小及距离与我们认知出的，差距约为100万倍。可是格雷高利说，真正令人惊奇的是，我们还能把它安上大小及距离。那时我们还没有参考坐标系，对这么远而大的物体毫无经验。那么，我们又怎样知道恒星的高度、似星体的大小、以及到极远星系的距离？答案是，我们制出一长串的假设。如果这些假设中有一个稍有误差，我们认知出的结论就会大错特错。

事实上几乎每个人都知道，月亮在天空中的大小依我们假设它在什么距离而变。当月亮在地平附近时，它看上去要比高高在天上时大些。还没有一个广为人们接受的理论来解释这是为什么。有个理论说，因为天穹的幕顶似乎要比地平来得近，因此同一物体，如果较近，看上去会较小，才能在眼中形成同样大小的心像。放在房间那端的一个垒球，与放在臂端的乒乓球，在你的视网膜上形成的影像大小相似。可是如果你不知道垒球的大小，你会看成垒球比乒乓球大，原因是它在远处。当我们假设在地平上方的月亮较远时，我们看出的影像也会较大。

此外，我们都有极多的经验，知道飞过我们的东西（行星、球、飞机、鸟）在消退于远距离时都变小了。如果它们看上去“并不”变小的话，那么这种现象只能说是这些物体真的变大了！同样的事发生在月亮上，它并不真的变大些，可是它似乎向远处退去。因为它的影像并不真正变小，所以你只能假设它也变大。

如果这些论调似乎难以确信的话，你可以用一个简单的实验来自己证实。下一次一个亮光闪在你眼中时，

立刻去看你的手，你可以看见这物体的小残像浮在你掌上。如果你朝数英尺外的墙看去，然后再朝一座更远的墙看去，这残像会变得越来越大。如果你眨眼，这个残像留在眼中的时间可以变长；你的大脑尝试着去把这些“外生”的影像去掉，把它们推在一边，可是眨眼可以把它们带回来。真正的影像大小已经铭印在你的视网膜上，也留在视网膜上。可是你的大脑自动使它看上去变大或变小——依假想的距离而定。

你也能改变观点，来变动月亮的大小。当你在地平上看见那个“大”月亮时，如果你能倒着看，例如弯腰下去从双腿中看，以消除从地平去看的观点，月亮就立刻变“小”了。我们常常得把东西颠倒一下，才能以适当的观点看出端倪。

其他对于我们认知能力的限制，有些与我们本身有关，因为我们本身就是我们想要去研究的一部分对象（例如，你能不能很清醒地去思考一下思想是什么？）；其他的则是因为，当你很贴近去看某物，你不免把它扰动。行为科学家一直为这个问题所困扰，物理学家亦然。没有办法可以同时去“看”一个次原子粒子的位置及速度，因为在测量某一面向时，自然会扰动到另一面向。在尝试观看次原子世界时，如巴涅特所说的，我们就像一位盲者想要去发现一枚雪花的形状及质地。一旦这雪花碰到我们的手指，它就融化了。

## 科学在寻找不变性

有些人把这些认知的限制认为是，客观的现实并不

“真正存在”。

这世界上充满了许多重要、可爱、但就是无法去测量的东西。爱情是其中之一，憎恨、幽默及几乎所有的感情亦然。如果你尝试去一片一片地解剖一幅画传播的情感，可以确定的是，这情感会如雪花一样融化不见（至少暂时如此）。

不管如何，对不同的人来说，“现实”具有不同的意义。物理学家玻恩这样写道：“对大多数人来说，现实的事物就是那些对他们说来是重要的。艺术家或诗人的现实与圣者或先知的现实，不能拿来比较，也不能和商人、管理者、或者自然哲学家、科学家的现实相比较。”

玻恩说，这不是说我们的感官得到的印象是“永恒的妄想”，相反的，我们常常能同意某种客观的现实性质，即使它们有不同的外貌：“我头一动，每眨一次眼，这椅子看起来就不同，可是我知道它是同一张椅子。科学的工作仅仅是去打造这些不变性，尤其当这些不变性不是很明显时。”

我们在科学方面对现实的认知不断在成长中，对科学的信心逐渐增加，就如婴孩在他或她的物质世界中逐渐获得自信一样。我们非但假设，还加以测试。如果同样的东西发生的次数够多，我们对理论的信心就会增加。如果这铃鼓每次从桌面滚下就会落地，这就不可能是偶然发生的事。如果我们以眼睛看到的事物，又被嗅觉及听觉证实，那更好。而如果其他人似乎和我们一样，感觉到同一件事，那就更能使人信服。我们不能摒除认知的主观成分，可是我们能抑制它们。玻恩写道：“不可能向任何人解释我说这句话‘这东西是红的’或‘这东西

是热的’的意思。至多我只能发现别人是否把这东西称为红或热的。科学是把目标放在词语和事实之间更密切的关系上。”

## 我们非但是观众，也是演员

物理学家波姆断言，我们认知出的是“不变性”，即在不同情形下不变的东西。当婴儿学到，从不同观点看，一只奶瓶能呈不同形状，可是还是同一只奶瓶，他或她就学会了对奶瓶的认知。光速的不变性把爱因斯坦导引到发现狭义相对论的道路上去。这个令人惊奇的结论：时空呈相对性，来自一个更基本的洞察，即自然律（和光速一样）在所有情形下都呈不变性。

观测及信念之间的关系，把我们的信念加强了。我们愈能把更多的线索连结在一起，织成的关系越紧密，因认知的盲点而使我们忽略某重要东西的可能性就越小。非但这个铃鼓会落在地上，连月亮也向地球下落，而地球则朝太阳下落；河流、雨、冷空气都向这行星的中心沉去。当更多又更多的现象能被重力解释之后，重力的威力增加了。因此，在天文物理及粒子物理中，即使有许多理论上也不能真正“看”到的东西，可是因为物理学家能把许多拼图拼凑成形，自信心也因此增强。维斯可夫说，一旦有些内存的理念在基础上有错误，“我们对原子现象这个广阔的科学领域的解释，将变成充满了错误的网络，只能把它令人惊奇的成功看成难得的巧合。”意思是发生这种错误的可能性极低极低。

我们天赋的认知一定会有限度，不时会使我们受欺

骗，因此，没有必要去希望这些限制会消失不见。我们只能接受英国天文大师艾丁顿爵士<sup>①</sup> 注意到的这个现实：对有理性的人类来说，任何真实的自然律很可能看似不理性。可是我们仍然能按照科学家的做法去做，以减少误差：我们能尝试了解我们的仪器、刻度、位置、限制、参考座标系——简言之，就是了解它们的原理是什么。

也就是说，我们应当要了解我们的知觉。认知不再是像在伽利略的时代，认为宇宙是一种被检视的对象。我们现在知道我们是宇宙的一部分，任何妥当的观测一定要把我们与生俱来的工具（如感官、思考等）包括在内。如原子物理始祖波耳说的，科学是极令人兴奋的探险，我们非但是观众，也是演员。

<sup>①</sup> 译注：艾丁顿（Arthur Eddington），1882—1944，英国天文学家，他的工作奠定了现代天文学的基础。



## 第四章 科学的审美观

诗人说科学把星星之美拿走了；科学家说，星星只不过是一团气体原子而已。

没有一件物体是“只不过”的。我也能在沙漠中清澈的夜晚看星，也能有感触。天穹的广阔展开了我的想像力——我小小的眼睛能收到年纪为 100 万年的光。有一种广阔的模式（我是其中之一）：也许我的组成是从某个被遗忘的星体所喷出……或者用帕洛玛山顶的大眼（译注：指这山上的 200 英寸望远镜）去看，看到那些从同一原点冲出的东西，在那里也许它们都在一起过。

这些模式是什么？意义是什么？或者“为什么”？知道一些这些事并不会损伤它们的神秘性。这些真理要比任何艺术家想像出的更加奇妙！为什么现代的诗人不描写这些呢？能把木星<sup>①</sup>形容为人的人，是诗人，为什么把木星看是一个极大的沼气及氯气的球体的人，却得闷声不语？

<sup>①</sup> 译注：木星的英文名为 Jupiter，罗马神话中诸神的主神，并为天界的主宰。也相当于希腊神话中的宙斯（Zeus）。

这段如诗的短文，出现于一本物理教科书的注脚中。正确点说，出自《费曼物理学讲义》第一卷。它是最动人的论证，说科学加强了对自然界一切美感的爱慕。科学并没有把大自然的情操和美剥掉，使它成为只是一群赤裸的方程。相反，对于自然界的科学了解，能加深我们对它的敬畏及展延它的神秘感。

科学及艺术似乎是不太可能的搭档，可是自从人们企图了解周遭的世界以来，它们就已经并存了。《发现》这书的作者路特伯斯坦（Robert Root - Bernstein）从他的一连串研究中，断言科学家和艺术家之间有许多相同处，而且比其他自由职业者，如商人及律师的相同处更多。

一点不奇怪，艺术家和科学家都被同一物体所吸引。自然及人性，都充满了能吸引这两种人的神妙特性。对植物学家及诗人说来，一棵树同样是一个肥沃的园地。画家、心理学家、雕塑家及医生，都研究母子间的关系及人体的形态。数学家及艺术家都被雪花的对称性、正弦波、贝壳的螺旋形成长所吸引。物理学家、哲学家及作曲家也都在探讨宇宙的起源、生命的真谛，及死亡的涵义。

## 科学家冷酷无情？

有人说，当一谈到工作的方式时，彼此的这些亲和性就完全被击碎了。艺术家以感觉去看待自然；而科学家则依赖逻辑。艺术探诱情感；科学家则要构出道理。艺术像养育小孩长大或从事社会福利工作，应当带有热

## 第一部 求知的艺术

诚（如果不是沉痛同情）；而科学和法律及制造业一样，应当是理性、客观、演绎的。科学家应当去想；可是艺术家应当要操心及关怀。

事实上，这种二分法太离谱了，并非真相。一位不能自制的人只能做不入流的诗人，而谨守科学方法的科学家也不能扬名立万。虽然由于某种理由，下面的说法似乎会令人感到不适，可是从每一点来看，科学家对科学工作的热爱，就如艺术家对待艺术工作一样。

以达尔文为例。当他在加拉巴哥群岛上翻寻那些最后变成他的天择理论的证据时，你不能说他的心态是所谓的客观及超然，他写道：“我像一位赌徒，爱上了一个狂妄的实验，我极为恐惧……我依赖一种只有天知道的直觉，很难讲出任何理由我为什么有这些意见……大自然的一切都十分乖僻，不会去做出我冀望的。我真希望能去做自己的旧工作，不要做这新工作。”

在早期的量子论战中，到处都看得到这种热情。爱因斯坦说，如果要弃绝古典的因果观念，他宁愿做鞋匠，或者在赌场中谋职，也不愿意当物理学家。他反对的理由乃基于一种他叫做“心灵的声音”，他写信给玻恩说，“这理论能做出的事很多，可是它并没有把我们带到离旧理论的奥秘更近一点的地方。波耳称爱因斯坦的态度“可怕”，因而非难他，称他犯了“高度叛逆”罪。另一位对量子理论有很大贡献的人，薛丁格<sup>①</sup>说，“如果每个人都要沾在这可恶的量子跃迁上不放，那么我就后悔我

<sup>①</sup> 译注：薛丁格（Erwin Schrödinger），1887—1961，奥地利理论物理学家，提出原子轨道模型及波动方程，1933年诺贝尔物理奖得主。

与这东西有过牵连。”物理学家费米<sup>①</sup> 在 20 世纪 50 年代也表示出类似的情操；当那些基本粒子的发现数目大量增加的时候，他把手一摆，说：“如果我能记得这些粒子的名字的话，我早就做植物学家了。”

也有一些较正面的热情话语；狄拉克谈到他发现的、最后引出反物质的方程时，他说这是“我生命中最兴奋的一刻。”而爱因斯坦提起，宇宙是“伟大永存的谜，这谜像‘自由’一样地向我招手。”这些几乎都不是你心中一直以为的：科学家很冷酷，毫无热情<sup>②</sup>。

如沙通（George Sarton）在他的《科学史》一书中所写：“和艺术一样，在几何学中也流过血、流过泪……只有笨人才会宣称，一首好诗或一个好的雕塑要比任何科学发现更具人文意味、更具启迪性；那完全得看你和它们之间的关系而定”。

可是“科学家对科学工作应当要更客观”这个理念，似乎也囊括了“他们不应当对科学工作有关怀”这个理念。“人们被教导了一种怪诞的错误观念，”我的物理学家朋友有一次这么提到：“他们被教导的是，除非科学家对真理采取漠不关心的态度，去发现真理时所需要的自律就不够。事实上，除非科学家很关心造成差异的是什么，否则没有理由搜寻真理。”

我们知道伟大的艺术家和伟大的科学家在工作时，往往把两方的方法联系在一起。艺术家需要知道他们用

① 译注：费米（Enrico Fermi），1901—1954，原籍意大利的美国物理学家，用中子辐射的方法产生新的放射性元素，以及在这研究中发现慢中子引起的核反应，1938 年诺贝尔物理奖得主。

② 译注：这里提到的科学家都是创始量子理论的大师，每人都有独到的贡献。虽然爱因斯坦是第一位具体建立光子观念的人，但到他死时还是不肯相信量子理论的机率解释。

的材料的科学知识（或者至少是工业技术知识）——油彩、纸、大理石、透镜、弦、电脑，等等。音乐家需要的共鸣、音乐学、声学的知识，和物理学家一样多；摄影师对光的特性亦然。即使是艺术家的作品内容，也常常基于科学家对自然界的认知；毕竟在不久以前科学还被称为“自然哲学”。和其他的认知一样，艺术被文化脉络、文化背景所孕育出来，而这些脉络、背景则来自人类对物质世界的诠释。

### 好的科学理论要有美感！

对科学家而言，他们依赖一种称为“洞察”的艺术方法，以便做出想像力的大跃进。如果没有洞察力，他们会永远陷于过去的认知中。单靠科学逻辑，我们无能为力去想像出未知的事物，更不必提去认识。“这是艺术的威力，”格雷高利这么写道：图形能“改变我们的客观假设，使我们能以不同的方法看到东西。”

“每一次我们陷入僵局时，”费曼写道：“就是因为我们的方法是以前用过的同样方法。但下一个策划、下一个新发现，经常需要完全不同的方法。因此，历史给我们的助力不会太大。”演练只能把你带到直线思路的下一步，而在科学中这往往是死巷。费曼下这个结论，“想出新理念不容易，那需要难以置信的想像力。”

导引科学家向想像力下一步大跃进的方向，往往是对美的憧憬，可是往往也不是。爱因斯坦对理论的最高赞语，不是说这是个好理论，而是说它是美的。爱因斯坦常常谈论及写出理念的美感，他最严厉的批评是

“喔，多丑呀！”

“纯逻辑不能把我们带到赘言以外的地方去，”法国的数学家庞加莱<sup>①</sup>写道：“那不能创建出任何新东西；单单从逻辑不能产生科学。”庞加莱把美学在科学中的角色，描述为“纤细的筛子”，成为阐明和误解之间、讯号与杂讯之间的仲裁。

科学不是一本只列出明细就足够了的书。事实要被织成理论，就如同从许多细缕织出绣帏一样。谁会知道什么时候（及怎么样）已经做出了正确的筛选？有时最有用的准绳是美感。薛丁格会压住他的著名方程的论文不送出去发表，因为这些方程和当时知道的事实不符。狄拉克说过一句现在很有名的话，“我觉得这故事有个寓意，就是说，方程的美感要比它能和实验相符来得更重要……似乎如果一个人在工作时采取的观点是，要把方程中放入美感，而如果这人有健全的洞察，就可以确定这人已走在一条有把握会有进展的途径上。”

就是这种美感，使科学家及其他入去坚持某理念“看上去”正确，或“感觉到”是错的。物理学家司壮明格（Andrew Strominger）钻研一个冷门问题：在 11 维空间与黑洞相碰的边缘处的特性（以解释相对论性天文物理的某些问题）<sup>②</sup>。他说在他工作时，常常被“闻起来”对的想法所引导。

如温伯格所说，“应当期望物理学家的美感有一种用

① 译注：庞加莱（Henri Poincaré），1854 – 1912，法国数学家，提出“相空间”的概念。

② 译注：目前粒子物理学中有一派认为基本粒子不是粒子，而是长度为  $10^{-33}$  厘米的弦，其振动频率就定出它的质量。弦占的空间有 11 维，后来被压缩到四维。物理学家司壮明格研究的是这 11 维空间在物理上的性质。引用黑洞的原因是因为黑洞能把许多不同维空间联系起来。

## 第一部 求知的艺术

途：协助物理学家去选择可帮助我们了解大自然的理念。”

### 伟大的科学家一定满怀热情！

有时，艺术和科学之间的连结更为直接。人们知道原子物理学宗师波耳最被立体派艺术<sup>①</sup> 所蛊惑，特别是因为“一个物体可以同时代表好几样东西，它能转变，能看起来像一张脸、一肢、一个水果体”；波耳接下去创建他的互补原理，这原理指出一枚电子能转变，能被视为一个波，或一枚粒子<sup>②</sup>。就如立体派一样，互补原理能让相反的观点在同一自然体系中共存。

有些人感到惊奇，艺术和科学居然会被隔离得这么远。爱因斯坦手持小提琴的形象就如达芬奇的发明，一样为人所熟悉<sup>③</sup>。在某些圈子中有个老笑话，如果你要一个四重奏乐团，只要把四位数学家放在同一房间就行了。

费曼也擅长南美小鼓，他说过，艺术家和理论物理学家唯一相同的素质，乃是他们在看着一张白纸沉思时，

① 译注：立体派（Cubism）是20世纪画家毕加索等人发起的一支抽象画派，把主题肢解以表达意识及认知。

② 译注：在20世纪二三十年代发现光和粒子可具有两种截然不同的性质：波动特性及粒子特性。当时基督教的教条仍在物理界有很大的影响。基督教教条中有二元论（dualism），即善和恶的对立，这与一神论有关（只有一个善神，不能有两个）。而在物理界中出现了这两个象，而这两个象都是必须的、而且共存于同一粒子或波中，此即波粒二象性。有许多人感到不安，尝试去解释为什么能有不分善恶共存的两象。波耳的互补原理（Principle of Complementarity）实际上说的是，任何时候只能看到一个象。做实验去证实光或电子呈波动性时，就无法在同一实验中证明光或电子呈粒子性。反之亦然。关于二象性的仔细讨论请见下一章。

③ 译注：达芬奇（Leonardo de Vinci），1452—1519，意大利全才，为名画家、雕刻家、建筑师、科学家。他的画作以“蒙娜丽莎的微笑”最有名，由法国罗浮宫收藏。

感觉到的是同样满怀喜悦的冀望。（虽然费曼感到很奇怪，说他总是被介绍为一位会打鼓的物理学家，可是有几次受邀去打鼓时，介绍他的人却没有一个说他也会理论物理。他把这事归咎于人们对艺术的尊敬程度比对待科学来得高。）

说真话，自从科学被称为自然哲学的日子起，艺术及科学的定义就开始变窄许多了。按照社会学理论家维克斯（Geoffrey Vickers）爵士在一本论文集<sup>①</sup>中所写的，在这个不自然的隔离之前，每个人都明白，“知道”是一种艺术，“了解”需要本领，而艺术和科学二者都是求知的过程及成果。只有从19世纪末起，才把科学限制在目前的狭窄意义内。当时开始使用这个词语：科学是基于实验的“一种测试假说的方法”。

做实验来求证理论，和艺术没有什么关系。可是维克斯怀疑这个差别更为深沉。人们愿意去相信科学是一种理性的步骤，可以被描述出来；直觉不能被描述出来，因此应当放逐于科学范畴之外。“因为不知怎的，我们的文化产生出这个没有根据、也不太可能的信念，说每一件真实的事物一定能由人完全描述出来，”维克这么写道：“因而不愿意去承认直觉的存在。”

当然，在科学和艺术之间有很大的差别。科学用数学这个共同语言来表达，因此大家可以分享对于世界的认知；艺术就很难找到共同语言了。

科学的洞察可以用科学的老方法来测试。而科学家需要尝试以冷静的态度来面对他们的工作，这样至少使

<sup>①</sup> 译注：这本论文集是《关于科学中的美感》（*On Aesthetics in Science*），Judith Wechsler 编。

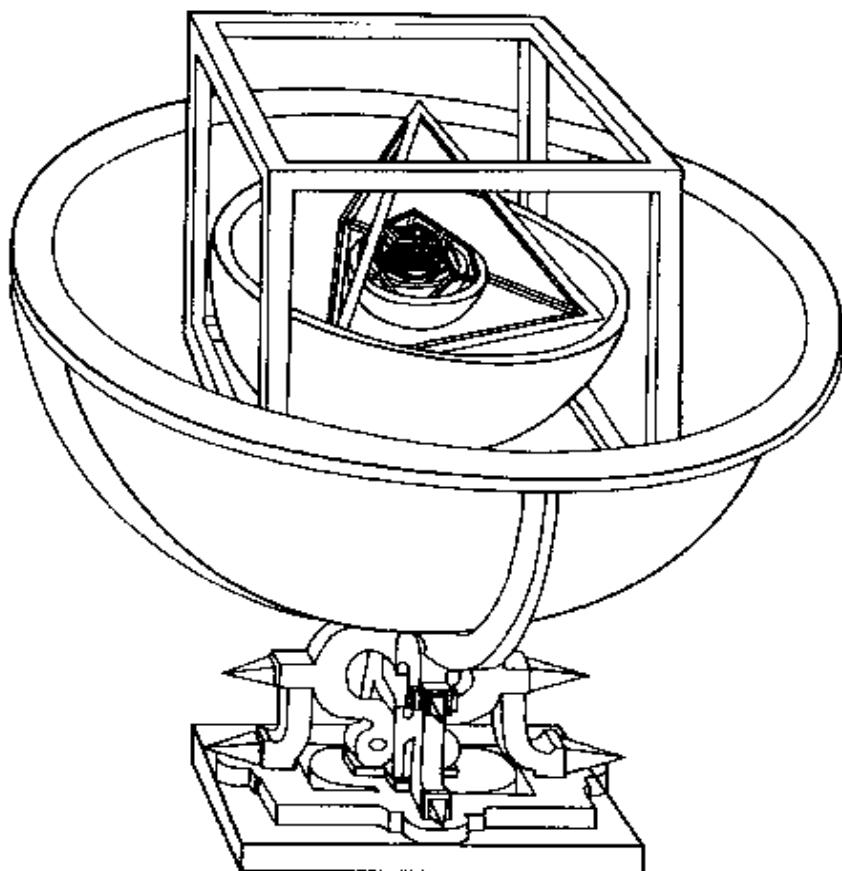
得他们的热情不至破坏实验结果。有时不可避免的，这些热情会造成破坏。古尔德说：“伟大的思想家从不在事实面前呈消极态度，因此，伟大的思想家也会犯很大的错误。”

### 简单就是美

科学史似乎专写这类的错误，主要的原因是，发现物质世界如何运转的人，其原动力是思想，也是情感、信念，及对演练的信心，这些几乎都占同样的分量。

开普勒最后能证明行星的轨道为椭圆，而不是如前人所认为的圆形，因而铺砌了牛顿及爱因斯坦理论的基石；可是开普勒始终没有放弃他对这个观念的信念：这六个已知行星的轨道都被围在五个完美的几何实体内。你几乎不能把他对天文的想法称为有条不紊的逻辑；事实上，开普勒更进一步主张，所有在地球轨道以外的轨道“基于它们的性质而直立着”，而在地球轨道以内的轨道，则是浮悬着。他是这么解释的：“因为如果后者站在边上，前者站在角落上，那都令人觉得景观很丑，不愿目睹。”

这留给我们一个问题：如果科学家常常受到或不受某种美感所导引，那么对科学家来说，美是什么样的意义？很明显的，美指的不是普通人说的漂亮、悦目、或激赏的意思。如果我们坚持如此狭隘的定义，就不能认为一套方程或理论能呈现美感。其实，科学的美，与“简单”更为接近。



开普勒的太阳系模型，显现出他认为的行星轨道如何与几何形状相关。此图是从 *Mysterium Cosmographicum* (1596) 改绘而来。

“你能认出真理，因为它既美又简单，”费曼这么写道：

当你做对的时候，很明显的它是对的（如果你有过这类经历的话），因为通常发生的是，出来的结果会比放进去的假设更多……没有经验的人、狂想家，做的假设都很简单，你能一眼就看出他们错，因此他们不算。其他人，例如没有经验的学生，做出很复杂的假设，看上去有一种好像是对的感觉。可是我知道那不对，因为到

了最后，真理总是要比你想像到的更简单。

对科学家来说，简单就是美，因为令人惊奇的是，自然界中，简单无处不在。它拥有能引导至重要理念的伟大力量。过去有多少看起来非常不同的东西，最后都发现具有共同的线索、密切的关连，例如自然的力、电与磁、下落的苹果与绕着轨道运转的行星。如诗人路基巴（Muriel Ruthkeyser）观察到的，即使是岛，在海底也联接在一起。

“它很简单。我没有说它的作用简单，因此它美，”费曼提到重力定律时这么说：

它的模式简单。要去计算出不同行星的运动及它们之间的振动，可以是相当复杂的问题，而要去追踪一个球形星团中所有星球的运动（约十来万个恒星）的工作，仍远在我们的能力之外。在作用上极复杂，可是在整个东西之内的模式或体系却是简单的，这是自然律的共同性质。自然律终归都是简单的东西。

高维空间是魅力在于它能使事物更简单，无论它是时空的四维空间或是弦论中的 11 维空间。在一本物理期刊中有一幅漫画，描绘一位教授在黑板上写出长得不得了的一套公式，学生则惊愕不知所措。教授想要平息这些学生的恐惧，说：“不要担心，在 96 维的空间中它会简单得多。”这种简单性来自更清晰的了解，来自能看透所有能使人分心的歧点，而专注于最重要的元件，用一个“简单”的理念来解释许多看似不相关的事物。按照温伯

格的说法，物理学中的美是“一种必然性的感觉……一种没有哪样事物会再改变的感觉。”

自然界似乎建立在模式（Pattern）上，而去看出这些模式就是艺术家和科学家的第一要务。“在科学中叫做美的，就是在贝多芬的音乐中叫做美的，”维斯可夫说：“事物都在雾中，而突然你看出一个连结来。它表达了深深在你心底的错综复杂；这错综复杂，把一直都在你内心的东西连结起来，而这些内心的东西以前从未被连结起来过。”

到了最后，科学和艺术间的联系也许只是动机的问题。当麻省理工学院冶金专家司密斯（C. S. Smith）对他那一行的历史感兴趣时，他很惊奇地发现，从艺术博物馆的收藏品居然可以找到最早期关于金属及其性质的知识。他这么写道：“慢慢的我看出来了，这不是巧合，而正是发现的本质，因为发现是来自被美感发动的好奇心，很少是来自实用的意图。”



## 第五章 自然的互补

我们不能在体验一首贝多芬的奏鸣曲时，又同时去担心脑中的神经生理过程。可是我们能从一种换到另一种。

维斯可夫喜欢讲一个故事，这故事是多年前两位诺贝尔奖得主，布洛赫及海森堡<sup>①</sup>之间的谈话。他们两位在沙滩上散步。布洛赫想探听海森堡的意见，关于某个和空间是数学结构有关的新理论究竟有何重要性。良久后海森堡的反应是，“空间是蓝色的，有鸟儿在其中飞。”

这故事特别的好，是因为它恰当地阐明了许多物理学家认为的量子力学中最深刻的贡献；量子力学是一个极为成功的体系，可以解释原子及所有由原子组成及构成的事物。它的贡献不是普通人说的发现：不是一个新

<sup>①</sup> 译注：布洛赫（Felix Bloch），1905—1983，原籍瑞士的美国固态物理学家，发展出核磁精密测量的新方法（核磁共振法），1952年诺贝尔物理奖得主。海森堡（Werner Heisenberg），1901—1976，德国理论物理学家，创立量子力学，以及应用这理论发现氢的同素异性体，1932年诺贝尔物理奖得主。

粒子，不是一种新的地外物体或事件，甚至于不是一个新理论或新方程。它是一种哲学上的展望及见解，能让现代科学家看到不计其数、隐藏在矛盾或诡论后面的东西，这些矛盾或诡论，使得现代物理学成为几乎无法了解、莫测高深的学问。

## 互补就是美

这个关于海森堡和布洛赫的故事，掌握了互补原理的真谛，即你在谈到某事物时，不能同时用两种完全不同的角度来讨论；在一种角度认为是很有道理的论调，在另一种角度来看则为荒谬。

互补的理念是，相反竟见的理念加起来以后，要比这两个理念单独值之和大得多。它们之互补，就如日与夜，雄性雌性一样。如果有完整而透彻的了解，互补是必需的，就如要造出自光，就需要整套所有色彩的光。（事实上，如果两种不同色的光加起来成为白光的话，它们就叫做补色。）互补就如科学中的阴阳一样，或者如物理学家沙格瑞<sup>①</sup>所说的，“这就是科学中一种特别的美，似乎完全相反的观点，最后在更广阔的视野中，变成二者都是对的。”

一说到“科学的果实也带有情感”时，互补就变成了每个人都喜欢谈论的话题。一点也不奇怪，生命就如大自然一样，充满了相当多未被解决的及不能解决的矛

<sup>①</sup> 译注：沙格瑞（Emilio Gino Segrè），1905~1989，原籍意大利的美国物理学家，费米的同事，曾参与曼哈坦原子弹计划。1955年发现反质子，为1959年诺贝尔物理奖得主。

## 第一部 求知的艺术

盾。譬如粒子是波，而波是粒子。你是飘浮在某个寻常星系不为人知的边缘人、总值为美元 98 分<sup>①</sup> 的宇宙星尘，可是你是你自己的世界的中心；对朋友及家人，你可能珍贵到无价。在某日，人性可能美到比所有最美的东西还美；可是在另一日，它似乎是极愚蠢的猛兽。而真相却是，我们既是美人又是猛兽，就如能量是物质的另一种形式一样。

丹麦物理学家波耳为互补原理之父，他用互补原理来驯服原子尺度下进行精密测量的固有限制。例如，在量子领域中，要准确测量位置时，就不能不在测量其运动（测量速度）方面牺牲些精确性，反之亦然<sup>②</sup>。波耳说粒子需要两种互补的描述，需要不只一个观点。无论你能不能同时去测量运动及位置，你也不能同时看到一枚钱币的正反两面。只要人们坚持以日常观点去看原子世界的事物（这些人是否有选择余地呢？）必然只能看到大自然的某一面向。“在我们对大自然的描述中，”波耳说，“目的不是去揭露所有现象的真谛，而只是尽我们所能去追踪经验中种种不同面向之间的关系。”

互补理念的影响，远超过不能做精确量度的理念，它也协助我们去解释波粒二象性。在 20 世纪初的时候，数十年来的争论及实验最后说服了物理学家，光必定是一种波，它能弯曲，能绕射过物体的边缘，就像海中的水波能绕过石礁一样。当两光束的光波互相增强或互相抵消时，能产生出明暗相间的干涉条纹。这时，爱因斯

① 译注：有人把人体的组成分析出来，把材料（碳、氢、氧、磷、钾、钠、铁……等元素）的总值加起来，总值为美元 98 分。

② 译注：这就是海森堡的测不准原理（uncertainty principle）。

坦出现了，证明光的来去就如一团一团的包裹，光是量子化的。这事看来似乎很矛盾，使得某位物理家忍不住下了这个评语，说自然界在星期一、三、五的表现是按量子论的，而在星期二、四、六则按波动理论<sup>①</sup>。

似乎对每个人说来，光不可能同时是波、又同时是粒子。一个粒子就像一颗子弹，明显是物质性的，大小有限，在空间和时间中占有某个位置。波就像运动一样，是连续而不具实体的形态。那么，如果波动理论是正确的话，粒子理论一定是错的啰？如果一个 is 真理，另一个按定义来说，必定是异端。

结果呢，当然两者都是对的。波和粒子是互补的两种描述光的性质的方法，就如位置和运动是粒子互补的两个象。非但光，包括所有的能量、物质及辐射都显出同样奇怪的二象性。电子能像光束一样地绕射，在经过晶体中一层又一层排列整齐的分子时，能显出同样的绕射模式。

### 换个角度看一看

互补原理中最不易为人接受的是，组成一个实体“全面”的各个面向之间，也可以不相容，就如波和粒子。互补还不只是物理学家对“从这方面来看/从另一方面来看”的华丽说法。当你朝一枚钱币的一面看的时候，你不能看到它的另一面，可是并不能说那看不到的一面就不存在，或那是荒唐的。波和粒子似乎是不相容的选

<sup>①</sup> 译注：物理学家还加上一句，这里没有提到，即“在星期天，则按二者自由行事。”

择，在同一背景中，它们不能有意义地共存，因此很难看出二者能描述同一物体。

对于互补的应用，奥妙在于知道什么时候该用哪个观点。就如罗伯·欧本海默所说的，“如果第一种思考方法似乎是适当的，那么第二种方法就似乎完全不合用。”

我们很难说“空间是蓝的”这个陈述，是对某个数学关系的恰当描述方法；但我们也不能说，某一套方程是“夏日时一个人在沙滩上踱步的感受”的适当描述方式。一枚粒子的表现愈近于粒子，它表现为波的程度就愈小；正如一枚粒子的位置愈清楚的时候，它的运动形态就变得更为模糊（反之亦然）。

在某些极端的例子，专注于一个情势的某一面向，真的能把这情势的另一面向给毁了。这理念已经很具体地在众所周知的海森堡测不准原理中表达出来。海森堡自己把这问题作如是的想像：如果你要同时量出一个电子最精密的位置及其最精密的运动，你就惹上麻烦了。要去“看”它，你一定要以某种光照上去。如果你用低能量的光以便不扰乱这电子的运动，这光的波长就会长到你无法精确定出这电子的位置。（举个比拟是，当你应当用一把细梳子时，却去用一把粗梳子。）可是从另一方面来说，如果你用高能量的光（细梳子），就能很精确地定出这电子的位置，可是这光会把这电子重重的一撞，因而改变了这电子的运动。

爱因斯坦从未喜欢过测不准原理，因为他不喜欢这样的理念：竟然有我们不能测量的东西。爱因斯坦看到的是知识上的死巷，可是波耳及其他人看到的却是哲学的宝藏。答案被设限的原因，乃是因为所问的问题不恰

当，维斯可夫说：“海森堡的原理只是发出警告的路牌：‘普通的语言只能应用到这里为止’，当你走到原子的领域时，就会遭遇到麻烦。”

换句话说，测不准原理可能来自隐喻的错误引用。在原子的范畴中，观念如“位置”及“运动”也许没有意义。如京斯爵士指出的，“要说出一枚电子占了多少空间，就如讨论恐惧或焦急、或天命无常等要占多少空间一样没有意义。”

因此，测不准性不像它的名字所暗示的那么阴森恐怖。它的意义只是，你不能又用化学步骤去分析你想吃的那一块蛋糕，而又吃下它。因为在你把你要吃的那一块蛋糕用化学方法分解、再去分析它的成分时，这蛋糕已经转化为其他东西了，再也不是可口的蛋糕。“在原子世界中，每次介入去做测量时，会造出……崭新而单一、不能完全预测的情势。”罗伯·欧本海默这么写道。

一个量子态，就如一位芭蕾舞者的金鸡独立舞姿或鸟的歌声，只有去看整体而不是看截出的一段，才有意义。并不是说你不能把这些事物分解成运动的分子或单独的音符，而是好比，你得分别在野外观察动物、在实验室里做解剖，这两种互补方式才是探索大自然的好方法。

## 千万不能定于一尊

这种天赋的二象性，意义在于，任何对大自然或人性抱持“只有一个象是真理，另一象是异端”这种观点，大约是错的，或者至少是危险的。正如维斯可夫所指出，

## 第一部 求知的艺术

被一个理念完全统治支配，不免会引起威权的滥用，无论是主宰中古世纪的宗教教条或者今日受到工业技术过度的影响。他写道：“任何时候，当一种思考方法被强力建立，声称它囊括了所有人类的行为时，就会把其他的思想方式都忽略掉。这种单一思考模式的威权，根源大约来自人类的一个很强的意愿：希望有一轮廓分明、处处通用的原则，能有对每一问题的解答。可是，因为人类的每一问题从来都有不只一个解答，因此，万能的答案并不存在。”答案并非“不是这个/就是那个”，而是“所有以上的一切”，或者至少是以上其中一个。

麻省理工学院电脑科学系的魏曾鲍姆（Joseph Weizenbaum）对于过分依赖电脑的危险，也说出同样的观点。魏曾鲍姆说，社会上对电脑的热衷，便是这种现象的征候，即把科学方式的思考“帝国主义化”。并不是说科学的思考方式是错的，只是说当它制压了所有其他的思路时，它就变得很危险。魏曾鲍姆注意到，“如果你想了解 20 世纪 30 年代的经济大萧条，而你只去看劳工部的统计数字，没有阅读像巴硕斯<sup>①</sup> 等人写的小说，只因为小说不科学，那就糟了。你从阅读小说中，应当能深刻学习到许多事。”

几世纪以来，人们争论着光在实质上是波还是粒子。今天看来，这些争论似乎多余，那就如同去争论空间是蓝色的或者它有数学性质一样。每个意见，在与它有关

<sup>①</sup> 译注：巴硕斯（John Dos Passos），1896—1970，美国作家，是一次大战后“失落的一代”派作家中主要的一员，也是社会史学家及激进批评美国生活品质的作家，1936 年出版《巨金》（The Big Money），写从 20 世纪 20 年代的经济大兴旺到 20 世纪 30 年代经济大萧条的故事。按：“失落的一代”来自美国诺贝尔文学奖作家海明威的话。

的脉络、背景中都对。这不是说真相落在这两个观点的当中某处。互补不是妥协。毋宁说它像一个盒子的各面，或者一个问题的不同面向。你看到的是什么，依你看的是盒子的哪一面而定，这就是为什么光（实际上，可以说所有的能量及物质）会在某种实验中显现出量子的性质，而在其他的实验中则显现出波的性质。

依此性质，互补能使人们容易接受认知及测量的天赋限制，接受我们能想像到的“看不见的世界”的限度。每一种看物体的方法只能应用到这么远。就如视网膜上被射入的光铭刻出影像一样，所有的模型及认知都被现实的描绘所压平，因而只能看到某一面向。那也像科学和艺术，正是探索及诠释这世界的两种互补方式，都能替另一种方式增添前所未见的生动元素。

显微镜能加强你观看的能力，可是代价是视野受了限制。如果你把活的生物放在显微镜下，你能更为清楚地看到它单独的细胞膜及细胞。即使如此，魏曾鲍姆指出，“要说你看见的就是这生物的实质，似乎讲不大通。”

接受互补原理的意义，只是去接受以下这个理念：一个观点是对的，相反的观点不见得就是错的——真理不是和异端对立的另一端（反之亦然）。如果人们因为某种原因认为科学是走向单一正确答案的单行道，这种想法会变成绝大的讽刺，就如玻恩有一回说过的话：“对我来说，把思想的规则松绑，似乎是现代科学给我们带来的最大福祉……对我而言，认为只有一种真理，而这真理就是我已拥有的那一个，这样的观念似乎正是这个世界的所有罪恶之源。”

## 第二部 发动者及震撼者

把物质和场看成彼此非常不同的两种素质，毫无意义……使我们的感官感知到的物质，其实就是聚集在相当小的空间中的能量。

——爱因斯坦和殷菲德，  
《物理之演化》



## 第六章 力和质量

如果你坚持非要力的精确定义不可，那你永远也得不到！

——费曼，《费曼物理学讲义》

所有渗入日常口语的物理术语中，没有哪个会比力学相关字眼渗入得更多。例如我们形容，那些逼迫人们去做某事的压力，或者使他们陷入永不得超生的境地的影响力。又如，我们谈起某人被某种兴趣所吸引，那些被施加压力去做出成就的人，被惯性留住的人，造成团体或组织中的摩擦的人。我们也把人描述为拥有磁性魅力、有说服力、使人厌恶，甚至于使人如遭电击。我们还提到被推动去做某事，或者被某地方、某人、或某工作所吸引。我们甚至于谈到做事有动力的人。运用这些力学相关字眼时，我们认为自己知道在说的是什么。

从另一方面来看，物理学家在说到力的时候，倾向于更为小心。罗伯·欧本海默注意到，即使可能是提出最多力学公式的牛顿，也从未了解力到底是什么。“这是不

## 第二部 动力及震撼者

是……从一地散布到另一地的东西，这一瞬间影响到下一瞬间的东西，从一点散布到另一点的东西？或者是一种整体的性质，一种互相远离的物体之间早已注定的交互作用？牛顿从未回答过这些问题。”

在牛顿的时代，关于力的最具哲学性之谜乃是它们如何从一个地方散播到另一个地方。一件东西怎样能隔开一段距离使出影响力？特别是这影响力要穿越虚无的空间？你怎样能不接触到一件东西，例如不以棒子去推，也不用绳索去拉，而使它动？

19世纪中叶的时候，英国的实验家法拉第想到了这样的理念：这些力可能是被一些拉伸在两个磁极之间（或两个带相反电荷的东西之间）、类似橡皮管的东西所传播；他甚至于猜臆，类似的东西也可以用来传播重力。苏格兰人马克士威把这些观念写成精确的公式，这些公式可描述电磁力场。场是围绕物体的一种外延而不可见的灵气或气氛，这种灵气使出了能影响东西的威力<sup>①</sup>。

今日的物理学家谈到力时，最常见的是把它当做某种特别的粒子所携带的力。在巨大的加速器里，当粒子对撞时，爆出的能量中常常出现这些力粒子。我们熟悉的光子，或者光的粒子，就是力粒子中的一种。可是谈到这些力粒子的时候，不禁会让人怀疑，物质的真实组成与这些能使它来来去去的拉扯，是否真的有任何不同？

① 译注：场（field）是一种能影响某空间性质的又抽象又实质的东西。能影响到电的性质的叫做电场，能影响到磁的性质的叫做磁场，等等。可是场只能影响某性质，不能直接影响到这某性质以外的东西，因此可以说是无法捉摸的；从这方面来看，场是抽象的。要是场带有能量，能量可转换成质量；因此，从这方面来说，场有实质。本段内文里的“云气、灵气”，作者用的字是aura，指抽象的气氛，如某人“神气活现”的神气。

## 力是什么？

1983年，这些力粒子中的两种——W粒子及Z粒子（携载了能造成放射性的弱作用力），在欧洲粒子物理研究中心<sup>①</sup>的加速器中发现了。这些发现在《纽约时报》头版新闻上登出，也在通俗科学杂志中广为介绍。可是对那些只熟悉风力及潮汐力、弹簧及锤子、火及化学、肌肉及喷气推进、摩擦力、磁力、重力及静电力的民众来说，至少可以说，这些发现都像是谜。有人读过描述这发现的文章后，完全挫折了；他告诉我：“真希望有人能用我的脚趾碰到硬物时所感觉到的力，来向我解释这些力的性质。”

不幸的是，虽然人们一定知道力能“做”些什么，可是对于力学却知道得极少。解释“什么”是件容易事，可是要把“如何”及“为什么”切出来，则需要技巧。

从某种意义说来，这个问题毫无意义：力的作用是像场呢，还是像粒子？是独立事件，还是空间的性质？这些都是以不同的思考方法做为基础的心像。要紧的是，真正发生了什么事？看呀，即使在物理学界，自从量子力学介入以后，力的术语也已经改变了很多。粒子间的力，现今的描述是“交互作用”。当两个粒子交互作用的时候，它们交换能量及（或）动量。这就是当你的脚趾碰到东西时发生的事。你早上吃蛋时所得来的能量（这

<sup>①</sup> 译注：欧洲粒子物理研究中心，法文简称 CERN，高能物理研究重镇之一，位于瑞士的日内瓦。官方英文全名是 European Organization for Nuclear Research；在科学界的英文全名是 European Laboratory for Particle Physics。

## 第二部 发动者及震撼者

能量以下列方式来自太阳：鸡吃了吸收了太阳能才长出来的玉米，因而能生下你吃的鸡蛋），被转换成神经的电能，这电能被转换成肌肉的动能。当你的脚趾碰到门槛时，一部分的这些能量就和门槛交换了。你踢门槛的能量把门槛的分子加热，而这门槛也踢回一些能量，其中一部分就变成使你感到痛的压力。

很明显的，力是很真实且重要的东西，可是如果以日常生活的隐喻去描述它，肯定会使我们更糊涂。力粒子并不到处去推其他的粒子，就如魅粒子不魅一样。严格说来，力是一种能量与动量的转移。两物体互相作用后，他们的情况就和以前不一样了。我们无法直截了当地描述出来期间发生了什么事。如罗素<sup>①</sup> 所说的，“力有如日出”，是解释某事物的方便法门。力并不强迫某事发生，就如太阳并不按照字面的意思“出来”一样。电“不是像圣保罗教堂一样的东西；它是物体行为的一种方式。当有人告诉我们，物体带了电，行为会如何，在哪种情形下会有电，那就等于把所有能说的都说了。”

换句话说，力其实是描述东西互相“联系”起来的一种方式。惯性、作用及反作用、相对的力、基本作用力……所有这些，都是要把宇宙的某部分和另一部分联系起来。结果是，我们如何去描述它们的方式，才是真正重点。

艾丁顿爵士以故事指出，不同的描述方法所能产生出的差异。有两条鱼，一条的名字是爱萨克，另一条的

<sup>①</sup> 译注：罗素（Bertrand Russell），1872—1970，英国数学家、哲学家，开创逻辑论。

## 第二部 发动者及震撼者

的，我们三维的动物也无能去感受我们空间中的曲率，而我们的空间囊括了时间这第四维。同样的，是时空的几何特性（由于质量而引起的“小丘”），造成我们以前把它描述为“力”（例如重力）的东西。

结果是，你确实能计算及测量出，爱萨克理论与亚伯特理论之间的少许差别。好几个主要的测试，都证实了亚伯特的理论。因此，你是选择以场、或力、或粒子、或几何来把自然界不同的部分编织起来，不同的描述方式当然会有差别。或者如牛顿于 1686 年在他的《自然哲学之数学原理》中所写的：

我被许多理由引导去臆测（所有自然界的现象）可能……依赖着某种力。由于这种力，物体中的粒子，基于到现在尚不明白的原因，能互相吸引，黏在一起成为有规则的形状。或者互斥而分离。这些力尚未为人知，因此，哲学家去自然界中寻觅它们，都无成果；可是我希望这里建立的原理，能替这一方面或是替自然哲学上更为真确的方法带来一些亮光。

## 星 的 拉 引

最令人惊奇的事是，当你加速去跑的时候，你的肌肉也在抵抗那即使是最强有力的望远镜都看不到的星系对你造成的影响。

——物理学家瑞德里，《时间、空间及事物》

从技术观点来说，物理遇到的最难解的力根本不是力。它是对力的阻力，或惯性。惯性可以阻止原有的运动发生改变。丢保龄球要比丢网球难得多，因为保龄球有很多很多的惯性。惯性是，不愿意被推助，要在你原来走的方向上继续走的癖性；或者你停住了，就留在那里不动的癖性。你可以把它称为习性，或常轨。可是不管怎样称呼，严格说来它不是一种力。牛顿把力的定义为：一种施于物体使它改变状态的作用。在这种意义下，力和惯性似乎是相反的东西<sup>①</sup>。

可是惯性的感觉就像一种力，例如当你坐的汽车突然停了，这个“惯性的力”会使你撞向挡风玻璃。力和惯性的来源可能不同，但后果却往往相同。

牛顿把惯性称为“天赋予物质的力”。物质愈多，很自然的，它所含的惯性也愈大。你能把摆置了餐具的桌布拉出，而不会把餐具拉掉，就是因为惯性把重的玻璃杯、餐具停留在桌上。伽利略观察出惯性，是非常聪慧的洞察。以前亚里斯多德（及其他）假定物体的自然倾向是静止下来，因此，行星及其他物体需要不断的推力使它们继续运行。亚里斯多德和伽利略的观点，区别在于：亚里斯多德认为物体的自然状态是静止的；伽利略则了解了，这种自然状态也可能运动。

亚里斯多德所做的极是极其自然的假设。毕竟车及人，即使自动溜走的溜冰鞋，如果没有有人或某种东西再供应些使它继续行动的能量，最后都会停下来。事实是，日常世界的“每一件物体”最后都会停在这个静止不动的

<sup>①</sup> 原注：当然，牛顿也认出这种阻力是一种很有威力的力，因为他有名的作用及反作用定律中提到过。

休止态。亚里斯多德不了解的是，在这个倾向于静止态的后面，有内藏的力：摩擦力。（如果你把摩擦力也看成东西的自然状态之一，那么亚里斯多德也算是没错。）

### 惯性的成因仍然是谜

许多人不了解，要使物体停止，需要的能量与使它动的能量一样大。去远处行星探险的太空船，非但要携带足够的燃料把它送到要去的地方，还要带足够的能量使它能煞车，再缓慢降落在行星表面上。如果没有摩擦力，物体会一直向前进，直到被某物把它停住或使它转向回来。伽利略把这种物质的倔强性质视为惯性。没有永动机的唯一原因，就是因为有别扭的摩擦力，在宇宙到处都有。即使在太空中也有，那里的物质密度约为每立方米一个原子<sup>①</sup>。

牛顿后来把他的理念扩充，不避讳包括下面这个观念：任何不做直线运动的物体，都是因为有某种力使它改变方向。他了解到如果没有力把月亮向地球拉，月亮就会做直线运动，毫不夸张地沿着一条切线飞出。这个拉力当然是重力。可是让物体倾向于直线运动的力是什么呢？这个使月亮（或者任何物体）要沿切线飞出的力，或者当你拉高溜溜球的旋转，突然把手一放，使它直飞出去的力，究竟是什么呢？真相是，没有人知道。“没有人知道使行星做直线运动的理由是什么，”费曼说：“没有人找到为什么物体会按惯性而行的原因。我们不知道

<sup>①</sup> 原注：造成光的是波动中的电场及磁场，它们很接近永动机。当光在你的视网膜上铭印成像的时候，它可能已经旅行过数百万光年的距离。

惯性定律的来源。”结果是，习以为常的惯性仍然是自然界最深晦的谜之一<sup>①</sup>。

可是惯性的来源，还是有线索可循。这线索来自有名的故事（但这故事的典故存疑），说伽利略爬到意大利比萨的斜塔上，丢下两颗球，一颗重的，一颗轻的，两颗球几乎同时掉到地面。即使这故事是假的，它的教训却是真的<sup>②</sup>。

科学博物馆多有示范这实验的装置。他们把一枝羽毛和一枚钱币放在抽成真空的筒中。去逛博物馆的人可以看到羽毛和钱币同时掉到筒底。这在空气中当然不行，因为空气对表面积大的羽毛，阻力比对表面积小的钱币来得大。可是你能展示个惊奇的实验给小朋友看。首先你把一小块石头和一张纸同时掉下，看哪个先着地。（当然是石头。）然后再做一次这个实验，但这回是把纸揉成紧紧的纸团。这次纸团和石头会同时落地，因而证明重量并不影响下落。当然，“人愈重，跌得愈重。”可是没有人说因为重，就会跌得快些。以上这个实验大约在比萨塔上做不出来，因为在塔顶和塔底之间的空气垫厚得多；在你的起居室中一定做得出来，而在真空中一定更可行。

为什么如此？重的物体和轻的物体在真空中下落的

<sup>①</sup> 译注：这里要把惯性是一种“力”释疑一下。牛顿力学定律中有：质量( $m$ )乘以加速度( $a$ )等于力( $F$ )。现在把这方程改一下，变成 $F - m \times a = 0$ 。这么一写，质量乘以加速度就等于一种把“力”抵消的“阻力”了。这种阻力来自质量，或惯性。

<sup>②</sup> 译注：伽利略的确提过这个实验，可是大概只是用来论证，没有真正去做过。有人计算过，如果把一颗10磅重的球和一颗一磅重的球同时从比萨斜塔上落下，因为空气阻力的原因，10磅重的球会比一磅重的球早零点三秒左右先着地。零点三秒的时间差很容易看出来。因此，如果伽利略真的去做了这个实验，可能会产生反效果。

速率一样，原因很简单，因为虽然重力对重物的拉力大，可是重物的惯性也大，因此阻力会大些。这就解释了为什么较重的钟摆和较轻的钟摆摇摆的周期一样（假定钟摆的长度一样），为什么重的物体（例如地球轨道上的太空梭）绕地球的速率和轻的物体（例如乘坐在这太空梭内的太空人绕地球的速率也一样，因而使太空人失去重量感。这是因为地球对太空人及太空梭的拉力，正好被它们由于惯性而想要沿切线方向飞走的力所平衡。因此，如果你在绕地的太空站中松手放开一枝铅笔，你不必担心它会掉到地上。它要么继续绕着轨道走，要么“浮”在空中，原位不动。

### 马赫原理

爱因斯坦觉得重力和惯性能如此完美地互相平衡，这巧合实在是很有趣的事。事实上，他根本不接受这是个巧合。他去寻找这巧合的原因，因而下了这个结论：重力不是一种力，而是我们生活的空间中，一种看不见的曲率。这就是广义相对论的基础。巴涅特说，跳跃到这个非凡洞察的“跳板”，别无他物，就是“牛顿的惯性定律……这定律写出：静者恒静，或者以直线运动者恒动，除非外力迫使它改变。”

即使点燃了核弹（也点燃了每枝火柴、蜡烛及恒星）的方程  $E = mc^2$ ，亦是以惯性定律为跳板。这方程最先是在标题为《物体的惯性是否由它内含的能量所决定的？》的论文中。因此，惯性非但是神秘的，它既丰富又深刻。

事实上，惯性很可能是在宇宙中所有物质的拉力产生出来的。果真如此，那么刮伤你爱车的保险杠的，不仅仅是车库中那根可恶的混凝土柱子，而是宇宙中所有星球的重量。真的，如果我们走一步，或把汽车加速，发射火箭到太空去，我们也同时把所有的星星都推动了一点点。

这个可爱的理念在物理界被称为马赫原理，以纪念奥地利物理学家兼哲学家马赫<sup>①</sup>。这原理大约于百余年前提出。这原理假定对于变化的阻力，来自宇宙中所有物体和所有其他物体的重力交互作用。每一粒子、每一恒星、每一朵海棠花、每一辆汽车，都被每一个其他的物体的重力所吸引，成为厚密而互相连锁的网络。当你尝试去推一座沙发时，你就扰动了整个被重力所纠缠住的宇宙。难怪要动还不太容易。

直到现在，还没有人能确定，马赫原理与爱因斯坦无比成功的广义相对论是否相符。按照爱因斯坦的理论，时空是一片致密的织锦，在极重的物体附近能被扭曲。请想像一只大象坐在水床上，你大概就知道，在质量很大的恒星或黑洞边上的时空是怎么一回事了。如果马赫原理是对的话，质量极大的旋转体在动的时候会把时空带着跑。换句话说，如果大象打个滚，水床的象皮表面也会被带着滚。

1997年末，终于在比大象大得多的物体——塌缩的恒星或黑洞边上，看到时空被拉扯的证据了。如果真是

<sup>①</sup> 译注：马赫（Ernst Mach），1838—1916，奥地利多才多艺的物理学家、哲学家，他提出的马赫原理（Mach principle）、经济原理（科学家要用最简单的方法达到结果，并排除不能被感官察觉的东西），影响了包括爱因斯坦在内、好几代的科学家。

## 第二部 发动者及震撼者

如此，对马赫说来真是好消息。按照意大利物理学家司得拉（Luigi Stella）的说法，这个发现“替我们证明了（爱因斯坦的重力理论）与马赫原理是相符合的。”司得拉是声称看到了塌缩的恒星边上、所谓“座标曳引”（frame dragging）现象的人。

对我们这些想要寻觅与宇宙其他部分有一些关系感的人来说，这也是好消息。就如一只被蜘蛛网擒获的苍蝇一样，他的挣扎会牵动整个蜘蛛网，我们做的每件事对整个宇宙多少也都有些影响吧！

### 打回去

你被回去的力不能比你打出的力更重。你只能得到你给出去的。你不能触摸任何东西，而不被这个东西所触摸。

——休伊特（Paul Hewitt），《观念物理》（*Conceptual Physics*）

我还没有回答我朋友的这个问题：“我的脚趾碰撞到东西时感觉到的力。”从某种意义说来，他感觉到的力是宇宙中所有物体联合起来的重力牵引——惯性。可是惯性不被认为是有力量。而当你的脚趾碰到门槛时，门槛还不单单只抵阻了一种运动的改变，它真的还向回推。脚趾会感到痛就是证明，一定是某物在脚趾上施了力。

事实上，你能在地球上行走的唯一原因是，在你的脚推压地球向前走的地方，地球也向你回推。你开的车

能走的唯一原因，也是因为在轮子压路前进的地方，路也回压轮子。地球不会向后动的原因是，地球的质量要比你的质量大许多许多。

这就是牛顿有名的作用与反作用定律的实质：“当物体施力在另一物体上时，这第二个物体也施加大小相同、方向相反的力于第一个物体。”力总是成双的，有作用力，就会有大小相等、方向相反的反作用力。作用与反作用定律能把火箭送到月球上去，甚至于送到太阳系之外。如果你把气球吹满了气，把它放开，让它在房中到处乱飞，那是因为被气球膜压出的空气推动了气球，使它飞行。同样的，一枚在来福枪中射出的子弹能把枪反弹，这后座力大到甚至能把你击倒在地上。

没有摩擦力时，反作用力就更为明显了。当你用力推门的时候，这门并不明显回推你，因为摩擦力使你与门多多少少都停留在同一地点上。可是如果你穿上轮式溜冰鞋再去推门，你很容易就会被这门向你推回的力把你推后退。而如果两个穿了轮式溜冰鞋的人互相把球丢来丢去，他们之间的距离会愈来愈远，因为每一次他们向前丢球的时候，这球也会把他们向后丢一点。这个大小相等而方向相反的方程，既能应用在人们身上，也能应用在宇宙及机械的场合中。地球把一只苹果向地球拉，而苹果也把地球向它拉去，就如光子能拉也能推，这种光子的拉推就是电的吸力及斥力的原因。

这宇宙级“一报还一报”的游戏有这个奇怪的后果，即你被打回的力不能比你打出的力更重。或者如物理教师休伊特喜爱在他课堂中示范的一样，你无法以很大的力打一张纸。尽管大力打好了，可是你能感觉到的只是

轻敲。因为这张纸无法以如 50 磅的力回打你，因此，你也无法真以 50 磅的力去打到它。

## 重力就是一种赝力

当然，“作用”隐含力的意义，就如抵制改变的阻抗也是一种力。可是，是哪一种力在做反作用或阻抗呢？我们对“力”这个名词的用法很不严谨。经常人们说他们被迫去做某事<sup>①</sup>，因为某人做的事使他们不得不反抗。习性的力量就如惯性一样。物理学家认出有一类的力为“虚构的”（fictitious）或“赝”（pseudo）力。赝力就是那些在某一坐标系中看上去似乎是力，而在另一坐标系中却不是的力。就如某人可能说他受（力）逼迫去做出某种表现，而对有较广阔视野的人来说，这人看上去仅仅是依循他正常的行为模式。也就是说，你是否真正被迫去做某事，全依赖观点而定。

举例来说，假定你乘坐一艘太空船，这艘太空船正在加速以便高速走向另一行星。

突然你的钱包掉下来了。如果你的太空船不加速，只在轨道中荡游，那么你的钱包会浮在空中。可是因为这太空船正在加速，太空船的地板很快地就赶上了这钱包，使得这钱包看起来朝地上落。

从坐在某地的人的观点，例如某人坐在你飞过的月亮上，对他来说很明显的是，这钱包相对来说是静止的，而这急速而行的太空船冲上去托住它。可是对那些太空

<sup>①</sup> 译注：英文的被迫是“forced”（被动式）这词，中文只能说被迫或受到压力，不说“受力去做某事”。

## 第六章 力和质量

船上的人来说，看起来似乎有外部的某种力（重力，或者也许是磁石），把这钱包吸向地板。

不管怎么说，这钱包最后会击中地板，或者地板击中了钱包。物理学家崔费尔（James Trefil）指出：“力是否为质量，就变成了语言上的问题。对任何物理效应来说，是完全无关紧要的问题。”

这个下落的钱包就像爱因斯坦用来建立相对论的那些“臆想实验”（thought experiment）——相对论并不是说“每一件事都是相对的”，而是指不管你怎样看这情势，物理上的后果都一样。按照爱因斯坦的看法，重力就是一种质量。可是这并不能阻止月亮去绕地球转，或苹果下落地面。

就此而言，从结果来说，磁就是一种完全“相对”的力。换句话说，磁总是被流动的电荷产生出来。磁铁的磁性来自无数自旋的电子都绕着同一方向转，就如地球的磁场是由地球深深的内部金属核心中流动的电流产生出来的一样。每次有电流流过电线，就在线的周围产生了磁场。可是，如果你能设法跟着一枚电子走，这磁场就似乎消失了，就如你坐在一架飞机的座位上安然看飞机上放映的电影时，这架时速 500 英里的飞机就“不见”了一样。

磁是电的相对效应，就如在无风的日子吹在你脸上的风，是坐在时速 60 英里的快艇里的相对效应一样。〔事实上，船员把这种风称为“表观风”（apparent wind）。很恰当的名字，和物理学家的质量一样。〕

## 四种基本作用力

喔！喔！喔！你们这几位多采多姿的家伙，  
你们不让夸克以实体出现，  
你们诡计多端，可是现在我们知道了，  
你们把我们的原子核黏在一起。

——佚名，威尔兹克（Frank Wilczek）及狄凡（Betsy Devine）吟撰

以四种所谓的自然界基本作用力，来了解反作用力、相对力，甚至于质量，那就很容易了。这四种基本作用力是：

重力——载这个力的粒子是尚未发现的重力子（graviton）；

强作用力——被胶子（gluon）所载，胶子把核粒子胶住；

电磁力——被光子所载；

弱作用力——被W粒子及Z粒子所载。

最后这两种作用力已经被统一了，属于共同的家族。有时把这家族称为电弱作用力（electroweak force）。

这四种（或三种）作用力不是随意挑选出来的。这种区分法，来自一长串、有时相当惊人的发现（发现这些力如何运用、如何相联系）。例如有很长一段时间，人们以为重力被一种相反的、叫做轻浮力（levity）的力所平衡，这种轻浮力能使轻者上升（如烟）<sup>①</sup>。要等到富兰

① 泽注：这是十六七世纪以前的想法。

克林<sup>①</sup> 展现天才手法，大家才了解到屋中能产生小火花的静电，也是闪电的组成；而要等到 19 世纪，才认识出电力和磁力是同一东西的不同面向。难怪去寻求所有作用力的统一，对物理学家来说有这么大的吸引力。这趟追寻的成功机会很大，因此我们很自然地假设，这种追寻会继续下去，未来必会揭露出谜题的解答。

## 重 力

最为人熟悉的力当然是重力。它是把我们黏在地球表面的力，它把所有构成地球的成分都朝地心拉去，使地球成为球形。重力非但稳住我们的家具，使它们不至于浮飞掉，也把空气、云、甚至于月球稳住不至于逃开。重力使雨及垒球下落，也是令我们早上为什么要使力才能起床的力，是我们站着时非要抗拒不可的力。在我们成长时，重力把我们向下拉，因此决定了我们的形状，无论我们是树、孩童或大象。重力是推动潮汐、气候及洪水最主要的作用力。即使在黑洞的底部也有重力。

把力“统一”的最伟大洞察来自牛顿，他看出使物体下落的力和控制天上物体形状的力是同样的力。重力真是无所不在，它贪得无厌。电荷能找到伴侣而变成中性，可是重力绝不松手。原子核可吸引的电子，数目有限制；可是一枚星球能用重力吸人的物质，数量却没有限制。

<sup>①</sup> 译注：富兰克林（Benjamin Franklin），1706 – 1790，美国开国元勋、科学家，证明闪电是电的某种形式。

## 电 力

在公元前 450 年，一位居住在亚格里琴托的恩培多克利斯<sup>①</sup> 认为，地球的组成是粗粉，以水胶在一起搓成。如果把他说的粗粉代之以物质，水代之以电，可以说他差不多对，也可以说他几乎完全对。平时并不容易注意到电的存在，除非它在闪电雷雨中一闪而现。可是电力才是物质中真正的“东西”。

当你的脚趾碰到门槛时，其实是脚趾里的原子的外层电子碰到了木头的原子中的外层电子，因此，电是当你的脚趾碰痛时“感觉到的力”。甚至当你的脚趾碰到浓粥时不会感到痛，也是因为电，因为电是所有物质性质（例如木之硬、玻璃之透明、黄金的金光）的源头。在原子核外围嗡嗡转的电子，其交互作用正是所有现象之源，从火到思考，从烹饪到消化，从尝味到嗅味，从水的溶解能力到肥皂的清洁能力。电是能使物体互相胶住的力；它造成水能沿着树干向上爬及血液能在微血管中流动的毛细作用；它甚至是摩擦力之源。

如果你思考一下，运动中的电荷居然能产生出另一种力“磁力”时，也许会对电力更加钦佩。而当电和磁并为一体时，它形成了一连串的交变波，在空中以每秒 30 万公里的速度飕飕而过，成为所有的辐射，包括了可

① 译注：亚格里琴托（Agrigentum），在意大利的西西里岛上，今名为 Agrigento，为希腊古文化中心地之一。恩培多克利斯（Empedocles），公元前 490—430，为希腊政治家及哲学家。

见光、热、微波、无线电波及电视讯号、X射线及 $\gamma$ 射线。

## 强作用力、弱作用力

强作用力和弱作用力一直都是藏在原子宝瓶中的神怪，直到最近才跳出来。强作用力有时称为核力，因为它的领土在原子核中。它的作用是产生核反应，最重要的是，强作用力是把原子核中的成员拘束在一起的力。如果没有强作用力，就没有除了氢（只拥有一个质子）以外的元素；就不会有行星，也不会有生命。强作用力替核反应器、核弹、太阳及恒星加油，使它们产出能量。

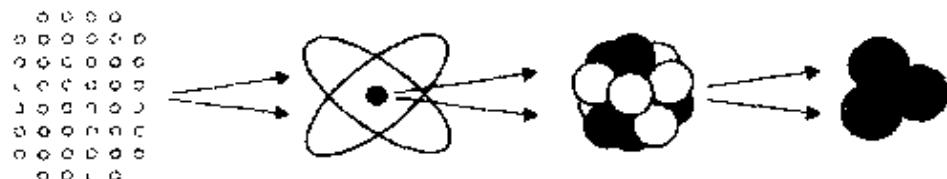
当物理学家朝原子核的核心看得更深时，他们发现核力大概是一种很复杂的作用，来自另一种更基础的力，叫做色力（见第一章第25页注释②）。可是这种色力与可见光的颜色毫无关系。色力是一种由胶子所载的力，在夸克之间作用。终究说来，把夸克、把原子核胶合起来的力就是色力。

谈到弱作用力的时候，说它是放射性的推动力就够了。放射性的后果当然不小，它使地球变暖到能维持生命的程度，而它引起的随机突变协助了物种的演化。最近已经显露出，它和电磁力有共同的根源。这共同的根源已经在数学绝技中展示出来。这使人联想到几世纪前，马克士威把电和磁统一起来的工作。指向欧洲粒子物理研究中心发现W粒子及Z粒子（携载弱作用的粒子）之路的，就是最近完成的电弱理论。

## 力非常挑剔

朝这些力很快地一瞥，立刻就能告诉你，为什么物理学家会这样对统一感兴趣。这些力之间似乎一点都没有关系，例如，重力只有一种表现方式，它把任何物体都拉向其他的任何物体，这就是为什么宇宙中有这么多球形的东西。这也解释了为什么我们能这么容易注意到重力。

其实重力要比电力小上亿万又亿万倍。然而我们通常注意不到更有威力的电力，因为在宇宙的大部分，正负电力相平衡，因而不带电；也就是说，电力和重力不同，电力能吸能斥。整个宇宙各处（特别是相当阴凉的地球表面）的每一负电荷与每一正电荷都联系在一起中和掉了，形成不带电的物质。当你把这类电荷摩擦掉（例如脚在地毯上磨来磨去），再让它们合拢时（例如手触到金属门把），你能造成一些小火花。当巨大的雷雨云被风朝上吹时，和雨点互相摩擦，就像你的脚在地毯上摩擦一样，能把大量的电子摩擦掉；又当这些电荷合拢时，就造成了更大量的火花，我们称这大火花为闪电。



物质由 原子中含有 原子核中含有 质子(中子)由  
原子组成 原子核及电子 质子及中子 三枚夸克组成

物质结构的不同层次

在其他方面，重力和电力（或电磁力）非常相似：与强度随距离而减的方程一样，至少从理论上来说，两者的影响都可以远达宇宙的尽头。

另一方面，两枚夸克相离愈远，神妙的色力强度似乎可无限制地增加，因此夸克被拉回的力就愈猛，结果是夸克永远地陷在一起。科学家从来没有发现过自由态的夸克（也许永远不能有）。

更奇怪的是，这个远不太为人了解的色力，在极近距离时似乎就完全消失了，因此能让夸克自由地在紧紧封闭住的囊袋中游荡，东敲西击。为什么色力的行为是如此，仍旧是极热烈研究中的主题。有些物理学家把这种古怪的行为，归因于胶子“真空”的性质或者虚无空间的性质<sup>①</sup>。

各种作用力非但有差异，效应延伸的距离也大不相同。例如，地球使出的重力能影响到远处星球的惯性（反之亦然），但效应非常狭隘的弱作用力，只能延伸到质子大小千分之一的距离。

重力是宇宙中最强的，也是最弱的力，端视你选取的距离及尺度大小而定。对宇宙、人及星球来说，重力是主要的力；可是对原子甚至于小蜘蛛，一点都不会察觉到它。对重量轻的东西来说，从小植物到分子，管辖它们的力被化学作用力取而代之，诸如表面张力、内聚

① 译注：我们对真空的观念是虚无一物，即什么也没有。可是在粒子物理中的真空不然。为什么在高能粒子相撞击时能产生出粒子—反粒子对？物质不能无中生有，这些粒子对是从哪里来的？粒子物理的假设是，真空中已经有粒子—反粒子对的存在，它们是零能量的粒子—反粒子对，因此没有惯性，也没有重力，不受重力影响。可是它们的的确确在那里。在高能粒子的撞击中，这些粒子对得到了能量，就脱颖而出，成为真的粒子对。粒子物理中最困难的主题，就是去了解这个真空的特性。

## 第二部 发动者及震撼者

力、毛细作用，而这些力在本质上都是电力。在原子核内，强作用力是主要的力，可是一离开原子核，强作用力就消退到几乎等于零的地步。强作用力拥有很强、可是有效距离很短的力，要到两核子相当靠近时才会有作用。

把事情弄得更复杂的是，作用力非常挑剔。不同种的作用力只在某种东西上才有效应。带电力的粒子只能影响到有电的东西。胶子只在夸克之间及其他胶子上才能施出色力。弱作用力则只同左旋的粒子及右旋的反粒子有作用。可是重力却能影响到每一物体。重力之源是质量，而任何东西都有质量，即使是以能量形式出现，也有质量。（这就是爱因斯坦的方程  $E = mc^2$  的意义：能量  $E$  等于质量  $m$  乘以光速  $c$  的平方。）因此重力可以使掠过恒星的光束弯曲。就是这个重力的普遍性质，让爱因斯坦看出它是一种所有（弯曲的）空间的伟大几何。

### 时空中的皱纹

在物理学家的处方中，组成世界的成分已不再含有粒子了，而只含有几种场。

——温伯格

某种意义上，弯曲的时空仅是围绕着一件物体的重力场而已。场是从粒子（或星球）延伸出来的、在空间中的一种张力，就如蜘蛛网的辐丝，把它的影响分布到其影响所及的所有其他粒子，甚至能与真空吸尘器一样，吸入其他不小心靠近的粒子。“场”是用来克服“反对牛顿对重力的理念”的观念。牛顿从来未回答过这些问题：

重力怎样伸手去抓住苹果及月球？力是怎样从这里传播到那里去的？场的观念就消除了对“超距作用”（action at a distance）的烦恼；它暂时把距离消除掉。场把粒子的影响力延展到它本身之外的空间去。

开始的时候，力场仅是一种观看力的行为的有趣方式。也就是说，如果你把铁屑撒在磁石附近，它们会排列成和磁力场相应的形状。同样的，行星绕日的方式也是按太阳的重力场排列而成的。

场的理念能把力转换成几何，使它们变成这景色中不可缺的一部分。例如，如果你有一枝看不见的管，而这管在好几个地方弯曲了。你朝这管的内部丢入球。你可以说，这球被管壁的“力所迫”，沿着弯曲的地方滚动。可是你也可以说，这球沿着这些弯曲的途径滚动的原因，是因为空间弯曲。人们把大型的力场（如重力场）的影响称为空间的曲率，而有时把小规模的力（如电磁力）称为让空间起了“皱纹”（wrinkle）。

无论如何，力场是一种在大脑中有用，在数学上也有用的理念，让人们可以想像出作用力是如何运作的。它是一种对力的效应的描述，能叙述出在空间每一点这力的方向及强度。

力场的功能还不止于此。力场可以自己存在，不依存创造它们的粒子。行星或一枚电子是一种力之源，这力创造出围绕它的空间中的张力（场）。可是即使这行星或电子不存在，这力场仍旧可以存在。当一枚在太阳中的电子扭动时，它在附近的电场中产生出一些皱纹，这些皱纹以每秒 30 万公里的速度前进，约 8 分钟后这皱纹在地球上某地方的电场中也产生出一些皱纹，这些皱纹

如果被探测到，则成为“光”。皱纹从一处到另一处的旅行需要一段时间。光从太阳来到这地球需要 8 分钟的时间，如果在这 8 分钟之内太阳不亮了，我们还能在这 8 分钟之内看到它。当一颗恒星爆炸了，多年后它的重力场仍然徘徊不散。力场有它们自己的生命。

### 基于鲍立不相容原理

在通往“力也是粒子”这理念的路上，提出“重力场可以是一种分立的实体”的观念，是很重要的第一步。下一步就是量子力学。它来自这个发现：所有的物体，包括能量或力场，都是量子化的，也就是说，出现时是一团、一团的。力粒子和光子一样：光子其实是一小团电磁场，以光的速度从这里走到那里去；运动时，光子携带着它的量子化的动量及能量。力场和力粒子之所以是看似不相同的东西，那是因为我们缺乏适当的想像力。

无论如何，这个力粒子的影像已经根深蒂固地栽种在物理学中了，特别是在科普写作中。你经常读到，粒子和别的粒子“互相交换”，就如穿了直排轮鞋的两个人在“互相交换”球一样。按照这个影像，这个来自交换的力，就是使这些粒子互相离开的推动力。可是这个影像却不能解释吸引力。在这种情况下，两枚粒子被拉近的原因是因为它们“分摊”了同一力粒子，就如两个人在共用一把伞时就会靠得很近一样。语言的交换，即谈话，能使人与人之间互相吸引，或相斥（话不投机）。许多化

学键就来自原子互相分摊电子<sup>①</sup>。

如果可以把力看成粒子，那么，物质和这些拉拉扯扯之间，有什么不同的地方？“东西”和“影响”之间是否不同呢？你能否把演员和演技分开，即把人（或粒子）做的事与做事的人（或粒子）分开？爱因斯坦认为这两者之间的任何区别都“似乎是人为”的。今日的物理学家用把所有的东西，都以场来描述。

可是物质和力之间毕竟有个很重要的不同点，而这个微妙的不同点就使你的脚趾碰到硬物时会感到痛。物质的粒子（如质子、中子及电子）顺从鲍立不相容原理，这是原籍奥地利的瑞士物理学家鲍立发现的。原子的电子壳层观念也植基于鲍立不相容原理，因为这原理说没有两枚电子能占有同一量子态。例如，如果在某一壳层中所有的空间或量子态都装满了，那么再加进去的电子只好占用另一个空壳层。鲍立不相容原理解释了为什么不能压缩物质，因此它是真正的“原理”，这原理使物体坚实，也是使你的脚趾碰到硬物时会感到痛的原理。

同一原理（即熟知的电子压）使恒星不至于塌缩。当一颗恒星的质量大到使重力大于电子压的地步时，这恒星确实塌缩了：电子被压缩到原子核的内部，与质子汇合形成中子，因而形成一颗中子星。如果到了连核力也不足以抗拒重力的地步，这星体会继续塌缩下去（至少在理论上如此），形成我们称为黑洞的东西。

① 译注：举一个例子：氢原子的外圈有电子，可是要有两个电子才能把这个轨道填满。当然也可以再填进去电子，可是那样会把这氢原子变成带负电。但是如果另有氢原子来了而形成氢分子，在这个氢分子中的电子为这两个氢原子所分摊，因此每个氢原子都有两个电子。氢分子又不带电，氢原子也都拥有两个外圈的电子，因此很稳定。这种电子的分摊，形成了一种化学键，叫做共价键（covalent bond）。

可是力粒子并不顺从鲍立不相容原理。你步入一道光束的时候，脚趾不会感到痛。力粒子追随一种不同的统计法，叫做玻色—爱因斯坦统计，这就是为什么力粒子被称为玻色子<sup>①</sup>的原因。大多数的物质粒子则顺从费米—狄拉克统计<sup>②</sup>，因此这类粒子也叫做费米子<sup>③</sup>。

## 力与物质的边界又模糊了

1995年时，物理学家因为制造出一种广被视为新形态的物质——单个的“超原子”，而把这个分类法搞糊涂了。这超原子是以力粒子方式凝出的单一物体。这是在科罗拉多大学一只胡萝卜大小的瓶中创造出来的，瓶中的温度是宇宙最低的，离绝对零度只差10亿分之17度（-273℃）。在这低温下，这个称作玻色—爱因斯坦凝结体的物质存在了20秒之久。

一点不奇怪，这个奇怪的态在如此极端的温度才能存在，就如爱因斯坦的相对论在极端的速度，才能明显看出来。物理定律经常只有在极端的情形下才失效，这使得未被探测的范畴打开了一丝裂痕，让科学家能够窥

① 译注：玻色子（boson），具有整数自旋的粒子。同种玻色子倾向于聚集在同一量子态，并不服从鲍立不相容原理，故玻色子亦称合群粒子。光子与各种介子都是典型的玻色子。

② 译注：简单说来，玻色—爱因斯坦统计（Bose-Einstein statistics）中，每一量子态（或空间）中的粒子数目没有限制，而在费米—狄拉克统计（Fermi-Dirac statistics）中，每一量子态（或空间）中的粒子数目最多为一。理论上说来，顺从玻色—爱因斯坦统计的粒子可以都挤在最低量子态中（即能量最小的量子态），叫做玻色—爱因斯坦凝结体，可是自1910年代预测到这种凝结体以来，一直都没有发现这凝结体，因为所需的温度极低。直到最近才能做到这么的低温，见内文下一段。

③ 译注：费米子（fermion），具有半整数自旋的粒子。一个量子态质多只能被一个费米子占据，亦即费米子服从鲍立不相容原理，故亦称为不合群粒子。电子是典型的费米子，夸克也是。奇数个费米子组成的粒子仍为费米子，例如质子，偶数个费米子组成的则为玻色子，例如介子。

视。

在世界上的几个粒子加速器实验室里，物理学家仍然热烈去寻觅所谓的夸克—胶子离子体，这是一种物质的极热态，在这温度下夸克与胶子凝成一种太初宇宙浑汤，在这浑汤中，力与粒子模糊不清，无法区别。物理学家认为物质是在这种情况下形成的。

与掠过物体的光投出的模糊影子一样，力及物质的分界线似乎也模糊不清了。



## 第七章 量子跃迁

简言之，这就是量子的神秘处：当你观测到一枚电子的时候，它是一枚粒子，可是在观测时间以外，它却以波的形态延展开来。与电子相比，甚至连鸭嘴兽也不特别<sup>①</sup>。

——冯贝尔 (Hans Christian Von Baeyer)，《驯服原子》

19世纪20年代早期，量子理论的引进，标志出物质科学中最大的革命之一。我们再也不能用以往认知物质世界的隐喻，来对这门学科进行恰当的描述，因为从以前借来的隐喻都不合用。对量子事件的想像上无能为力，使得大众产生了一种概念：原子内部模糊不清、不可测、阴森、不确定。但相反地，大多数物理学家都同意量子理论给科学带来的是与这些想法相反的东西——既具体、又清晰。

量子力学是什么？就最简单的意义来说，它是量子

① 译注：鸭嘴兽是澳洲的稀有动物，是唯一卵生哺乳动物。

化事物的力学。力学是以能量、力及运动来解释事物如何运行的学问。在 20 世纪以前，牛顿力学，也称为古典力学，能把事物如何运行解释得相当好。你我都知道典型的牛顿古典系统：撞球相撞后错开的运动，其路径、能量及动量都能很精确地测定出来；绕日的行星系统则依重力定律运行。在拉塞福“看”到原子核之后，人们也把原子看成同类的行星系统：电子绕原子核运转，就如行星绕日运转一样。而原子的行为则如撞球；即使是很“小”的撞球。

可是牛顿力学的中心特征是：每件事物都是连续的；在空间中物体很平滑地流动着；能量能以无限制的数量来来去去；光是连续上下摆动的波；任何东西都没有极小值。

但量子力学把这些全都改变了。现在我们知道，能量、光、力及运动（及众多的其他东西）都是量子化的。你不能要任何数量的东西；你只能有某极小值倍数的东西。量子力学的意义是，所有次原子事物的质（以此类推到万物），都是可以很精密地去“定出量”来的。在某种意义下，这就能使所有的东西都很整洁，甚至于要比大众的意识还要“科学化”。可是这也等于说，牛顿宇宙中的平滑连续性就此没有了。现在大家看到的自然，是结结巴巴的或颗粒的，从一数量跳到另一数量去，从来不横越这两者之间。

### 不确定性就此降临？

再者，这就引导到很不安的不确定性，即在这两个

## 第二部 发动者及震撼者

量子态“之间”，在这些量子跃迁“之中”，发生的事到底是什么？事实是，你无法精确地知道在两个量子态之间发生了什么事。至少以人类的语言来说，两个态之间并无“过渡时期”。你能有一，或二，或三个单位的能量或动量（或光、力、物质），可是没有一个半，或者两个半单位的这种东西。在量子力学世界中（当然这就是我们的宇宙），每件事物都以量子跃迁的形式发生。

换句说话，量子力学看上去是模模糊糊还是清清楚楚，就要看你专注的是两个互补性质中的哪一个。如果你专注于某种相向，譬如众人皆知的海森堡测不准原理，那么量子力学就显得很模糊不清。而如果你专注的是量子单位的明确性，那么量子力学看起来就很具体。

物理学家维斯可夫甚至于说，测不准原理应当称为明确性原理。他提出的理由很能令人信服：考量典型的牛顿系统——九颗行星绕着中心的太阳在轨道上运转。古典物理定律允许非常大的弹性。重力理论要求的只是这九颗行星在多少看似椭圆的轨道上运转；没有哪件东西要求地球轨道或者任何行星轨道非得如此不可。事实上，任何椭圆轨道都行，看这太阳系在形成时的初始条件是什么<sup>①</sup>。而如果一颗路过的星体来到太阳系附近，以其重力把我们的世界牵动一下，那么我们的轨道就无可挽回地受到影响了。我们目前的轨道没有任何特别的性质使它永远在这里；或者，如果我们的轨道被改变了，

① 译注：要解运动方程，在开始时要把所有的运动量（如速度及其方向）及位置，以及其他必需的量都定出来。这些量就决定了这运动的性质（轨道等等）。这些最初定出的量就称为初始条件（initial condition）。例如：发射火箭时，要把方向对准，火箭的速度控制好。这些方向、速度及发射的地点，总称为这火箭的初始条件。

也没有理由它会再跳回原来的轨道。因为绕其他恒星旋转的行星，允许任何形状的椭圆轨道，我们有可能发现绕其他恒星的行星系统，具有各种不同的安置方式（实际上已经发现了）。

与这个形成对比的是被人们描绘为小型太阳系的原子系统。中心的原子核吸引住它附近的电子，就如太阳吸引住绕行它的行星。可是相同之点到此为止。在太阳系中，可能有无穷的稳定轨道形态；然而在原子系统中，只有一百来个——每个对应于一种已知的元素。如果这系统含有一个核子（太阳）及一个电子（行星），它只有一种形象：氢原子。所有的氢原子都一模一样。

“在量子力学出现之前，”维斯可夫说：“我们对于大自然的了解，与自然界最显著的特性并不相称。自然界的特性是很明确而特定的。蒸气一定是蒸气，不管你在哪里找到它。岩石永远是岩石，空气也永远是空气。你我都无法区别在两个不同矿脉中采到的两片黄金。”即使在不同星系中找到的两片黄金，也一定会有完全相同的性质。

我们原本对于大自然的理解不是如此。照理说，我们应当不可能找到两个完全相同的原子，就如极不可能找到两个完全相同的太阳系一样。可是事实明显不是这样。你吃进肚子里的三明治中的碳原子，在数小时、数日、甚至多年后离开你身体时，仍然是碳原子。那些组成碳原子的质子、中子及电子只能“非如此不可”。量子力学替我们的原子科学，带来这种一丝不苟性。如果有不能确定的系统，那必定是古典系统。

## 第二部 发动者及震撼者

已经有太多描述量子理论的好书了<sup>①</sup>，因此，我根本不必在这短短的一章中，尝试写出量子力学的详细发展经过。我只需要说，在20世纪20年代早期，波耳率先想到如何运用驻波<sup>②</sup>的类比，去了解原子的一丝不苟性及其稳定性。

拿一条跳绳，或者一根小提琴弦，把两端系牢。如果你把能量灌到绳中使它摇摆，它只能以某几种方式去振动，只能有几种既定的形态。一根小提琴的弦只能以它的基波频率去振动，或两倍、三倍、四倍、五倍于基波频率去振动；换句说话，以它特有的谐波（harmonic）去振动。它不能以两倍半的基波频率去振动。如果你把受限制在原子中的电子“波”想像成同样的振动，就能了解为什么它会被迫只能有几种既定的振动态了。原子和太阳系不同，天生就具稳定性及自恰性（self-consistency），因为电子不能在原子核中任意行事。宇宙中的每一氢原子都敲击出同样的和弦频率。（维斯可夫说，他有一次在钢琴上想奏出氢的和弦，“真难听”他说：“这可不是为我们的耳朵谱出的音乐”。）

### 给我量子，其余免谈

当然还有其他的类比，可是没有像这个驻波的形象这么管用，因为事实上电子的表现也像波。你也可以想

① 编注：请参见《爱丽丝漫游量子奇境》、《凝体 Everywhere》、《物理之美》等书，天下文化出版。

② 译注：驻波（standing wave）是看上去似乎停驻不动的波。以一根金属棒为例。拿锤子敲一下，它会振动，可是如果仔细观看，你会发现金属棒的各处都会上下波动，可是总有固定距离的某几处却不动。这种驻在某地不动的波就叫做驻波。小提琴上的弦也以驻波的形式振动。

像原子内的电子像一位跳上楼梯的女孩，她能一口气跳上第二阶、或第三阶、或第四阶，可是她无法跳到第二阶半，或者三又四分之一阶，定在那里。她需要某个最小量的能量才能跳到上面一阶，如果她没有足够的能量跳到第四阶，就只能留在第三阶。所以，若外来的辐射能量比量子跃迁所需的能量小，这个原子就不能吸收这辐射。

或者你可以想像女孩跳下楼梯。这次当她跳到低阶时，就把能量给了地板。可是这能量也是定量的，例如从第四阶跳到第二阶，给出两阶的能量。

当一枚电子跳到低能阶时，它放出的能量形式是光。从第五阶到第三阶的跃迁，可能发现出定量的红色光；从第六阶到第二阶的跃迁，可能发出能量更大（更高频率）的蓝光；从第二阶到第一阶（基态）的跃迁，可能放出低能量的电波；从第八阶到基态的跃迁，可能产生高能量的X射线。在原子核中也有类似的一系列能量更高的量子态，放出高能辐射，如伽玛射线。

换句话说，原子发出的每一颜色，都与能态的变化相对应。这些颜色（即每一元素放出的光谱）的独特性，就和签名一样。例如钠元素的光谱无论在哪里发现到，都一模一样，即使在最远的恒星亦然<sup>①</sup>。这些量子力学的指纹，能显示出远处恒星的组成。

热的金属（如灯泡中的灯丝）放出的是连续光谱，而非量子跃迁时放出的很尖细的光谱线，因为它们发射光的方式和气体不同。加莫夫把受激的气体发出的光描

<sup>①</sup> 原注：其实从恒星放出的光谱并不完全一样，可是其差异可以告诉天文学家，这些恒星的运动有多快、它们有多远。

## 第二部 动力者及震撼者

述为单一个乐器发出的谐音，可是在固体中的原子靠得很近，因此，就像把所有乐器都丢在大袋子里面摇晃发出的音。从热金属发出的光的谱色不是来自拘束在原子中的电子，而是来自自由电子。这些自由电子的振动多多少少是随机的<sup>①</sup>，它们不必从第四阶跃迁到第一阶，或从第六阶跃迁到第二阶；它们放出的是整体连续频率的光。就因为这原因，任何热到能发光的物体发出的光，都是同一颜色，与这热的物体是什么无关。

有时灌入原子的能量大到能把电子从原子中拉出来。这原子不再是普通的碳原子或氖原子，代之的是离子（ion）——带电了“部分”原子。如果所有电子都被敲出，得到的是一种特别的气体，称为离子体（plasma，俗称电浆），这是原子核与电子的混合物，呈现非结晶形态<sup>②</sup>。在离子体内没有量子态（也没有“原子”）。可是宇宙中的大多数物质都存在于这种高能量形态中。恒星等于是—团离子体的球；那些能告诉我们恒星的组成的谱线，乃是来自星球表面较冷的地区。

但是在地球上的温度范畴中，量子支配一切。维斯可夫说：“归根究底，自然界中所有我们看得到的规律形态及构造，从雪花的六角形到花及动物错综复杂的对称性，莫不基于这些原子模式的对称性。”你从父母得来稳

① 原注：光的振动频率（也就是，光波振荡或者上下运动的快慢）决定它的颜色。高频率产生短波长的光；如果你摇动一条绳子或者使之振动，你可以看出，快速的振动产生出短的波动出来。要产生出小而振动快的波动，需要更多的能量。光也一样，短波长的光（快速的振动）的能量要高。在电磁波谱中，振动得最慢的“光”就在我们称为射频（无线电波频率）的范畴中；这些波可以大如山。可见光的平均波长为两万分之一厘米。X射线的波长则如原子大小。

② 译注：其实不一定要把所有的电子都赶出原子，只要所有原子都至少失去了电子，变成带电的离子。

定的基因，这个事实就是基于 DNA 分子中的量子态天生具有的稳定性。石头之硬，面纸之软，从窗子飘荡来的花香——所有的一切都来自原子的量子态。

结果是，所有在次原子世界中的每一样东西都量子化了：非但能量及光，连物质、作用、动量、自旋<sup>①</sup>、电荷，及所有其他次原子的奇异特质，如奇异性、魅等等，也都量子化了。关于作用，或者运动，或者任何大小物质，如果想要它们小于自己的最小量，可以免谈。一枚原子如果要吸收这些特质，要不是吃进一整个，就是不吃；这些东西的吞吐量一定是量子化的团块。

## 量子化并不陌生

其实只有当你特别去想这些事的时候，才会觉得似乎很奇怪、不舒服。毕竟在日常生活中，许多东西都是成块状的，例如汽车的传动器。加莫夫指出，你的车子的齿轮箱就是类似原子中的量子态：“你能把它放在低档、二档、或者高档，可是不能放在两个档之间。”另一个大家很熟悉的现象就是人。费曼喜欢引用这个人人都熟悉的例子，“平均每一个美国家庭，有 2.2 个小孩”。每个人都知道这是个笑话，因为大家都知道小孩就如量子一样，是单位。

甚至有些人说，头脑的思考、乃至于想像力的跃进，

① 译注：自旋（spin）是一种粒子固有的角动量。转动的物体有动量，叫做角动量，就如运动中的物体有动量一样。在量子领域中，角动量也是量子化的。转动的物体能停下来，因而消失了它的角动量。20世纪 20 年代发现粒子拥有一种固有的角动量，叫做自旋。这种角动量虽然像普通的角动量，可是不能把它消除，可以看成是“生长”在粒子身上的角动量。

## 第二部 发动者及震撼者

也具同样的量子化性质。很少有观念的转变是连续渐变的，文化、认知、信仰，经常割裂如量子态，这就是为什么我们一旦想法改变时，就好像变了个人似的。这一点也不用奇怪，因为，连我们的头脑也是量子化的：神经元传送神经冲动时，要不就全部传送，要不就都不传送。

当然这里讲的大都是隐喻。可是隐喻很容易用来使人联想到，量子不是完全不熟悉的理念。总之，量子化的意思就是有些东西一定要以整体的方式来描述，例如小孩、雪花、原子态，而记忆、经验、诗、画，及一大堆其他的东西亦然。它具体地表示出无法再简化的“开关”、“是/否”的品质——在这个电脑时代，这对于任何喝电脑奶水长大的人应当是很亲切熟悉的。例如人能有某种范围很广的品质，如魅力，可是一到了原子，你要不是有，要不然就没有。同样的，对能量、自旋、奇异性、电荷等等亦然。

以较不带隐喻的方式来说，几乎任何与波有关系的东西，都很容易让人联想到量子态的特殊性质。非但一根小提琴的弦，连笛子及风琴音管中的空气，都以基波频率或基波频率的整数倍频率去振动，每一次都以量子跃迁的方式跳到下一个谐音去。甚至于单独的波也是量子，意思是说，一定要以整个来算。要说某波的  $1/3$ ，就如说  $1/3$  个小孩那样毫无意义。

演化生物学家古尔德说，我们对量子跃迁的恐惧来自“根深蒂固的西方思想的偏差，这偏差使人们倾向于

去寻觅连续及缓慢的改变；有古语云：大自然不作兴跃进<sup>①</sup>。这是古代博物学家宣称的。”

古尔德是一位新派的博物学家，他的信念是，即使是物种的演化也很可能像量子跃迁般发生。“改变通常是很快速的稳态之间的转变，并不是慢慢逐渐从一态到另一态的转变的，”古尔德这么写道。化石累积出的证据似乎否定了老一些的理论，说演化是缓慢而连续的，以适应环境的改变；相反的，物种似乎在出现以后，滞留一阵子毫无改变，然后就消失了。

古尔德很奇怪地发现，许多前苏联的科学家早已有了某部分相同的认知。他猜臆，这是因为他们在辩证法则上的训练。辩证法倡议，“系统在抗拒许多慢慢累积的压力后，到了它的临界点时，改变就以跃迁的方式出现。把水加热，最后就沸腾。把工人压迫又压迫，最后就起了革命。”

## 质与量

灰尘、沙粒、小圆石、岩块及巨砾，都由同一材料组成。只是，它们是含有不同数量的同样东西。可是我们却把它们看成不同质地。因此，在这意义上，量就是质。

——莫里逊

① 译注：这句话是拉丁文的成语，natura non facit saltum，英译为 nature does not make jumps。这是很古老的哲理，可能源自希腊。

## 第二部 动者及震撼者

多一些（或少一些）某物，就能改变物体的质，这是量子力学的核心理念。可是这也是最难去接受的观点。当物理学家开始用“量子数”向民众解释自然界的构成要素时，常常会给听众一种毛骨悚然之感。加或减单一的自旋或电子，或者其他量，就能造成氯和钠之间的区别？那是怎么一回事？最后居然也能造成苹果和橘子之间的不同？最直截了当的回答当然是，电子的数目决定了物体的化学性质。可是，还有更为有趣及更具基础性的关系，等你来发掘。

第一位认出质与量的亲密关系的人是，公元前6世纪的希腊哲学家毕达哥拉斯。他发现了，乐音的调子高低和发出这音调的弦长度有关，而最悦耳的乐音对应于最简单的比率：二比一，产生出八度音；三比二，产生五度音；四比三；四度音，等等。这些乐音的品质就如元素的品质一样，是基于它们各部分的数字关系。

在今日，数量能影响品质的证据到处都是。钱的数目及教育程度的高低也许不会严重影响到你的生活品质，可是几乎可以肯定地说，污染程度及住家邻近的犯罪率却有很大的影响。某些有益的东西（汽车、塑胶、房子，甚至子人口）数量大幅增加，能把这些事物转变成在质方面的大灾祸。吃了太多的药就会中毒。原子弹不仅能造出更大的战争；杀死数百万人和把人类文明完全毁灭是质方面的问题，而非量方面的问题。

最能使人钦服的，由于量变而导致质变的例子就是人脑。物理学家维斯可夫说：“当人类在动物界中演化时，一定有些新东西发生。我们认为这个新要素完全基于神经系统中的数量差异。把这系统增大了，自然界就

建立了一种新的演化形态，这新形态把以前所有演化时代的法则全都毁弃了。”古尔德也有同样的感受：“也许最惊人的事就是复杂系统的通性（我们的脑是其中之一），它仅仅改变了结构上的量，就导致不同功能的奇妙品质。”

大量的原子可构成有机分子，大量的有机分子可构成人，而大量的人口可构成群众或国家。不管是哪一层次，都能清楚见到量变引起质变。

在极端的温度下，这种量变引发的质变会产生极富戏剧化的后果。如以前提到的，在极高温时，物质解体；电子离开原子核，共同形成离子体，这是恒星的建材。离子体和地球上的寻常物体大不相同：第一点，带电粒子不再附着在一起，而是单独行动；第二点，它并没有显著的分类，如矽、氧、铅等。

在更高的温度，更极端的物态也会出现，原子核完全分解为质子及中子。在还要更高的温度（也许在宇宙创生之际），即使质子及中子也分解了。如果那些从高能加速器跑出的神秘反粒子及介子，对我们说来是很奇异的东西的话，那是因为它们代表的是与我们习见的物质，在性质上完全不同的粒子。

温度若向下降，物质就会呈现一系列性质完全不同的物态。例如当降到某一温度时，气体就转变成液体；在更低的温度，固体及晶体会出现。在极冷的温度，还有另一种奇异物态，与高温时的另一物态有异曲同工之奇：某些物体在超冷的温度会变成“超导体”，它们能让电流永远流动，丝毫没有电阻。极冷的氦变成能从瓶中自动沿瓶壁而上、流到瓶外、再往下流的“超流体”。极

## 第二部 发动者及震撼者

冷的物质的原子排列方式变得极为有序、极无杂讯，使微妙的量子效应变得具体可见。当所有由热引起的随机运动都除却后，人们能听到原子内部的啸声，“就如贝壳的低吟一样，”一位物理学家如是描述。

同样的，大小尺度的改变也会带来质方面极大的改变。一颗如恒星大小的撞球，行为自然与原子大小的撞球截然不同。普通撞球大小的物体不会被它本身的重力所压而塌缩，可是星球大小的撞球却会。原子大小的撞球，行为和普通撞球不同，它像波。

弯曲的空间主要是大物体的属性；量子效应只能应用在微小的东西上面。在原子大小的尺度，重力微不足道；但在宇宙大小的尺度，重力却是最重要的力。真的，目前物理学家最紧迫的第一要务，乃是在找出极大和极小的行为之间的联系，所谓重力量子化的工作。

### 探索极端

京斯爵士指出，虽然哲学家通常都在质方面作思考，物理学家却经常把事物按量来描述，“哲学家讲师可能向听众说一块方糖有这些品质，如硬度、洁白度、甜度等，可是他的科学家同行在隔壁的科学课堂中，可能在解释刚性系数、光的反身系数、氢离子的浓度……这些描述硬度、洁白度及甜度品质的量度。”

不过，还是很难在量与质这两者之间画出一条界线来。因为，如果氢离子的浓度是甜味的量度，光反射系数决定洁白度，那么从这种真实的意义来看，品质就是量。

就此而论，谈到量子力学不免会牵涉到一种跳到新范畴的量子跃迁，在那里几乎所有东西的质都不同，主要原因是因为在那里我们谈到的东西都非常小。爱因斯坦知道走向大小的极端或速度的极端，会在质方面带来令人惊奇的后果。在整部科学史中，最有成果的探索经常徘徊于极端及边缘的地区——热与冷、快和慢、大和小、少与多的外限。或者如一位物理学家朋友告诉我的，“所有在中间的东西都属于工程。”

因此，如果量子力学对我们来说似乎很怪诞。也许只能说这是很自然的。从我们的观点去看，原子是不可想像地小。我们不应当奇怪，它们的行为与我们熟知的截然不同。



## 第八章 相对说来

自从爱因斯坦摧毁了牛顿的绝对空间和绝对时间的观念，并开始创建他留赠给我们的智慧遗产以来，已经几乎一个世纪了。在这段岁月中，爱因斯坦留下的智慧遗产已经成长并包括了许多东西，其中有弯曲的时空，及一堆完全被弯曲时空造成的奇异物体：黑洞、重力波、奇异点（穿衣的及赤裸的）、蛀孔及时光机器<sup>①</sup>。不管在历史上的哪个年代，物理学家都认为这些全是骇人听闻的物体。

——梭恩<sup>②</sup>，《黑洞及时间弯曲》

① 译注：黑洞（black hole）是理论上呈圆形的物体，其重力强到如果一件物体要离开它的表面，它的速度必须是光速。按狭义相对论，这是不可能的。而如果从黑洞表面上射出光，这光子离开后，由于重力场，会失去所有的能量变成不可见。因此黑洞是漆黑的。如果太阳变成黑洞，其半径就只有二公里。如果一件物体在进行周期运动，它能放出重力波（gravitational wave）。这波已在脉冲星（pulsar）双星系统中发现。奇异点（singularity）是所有量都变成无穷大的点。一般物理学家认为宇宙以奇异点的形式创生。如果奇异点中加上其他物理，就称为“穿衣”的，如果有重力，则称为“赤裸”的。蛀孔（worm-hole）是理论上的物体，把黑洞在时空中以数学方法合并在一起，就成为蛀孔。蛀孔能把很远的时空联接起来。从蛀孔的一端到另一端只要很短的时间，因此，理论上可用来作超光速的行动。目前引用最多的是科幻小说，以资克服光速的限制。时光机器（time machine）是可以到过去及未来的假想机器，用的原理是帖帕勒圆柱，可是有理论上的问题。关于这些奇异物体，请见 *Time: a Traveler's Guide* 一书（中文版由丘宏义翻译，天下文化 2001 年出版）。

② 译注：梭恩（Kip Thorne），加州理工学院相对论理学家，著有《黑洞及时间弯曲：爱因斯坦留赠的惊人智慧遗产》（*Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*）。

几乎一开始，人们就把相对论认为既是哲学又是物理。爱因斯坦猜测说，对它有兴趣的神职人员也许会比物理学家多。也许他说这话的原因是，相对论深深触及文化、历史及宗教的根源：我们的世界观非常依赖对时空的宇宙观，而这宇宙观又依赖人们怎样把自己安放在万物的系统内。

可是无论任何理由，要想去把相对论普及化与哲学化的尝试，几乎一直都没有搞对方向。过滤之后，最后到达大众心目中的相对论，就只是这句话：“所有的事都是相对的。”事实上，爱因斯坦理念的涵义和这句话的意思，几乎正好相反。

许多人对相对论的误认，可以追溯到至少伽利略的时代。这错误大致来自运动的相对性。也就是说，如果你坐在四平八稳的封闭船舱中，这艘船平滑地在河中航行，你不能分辨出你是否真正在动还是不动。你可以做种种实验，丢球、摇动钟摆、顶着脚尖试平衡感；可是这船舱内的每一物体的行为都一样，无论这船在动或不动。原因是，虽然对外面的世界来说，你在运动中，可是相对于船舱内部的世界，你却不动。就如你坐在门口的台阶上休息的时候，你与这个急速旋转中的地球并没有相对运动，因此你认为地球和你都没有在动。运动是相对的，因为它依赖你的观点。在某一座标系中的运动，在另一座标系中不见得也是运动。

例如，坐在船舱里的你，问一位站在邻近码头上的人，你是否在动。那人可能这么回答：“你当然在动，笨

## 第二部 发动者及震撼者

蛋！难道还看不出来，你正经过码头旁边吗？”对这句话你可能作以下的回答：“我怎么知道是我在动，而不是这码头在动呢？”（当然，这个码头“跟着”地球在运动，但这是另一个问题，在此暂不讨论。）

或者码头上的人会这么回答：“你和我的码头在做相对运动，可是如果你站在你的船舱中不动，你和你的船舱就没有相对运动。”或者，那位仁兄可能耸一耸肩，说：“好吧，一切都是相对的。”

如果你要知道地球是否在动，而去问一位在地球外的观测者，这问题会变得更难回答。因为你把她的“码头”放在哪里呢？你怎样找出某个参考座标系，说她是静止的？地球与太阳做相对运动，可是整个太阳系与星系也在做相对运动，而这星系却与宇宙的其他部分做相对运动，而从所有的现象看来，宇宙也在动。可是宇宙是相对于什么在运动呢？

“关于爱因斯坦理论的陈词滥调是，它证明了所有的东西都呈相对性，”纽曼（James Newman）在《科学和敏锐感觉》一文中写道：“‘所有的事都是相对的’这句话与‘每件东西都大一点’，一样没有意义<sup>①</sup> ……如果每一件事物都是相对的，那么就没有哪个东西可以和它成为相对的对象。”

### 相对论的精髓在于绝对性

爱因斯坦把伽利略的相对论前后上下倒置一下，得

<sup>①</sup> 译注：一位电台的脱口秀主持人把这个逻辑的无理性，做为他结束秀时的幽默话：“这里所有的男人都力强盖世，所有的女人都美不胜言，而所有的小孩都要比他们的平均还更优秀。”

到了被维斯可夫称为“绝对主义”(absolutism)的理论。爱因斯坦仔细审视了这运动中的船(他用的是一束光),深深地为它所感动,因为“并非”所有的东西都是相对的,而是自然律永不改变。不管你是在运动或静止,如果你向上跳,重力一样把你向下拉;水一样流,钟一样滴答,雨点向下落,电荷互吸或互斥……这些现象都不变。“相对论创建的是所有自然律都呈绝对性,和这系统的运动无关,”维斯可夫写道:“就是因为它们是绝对的,因此,你无法知道你是在运动中或静止不动。”

可是,为了要建立起这种自然律的绝对主义,人们只好放弃一些以往认为是绝对的东西。时和空变成了相对的,但在这系统中时空不很重要,或者说,至少和其他基础性的东西相比,时空并没有那么重要。

更为重要的是,内含于牛顿定律中的物理观念,在极高速度或极强重力的环境或其他许多情势下就不灵了。牛顿定律不能在所有的参考座标系中都能应用,因此,牛顿力学中的自然律就依赖你是否在动,你所在的系统是哪一个而定。既然自然律是依你的观点而定,牛顿力学才是相对性的理论呀!

伽利略和牛顿其实都了解到运动呈相对性,可是他们坚持空间和时间都呈绝对性。爱因斯坦看出来,时间和空间呈相对性(就此而论,能量和质量亦然),不过这是其他基本常数的绝对性的外围效应。光速正是其中一种基本常数,所有相对论中奇奇怪怪的东西都来自这个更为古怪的事实:光速的绝对性——不管你的观点在哪里,你的参考座标系在哪里,你运动与否,这个30万公里每秒的速度绝对不变。

“每件事都是相对的”之根源就是因为光速和自然律都不是相对的，而是绝对的。因为光就是电场和磁场彼此的相对运动，也正是推动自然万物到人的认知过程的力；爱因斯坦认为光速是绝对不变的，很显然击中了“绝对”体系的核心，因而开创出他的相对论宇宙。

### 时间的相对性

绝对的、真实的及数学上的时间，以同样的方式流动，和外界的一切毫无关联。

——牛顿，《自然哲学之数学原理》

连想都不要想，几乎每一个人都会接受牛顿的时间观念。可是你愈去想，就愈会觉得“时间的滴答和宇宙其他的一切都无关”这个理念有问题。你能想像出的时间观念都和一些具体的事物有密切关系，例如钟摆的摆动、地球的轨道、石英晶体的振动、原子的量子跃迁、磁场与电场的运动、太阳的生命，等等。如果没有这些事件，时间是什么呢？在虚无的空间中不可能会有时间，因为没有可以产生滴答的东西。只有和事物有联系时，时间才有意义。

我们叫一年的这段时间就是地球绕日走一圈的时间；一天是地球绕自转轴转一次的时间。远在人类出现之前，也许一个月真的就是月亮绕地球转一圈（盈亏）的时间；现今它绕地球的周期不再是一个月的原因是，月亮已逐

渐远离地球，因此它的周期慢慢在变<sup>①</sup>。

很显然，这些天文的量度不是绝对的，因为量不断在变。约五亿年以前，我们的一日大约只有 20 小时半。如果我们能跳出地球上的观点，想一下在其他行星上，如水星上的情况，在那里一日的长度要比一年还长。不易掌握这观念的原因是，我们已经很自然地把“日”看成“年”分成 365 日的自然划分法。我们忘却了，一日和一年一样，是个偶发的事件，不是从所谓的“绝对时间”里划分出来的无形无体的间隔。

其他时间的标准也没有出于自然的起源。例如，为什么七日是一星期？有些人认为来自基督教圣经《创世纪》（在第七日我们休息）。有的人把它和西方音乐的七音联想在一起，而这七音又和毕达哥拉斯的七个经典天体联在一起（日、月、金星、木星、水星、火星及土星），而它们又被用作球的音乐<sup>②</sup>。不同的文化在不同的时间采用过八日的星期、五日的星期，甚至于十进位的十日星期。

“小时”却是相当晚近的发明。在 14 世纪以前，一天都只被分为较不规则的段落，如早晨、正午及黄昏。最初发明的小时有弹性，夏日的和冬日的不同，白天的和晚上的也不同。直到中古时代，每一日的白天（破晓到薄暮）及夜晚（薄暮到破晓）都被分为 12 等份。这就是说，夏日白天的一小时要比晚上的一小时长得。冬日

<sup>①</sup> 译注：这里作者说的是什么不太清楚，因为月亮的周期慢下来后，以月亮周期定出来的月的长度会逐渐增加。可是即使现在，太阳月也还要比日历的月来得短，但日历的月的长度是人为把时间分割的方法，不代表天文上的任何意义。

<sup>②</sup> 译注：指的是托勒密的行星理论，所有的行星都在同心圆球上绕地球转。

## 第二部 发动者及震撼者

的白天一小时也相对减短了，而晚上的一小时也相对拉长了。当工业革命来到的时候，即使把小时的长度规律化也还不够用，因为火车要准时开，工人要在五点整来接班，因此，不久钟上面就长出了指出分钟的指针。和许多新潮流一样，这发明就如雨后春笋般地蔓延到各地方去。

### 天上一日，人间一年？

其实时间的性质依你用何方法去量度而定。氢原子的原子年约为  $10^{-16}$  秒，相对于地球年的长度（约 3200 万秒）来说，似乎是无限的短。（原子年是一枚电子绕着原子核“轨道转一圈”的时间，如果我们把原子看成小型太阳系的话。）可是原子年与原子核的基本时间单位来比，又是无限长了，因为原子核的基本时间单位又要小个千百万倍。对于原子核中的粒子来说，那些电子看上去似乎不动，就如对我们来说恒星是固定不动的一样。

从另一方面来说，地质时间中的一刻可能就是 1000 万年，1000 万年是地球年龄的  $1/450$ 。而 1000 年的时间更是短到地质学家根本无法分辨，几乎完全不能测定，因此就被认为是一眨眼的瞬间。博物学家爱诗礼写道：“以我们的记忆之短暂，我们认为目前的气候是正常的<sup>①</sup>。就如看一本厚达 1000 页的历史书（地球时间的史页），应

① 译注：在终年被冰所盖的冰岛上，每年下的雪堆在旧的雪上，一层又一层地积压下去，成为历史上天气的记录。从钻出的冰心来分析，可以知道以往的气候史（温度、雨量、火山爆发等），可以推溯到数百万年甚至数千万年之前的气候。从这些分析中，发现了最近三千年中，世界上的气候最温和。以往的气候，有冰河时代，有温室效应，有全球都很暖的时代，可是在任何时代，一年中的冷热都要比现在极端许多。

当要等到读了最后一页的最后一句时，才能把它称为历史。”

宇宙中有许多不同的计时器在滴答着，滴答出大小不同的时间。放射性供应的是摆放在原子里的钟。自然界有某些不稳定的原子，过了一段时间后会衰变为较稳定的原子。例如一枚普通的碳原子核含有6个质子及6个中子，形成称为碳<sub>12</sub>的原子核。可是有一种碳的同位素碳<sub>14</sub>，原子核含有6个质子及8个中子。在它的衰变过程中，其中的中子放出带负电荷的电子而变成带正电的质子。在你念完“炼金术”这几个字之前，这个不稳的碳原子核已经转变为稳定的氮原子核了，有7个质子及7个中子。

而这转变过程中最令人惊奇的事，乃是它的时间不变性。每隔5700年，正好一半的碳<sub>14</sub>原子核就衰变成氮<sub>14</sub>的原子核①。如果一开始你有10兆个碳<sub>14</sub>原子，5700年后，你只剩下五兆个碳原子。再过5700年，你只剩下2.5兆个碳<sub>14</sub>原子。

这些原子的半衰期是令人惊奇地准确，因为没有任何原子以外的东西能影响到它们。它们丝毫不受外面环境的影响。和天文量度不同的是，它们从不改变。可是，它们提供的是一种奇怪的钟，这种钟只能在有很多原子时才会滴答滴答。对单一个原子来说，就不灵了。这是一种基于统计机率的钟。

当然，也有许多种不同的生物时钟。所有的生物都需要某种计时方法才能生存，才能把它们内在的钟和外

① 译注：原子衰变到只剩下一半的时间，就称为半衰期（half-life）。

部世界的钟相协调，才能知道什么时候要去冬眠，或者向南飞，或者发芽，或者蜕壳，或者长出冬季所需的毛。心脏要知道在什么时候去泵血，肺也需要知道什么时候得呼吸。同一身体内的不同器官需要以不同的时钟去计时，以便与来自脑中枢的讯息一致，按时释放化学物质。

我们认知能力的极限，甚至于决定了我们看到的外在世界是什么：如果人们可以感觉出比  $1/24$  秒还要短的时间（事实上不能），看电影时就可以看到一幅画面和下一幅画面之间的暗画面；如果人们能认知更长的时间，就能“看到”植物（或小孩）的成长。

### 小娃一日，老人一年？

时间的快慢会变的，尤其当我们变老的时候。有些人猜测，我们感觉到时间愈来愈快的原因是，当我们变老时，每一小时及每一年占我们生命中的百分比也愈来愈小。对一岁大的小孩而言，一年是他的一生，即永恒。对 10 岁大的小孩来说，一年只是他生命中的 10%。“到了他 50 岁的时候，”作家墨奇写道：“时间还要走快五倍，钟开始飕飕地飞走，一年只是他生命中的 2%。当他活到 100 岁时，一年就只占 1% 了。他的老朋友纷纷以可怕的速率逝去，而新生的小孩像春日的花一样长为成人。不熟悉的建筑如雨后春笋般跳长出来。对他说来，一整年其实所占到的意识时间，比他一岁时的四天还要少。”

计算一段时间的长短是很神秘、高度个别化的过程。开花植物怎么知道什么时候要开花？树用的是什么方法去掌握它度过的时间？我们体内的生物时钟怎样知道什

么时候要开始滴答计时？毫无疑问的，这些问题的答案一定基于化学反应，及其能辨识温暖与寒冷、光及黑暗这类模式的能力。

我们离开这类问题的解答还有一段长路，例如“什么时候”时间开始滴答的？这是因为除非假定你已经居住在时间的座标系中，否则不可能去讨论“什么时候”，因为“什么时候”本身就是时间的观念之一。从某种意义说来，去问时间出现以前的时间，就如同空间的另一边是什么一样的荒谬。奇怪的是，目前流行的宇宙起源理论，把大霹雳看成在空间中“到处”都可发生，但是只在“某一时间”才出现。时间有起点而空间却没有。

## 时间与空间

相对论倡议……物理空间和物理时间不能分离、个别存在。

——京斯爵士

可以确定的一件事是，时间和空间分不开。非但在那些相对论效应很重要的极端性领域中不能把时间和空间分开，在我们日常生活中也不能。例如，一年也是“距离”：地球绕日一圈的距离。如果这距离变长或变短（注意这些形容词“长、短”，适用于空间也适用于时间），时间也会变长或变短。一日的长短当然也多多少少对应于绕地球一圈的距离，而一小时则是这距离的 $1/24$ 。钟摆的摆动，石英晶体或原子的振动，任何可以计时的

## 第二部 发动者及震撼者

东西，总不免牵涉到在空间中运动的东西。就如擅长阐释爱因斯坦相对论的物理学家巴涅特指出的，“真正说来，所有时间的量度都是空间的量度，而反过来说，空间的量度也依赖时间的量度。”<sup>①</sup>

在日常语言中，时间和空间的联系紧密到了我们几乎想都不想的程度。人们说过迈阿密（美国极东南部佛罗里达州名胜城）离纽约“三小时”之远。如果有人问你食品店有多远，你回答“10分钟”的机会和告以距离的机会大约一样。坐在车上的小孩焦急地问，要等多久才能到达下一个休息站，他得到的答案往往是以英里为单位的数字。成人知道为什么他不能在同一早晨出席底特律及西雅图的会议，原因是两地相隔的空间太大（两城相隔约2500公里，除非透过视讯会议来进行）<sup>②</sup>。

和时间本身的相对性一样，大家曾经一度把时间和空间的密切关系视为非常自然（直到工业革命时期，因为实际需要才把这关系切开）。有一度在纽约或东京，正午指的就是日晷指在正午，即太阳在至高点的时间；这是一种空间关系的量度。你大可不必介意某一城市的几点钟和另一城市的几点钟是否相符<sup>③</sup>，因为根本没有方法

① 译注：惠勒（John Archibald Wheeler, 1911-，与波耳创原子核裂变的液滴模型及发明黑洞这名词的人）把相对论中测量空间距离及时间的直尺及钟并成一起，利用光速的不变性，只要利用时间的量度就可以测量距离。

② 译注：有些文化不把时间和空间分开。美国亚利桑纳州北部的荷皮印第安族（Hopi Indians）的语言就是如此。问某地有多远，答案不是距离而是多少日。

③ 译注：一直到19世纪初，美国各城市都有自己的“时间”，把正午定在太阳在至高点的时候。火车交通发达后，发现各自为政的方式很不方便，因此把美国分为四个时区，在每一时区中的时间完全相同，每一时区和邻近时区的时间相差一小时。这样才把各地各自为政的时间统一起来。中国大陆和美国大小近似，可是只有一个时区，以中原为准。因此，新疆的人早餐的时间要比在北京的人迟约三小时。

去比较，不是吗？不过乘船、搭火车或骑马到另一城镇需要走一段路，因此，需要一段时间，那么你怎能知道你离开的时间，相对于你终点的时间是何时呢？

当然，一旦引进以光速传递讯号的通讯后，例如收音机、电视、电话、数据机等，情势就完全改变了。现在，分隔很远的地区之间，非但能有同步走的钟，而且极不可缺。事实上，电视广播网的需要，推动了时间的同步化：在美国各地，六点的新闻一定要准六点播出，这就是说，在美国国内各地“六点钟”一定要同时来到<sup>①</sup>。航空班机时刻表、越洋电讯会议、网络上的聊天室……任何逼迫不同地方的人去把钟表同步化，等于在时间和空间的间隙中又钉入了分隔的楔子。

## 时就是空，空就是时

颇具讽刺意味的是，以光速传达讯息的通讯反而使时、空之间的联系更具戏剧性。举例来说，一光年是光在一年中走过的距离，因此成为量度星球距离的最有用的单位。可是很明显的，向太空“远处”看去，也等于是“向过去”的时间看去。当你朝一颗500万光年之外的恒星观看的时候，你看到的是有500万年岁月的光。远在现代人类于地球上行走之前，这光早已离开这光源了。这光到今日才到达我们的地方，可是，可能这光的源头早已逝去，这恒星可能已经黯淡无光。

<sup>①</sup> 译注：还不只是这个理由。电视台的讯号都以原子钟来同步，精确度比一兆分之一秒还要高，原因是：要这么高的精确度，换台时画面才不会跳动。

当一位天文学家看到一枚 100 亿光年以外的似星体时（这距离已经很接近可观测的空间极限），他或她看到的是似星体在 100 亿年前的影像（这时间也很接近可观测的最早期时间极限）。没有人知道这枚似星体在这 100 亿年中发生了什么事。也许它早已冷却下来，而其中有一些微尘已经凝结出拥有类似我们的地球的太阳系，在那里的似人生物也朝 100 亿年以前的“我们”看过来。

当然，去问在这 100 亿年期间发生了什么事，完全没有意义。似星体上 100 亿年以前的时间，就是这里的今天。通常我们用“在……的期间”这说法来表达一段时间的流动，其实在这个说法中明显表示了空间的行程。似星体 100 亿年前发生的事，与地球上今天发生的事，很奇妙地具有同时性（simultaneity）。

可是，同时性的理念又是另一个被相对论摒除了绝对性、而在日常生活中仍具绝对性的东西。同时性是相对性的。

假设你想像你在太空中某处，有透明的大房间以近乎光速的速度经过你身旁。这房间的天花板正当中有灯泡，下面有人坐在一张椅上。假定这时灯泡闪烁了一下。在这房间的人看见的是，这闪烁的光同时射到这房间的四面墙。可是你看到的却是完全不同的影像：因为这房间以近乎光的速度向前进，因此房间后侧的墙先遇上这光；你会看到这光先射到后侧的墙，之后才射到前侧的墙。因此，要回答两件事情是否同时发生，也要依你的运动状态而定。

由于我们在太空中若不是向这方向运动，就是向另一方向运动，所以发生在不同时间的事件当然一定发生

在空间中不同的地方。就像以闪光灯去拍摄一位跃动中的舞者，显示出不同时间他在空中的不同位置，这第四维的时间和深度、宽度的联系，就如长度和深度、宽度的联系一样。

所有的这些讨论引出了这个有趣的问题：“现在是什么时候？”很显然，除非你指明了“现在”在哪里，否则问“什么时候”并没有意义。现在其实是这里和现在的合并。你指的现在，几乎总是以你的所在地为准，可是对另一个别地方的人，不见得就是现在。即使你面向房间另一头，观看那边的人，你看到的他们是几个瞬间以前的他们。如果在那几个瞬间他们死去了，你要等到他们的光射到你这里来的时候，才能知道他们已经死了。

这些把时间同空间束缚在一起的不同联系，仅是一些更进一步的证据，证明这宇宙中许多看似孤立的片段，在骨子里却是联系在一起的。空间和时间最直接的联系是光的绝对速度，因为光是宇宙中传达讯号最快的使者。因此，这三个理念很清晰简洁地配合在一起：如果要测量速度，你必须测量距离及时间——这就是速度的意义。可是如果要测量出相距某距离的两个点之间的速度，你一定要查明两地的钟已经同步了。唯一能做到这一点的方法就是利用光，可是你仍然要把光在这两点间旅行的时间算进去。因此你首先要去测定光的速度，等等。

如果这些讨论听起来好像在作古怪的循环式推理，这是因为所有的联系都非常紧密。真正的怪事是，再三进行实验都证明了光速是绝对的量，无论谁去做这些实验，或怎么去做这些实验，结果都一样。不管实验者的运动状态或实验装置的运动状态如何，不管你以高速走向光

源或高速离开这光源，结果也都一样。

同时(其实是大约一个世纪之后)，数不清的实验证实了时间和空间的量度不是绝对的，而与其他东西有关，例如运动，或者在重力场中的位置。因此相对论的理论是建立在实验上的。事实上，最初创立这理论的部分原因是去解释实验的事实。有些人以为相对论仅是一套十分奥秘的方程，只有物理学家或数学家才会对它感兴趣。可是，即使不易看到它的影响，相对论也是人生现实的一部分。

## 狭义绝对主义

上了发条的玩具，在发条松下来的时候，它的重量会减轻了英文句点的十亿分之一……太阳发出了一秒钟的光的时候，它损失了相当于两艘远洋邮轮的质量。

——莫里逊夫妇，《真理之环》

其实相对论有两种：狭义和广义。这话是什么意思呢？很简单：爱因斯坦首先是为了解决特例而创出相对论，这特例是稳定而不变的运动，就如伽利略举出的船只运动的相对性例子。这最初的理论就是狭义相对论。然后，爱因斯坦把狭义相对论的理念推广到所有的运动，特别是变速或加速运动上，例如，那些受重力影响而下落的物体，这便是广义相对论。

广义相对论讨论的是重力场、弯曲的空间及黑洞。狭义相对论讨论到的是时间膨胀及  $E = mc^2$ 。狭义相对论

及广义相对论二者都是绝对主义理论，因为它们都基于自然界中不变的东西，而不是基于变化的东西。当你说某事是相对的时候，你的意思通常是，它看上去的形态依你的观点而异。但这两个相对论的要点是，从任何观点去看，自然界中最基础性的真理看来都一样。

毫无疑问的，人们最常问到关于狭义相对论的问题是，“如果我以光速旅行，我会不会变得更年轻？”答案是不会，你不会变得更年轻。可是你的衰老过程会比另一位以较低速度运动的朋友（或孪生兄弟姐妹）的衰老过程来得慢。可是从另一方面来说，你要付出代价：你在这个过程中可能要增加些质量。

来自光的绝对速度及其他自然律的相对性效应如下：

第一，当你以近光速旅行时，时间的流动变慢，空间收缩。你很容易可想像出为何如此。假定你在 100 万公里之外向一光源做近光速的旅行，每秒 30 万公里。同时，来自这光源的光也以每秒 30 万公里的速度奔向你。无论你是高速朝这光源前进时去测量光速，还是静止不动时去测量光速，如果你测量到的是同一光速，那么很显然在你与光源之间的空间一定会发生些奇怪的现象，要不然就是你与光源之间的时间会发生奇怪的现象，或者二者兼有。

结果是二者兼有。即使是放在民航飞机上的钟，在地球飞行一圈后（速度根本不能与光速相比），和另一个放在地球上“不动”的孪生钟相比，这动的钟的确走得较慢些。

第二，以近光速旅行的物体的质量，会变得更大些。这并不真的像说出来的那么神奇。事实上这句话的意义是，一种能量被转换成另一种能量。

远在爱因斯坦之前，人们已经知道一件放在高“位置”

## 第二部 动力者及震撼者

的物体有一种能量(位能或势能),这种能量可被转换为其他形式的能量。当钟摆在动时,位能会转换成动能,荡到最高点时动能又被转成位能;摆再荡下来时,位能又被转换成动能,等等。一颗挂在树上的苹果掉下时,它的位能被转换成动能,当它击中地面时,动能被转换成热能,动能也把尘埃搅得乱飞。两枝枯木互相摩擦来引火,是一种把机械能转换成热能的方式。

爱因斯坦量子跃迁似的想像力,乃是他了解物质本身也是一种能量的形式,可以被转换成其他形式一定数量的能量。如果你愿意的话,也可以把物质称为一种“冻结住”的能量。

把物质转换成能量是每天都会遇到的现象。每一次你点火或者烧煤,你就把物质的能量转换成热能。如果在燃烧之前,你称量一下所有木柴中的分子以及用来燃烧的空气分子的重量,然后在燃烧之后再称量一次,你会发现在火烧的过程中,这些成分的重量减低了一些。可是这些减少的重量并不成为烟而消失了,它很精确地被转换成能量,用的正是这个公式: $E=mc^2$ , $E$ 是能量, $m$ 是质量, $c$ 是光速。

$c$ 平方是个能吓坏人的大数字,这就解释了为什么从这么小的质量你可以得到这么大的能量。核弹的质量很小,但可以放出大了许多的能量,这是因为拘束在原子核中的能量要比生出火焰的化学反应更“有劲”。太阳的能量也来自核反应,每日它向太空辐射出兆吨级的光能量。

至于能量转换成质量,大家就比较不熟悉了,可是一样经常出现。其实每次你跑步时,你就变“重”了一点。而压紧的弹簧要比松懈的弹簧重些,因为压紧的弹簧中含有把弹簧压缩的能量。在巨大的粒子加速器中,被推动到

99.999%光速的电子，其质量要比静止时的质量大上四万倍。因此你可以说加速器这个名字根本不副其实，它们在加速方面的效应小，主要的工作乃是把粒子质量加大到惊人的程度。

这也能帮助我们去了解这个理念：为什么有些粒子没有任何质量。无质量粒子都以光速行动，因此它们所有的质量都包含在运动的能量（动能）中。可是光子的动能仍旧是种质量，因此也受重力的影响。无质量的光子（或无质量的保龄球），也能被地球的重力拉下，走出抛物线的轨迹。而我们很不容易测到光子向下落，那是因为光子走得太快了，每秒钟可以几乎平行于地表走30万公里<sup>①</sup>。

能量与质量的关系，就是“光速是宇宙中速度的极限”这个观测到的事实背后的缘由。没有任何能量或讯号能以超光速的速度传播<sup>②</sup>，因为任何东西接近光速的时候，质

<sup>①</sup> 译注：可是经过星球附近的光会被弯曲。1918年艾丁顿爵士在日全食的时候，拍摄了太阳边上的恒星相片。六个月后再去拍摄，发现星光的路迹被太阳的质量弯曲了一点。在20世纪80年代，也发现远处来的某些似星体的形象能被星系的重力所弯曲，形成一种叫做重力透镜（gravitational lensing）的现象。最壮观的是一枚似星体被一星系的重力透镜变成四个十字形的像，这像的中央就是产生重力透镜的星系。人们把这个奇景称为爱因斯坦十字（Einstein Cross）。

<sup>②</sup> 译注：最近在普林斯顿民营的NEC实验室中，以华裔科学家王力军带头的实验组发现光能以超光速来传播。其原理如下：光在介质中的速度是真空中光速被介质的折射常数除。一般材料的折射常数比一大（玻璃为1.4—1.8，钻石2.2，水1.33），因此在介质中光的传播速度要比真空的光速小。可是在这实验中用了稀薄的绝离子体（离子体是什么，请见第七章），用镭射把它激发到高能态，其折射系数会小于一，而且这种折射是在所谓的异常色散区（anomalous dispersion，即折射系数随波长而增，普通的折射系数是随波长而减），因此一束脉冲光便能以比光速较高的速度行进。但是这些科学家强调，他们的发现并没有和爱因斯坦的光速为宇宙中速度极限的原理冲突，因为这种脉冲的光不能携带任何讯号。这种现象在20世纪20年代量子力学刚发展时已经预测到，即能有比光速大的所谓相速度（phase velocity）。在波束中的小波能以超光速行进，可是不能携带任何讯号。如果讯号真的能以超光速传播，因果律就不存在，人们就可以时间旅行到过去，因而会造成许多的矛盾。例如，如果你能时间旅行到过去，你能在你父母生你以前就把他们二人杀了。那么，谁生你出来，让你时间旅行回到过去把他们杀死呢？详情请见 *Time: a Traveler's Guide* 一书。

## 第二部 动作者及震撼者

量就愈来愈大。质量就是惯性的度量，而惯性是抗拒运动状态改变的阻力。因此速度愈大，运动愈强，就更难把它推动得更快，因为它的质量也更大了。最后，这物体的质量变成无穷大，换句话说，要无穷大的力才能把它推动得更快。所以，连惯性也非绝对的：你走得愈快，惯性愈大。

### 所有的钟都依照相对论的方式走

许多人把相对论和相对主义（relativism，哲学的一派）混淆的原因是，从相对论中流出的东西，的确有许多真的是呈现相对性。从不同的观点去看，它们都不同。如果有些人以近光速的速度经过你，他们的质量看上去似乎都变大了。可是他们自己并不会觉得很重，反而会说你很重。

恒星、行星、物体、人——任何以快速度经过你的东西都似乎变重了。这个在质量方面的增加是基于运动：速度愈高，质量的增加愈大。可是，即使如伽利略所看到的，运动具相对性，谁是在运动中或静止中，还得依你的座标系及你的观点而定。任何能应用在质量上的定律，也能应用在能量上。如果高速运动的能量可被转换成物质（反之亦然），那么很明显的是，你的能量有多少就依你有多大的运动而定。因此，在这种意义上，能量也具相对性。

这种看法也能适用在时间和空间上。我们讨论过，高速旅行能使你的钟滴答得较慢，你的空间收缩。可是这些效应当然必须是相对于其他事物而言。如果你的朋友留在家中，而你则飕飕地去外星旅行，当你回到地球

时可能还觉得很“年轻”，而你的朋友已经衰老死去了。但是按照你自己体中的生物时钟，或你手腕上的手表，或者在太空船上的任何计时器，时间如常地流动。你看不出“时间慢下来”，因为甚至于你的脑功能也慢下来了，你的心和肺都慢下来。即使是放射的钟也慢下来了。所有的钟都依照相对论的方式走，因为时间和空间的相对性，是时、空的特性，而不是钟的特性。（也许我应当说，也是钟的特性。）

结果是，你无法知道你是否变得更重，或者你的时间是否已经慢下来，或者你的空间是否收缩了，甚至于你也无法知道自己是否在运动中（就像伽利略举例的那艘船上的乘客一样）。你的质量正常，你的时间正常，你的空间也正常。爱因斯坦把这种观点称为“固有”（proper，或“原”）观点，使它与其他座标系的观点有别。每一个在你观点中的事物似乎都很适切，都很正常，而与你做相运动的东西、人，看上去都在慢慢运动中，或被压扁，或扭曲（这二者来自空间收缩）。这当然是一种我们在日常生活中很熟悉的现象：我们的倾向是认定自己的习性和习惯正常；唯有别人的行为模式才似乎是扭曲的。

不管肤浅的相对主义如何，“真正发生的事物”总是令人惊奇地具有绝对性。从不同观点去看某物，看上去都不同，就如你静坐看盒子，或坐在飞驰的车中看它，这盒子看上去都不同。可是盒子本身并没有变，所有自然律也没有变，事物之间的关系也没有变。这就是为什么你不知道你在动或不动，或者你的钟慢下来与否。

我最喜爱的相对论里的绝对主义例子，出乎意料地

## 第二部 发动者及震撼者

来自生物领域。“通常我们对一只宠物鼠或沙鼠感到怜悯，因为它最多活上一或二年，”古尔德这么写道：

我们的寿命近乎一世纪，而它的生命却这么短暂。可是这怜悯似乎是多余的……它们的生命长度与它们生活的步伐成比例，按各自的生物时间来说，所有的生物都似乎活得一样长。小的哺乳类滴答较快，耗体力快，因此活的时间短；大的哺乳类活得长，生命的步履庄严而缓慢……所有的哺乳类，无论大小，在一生中大约都呼吸两亿次（心跳约八亿次）……以各自的心跳或呼吸的生理时钟来计时，所有的哺乳类都活得一样长。<sup>①</sup>

从我们有限的视野中向外望，即使实际上东西非常相同，可能看起来却大不相同。相对论的方程给了我们一种语言（或者，更好的用字是字典），可以让我们把这座标系中看到的东西翻译到另一座标系中去。

### 广义绝对主义

只有对局外的观测者来说，重力才存在。对局内的观测者，它并不存在。

——爱因斯坦及殷菲德，《物理之演化》

<sup>①</sup> 原注：当然有例外——最显著的是人。人似乎有一种奇特的永久不成熟性，因此与其他和人类大小相仿的哺乳类动物来比较，人的生命似乎要长些……而且活得愈来愈长。

广义相对论把上述这句话的理念，从四平八稳的运动（例如夜晚里，静寂地互相通过的光束），延展到改变中或在加速中的运动。物理学家用加速（accelerate）这个词来描述任何运动状态的改变，而不单是形容运动得更快，还包括更慢、停下，或改变方向。宇宙中最常遇到的加速运动，都与重力有关。下落的物体，愈向下落就愈快，绕日的行星也在加速中（这里加速的意义是它们不断在改变方向）。这两种相对性就是爱因斯坦一生中想要把所有的力都统一起来的尝试之一：狭义相对论的基础是电与磁力、或光的相对运动。广义相对论则把当时所知的最后一一种力——重力，带入了这家庭的畜栏中。

和狭义相对论一样，广义相对论来自那些你无法知道、无法造出差异的东西。在狭义相对论中，你无法知道你是否以稳定的速度运动，或者在静止中。在广义相对论中，你无法知道你是在加速中，或者仍然身处在重力场内。两种情势完全相等，这就是爱因斯坦称为“等效原理”（equivalence principle）的东西。

设想（就如爱因斯坦设想过）你在升降梯上，不幸拉缆断了：突然你就在没有重力的情势中。把球放离手，它在你的面前浮着；把臂伸平，它们都浮在你的两边。你在自由下落中，和太空中无重力的环境完全一样。只要你跟着重力的加速度走，重力就似乎不见了，就如当你“跟着电子走”，磁力就完全消失了一样。在这个自由下落的情形中，是否有任何方法可以找出你是在零重力的环境，还是你跟着重力加速度走？没有办法。

现在再设想你在太空船里，突然这船加速，愈走愈快。你把球放开，这太空船的地板很快就赶上它了。这球不再

## 第二部 动作者及震撼者

浮着，而是下落。你能不能做任何实验来测出，你是否真是在一艘加速中的太空船里，还是安然坐在地球上的火箭发射台上，受到了地球重力的影响？仍然不能。

广义相对论解决了这个习惯性及质量之谜（其实也是受这谜的启迪）。为什么保龄球和乒乓球在真空中都以同一速率下落？因为如果它们在一艘加速的太空船里下落，太空船的地板会同时赶上它们。不论是重力或加速，这两件物体都会同时“落地”。如果你住在如地球一般大、在加速中的太空船内，你可能会认为周边的东西都被“重力”吸在地板上。可是对一位外面的观测者来说，他可能看到，东西都被吸在地板上的真正原因是因为地板向它们加速奔过去。按照广义相对论，重力的力是相对的。

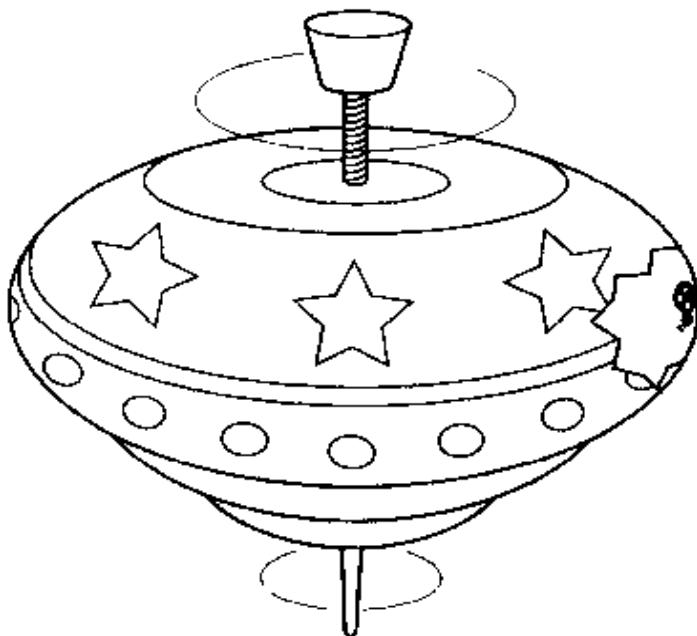
当爱因斯坦第一次了解到这奥秘的时候，他理所当然地狂喜不已。他这么写道：

这时候，我一生中最快乐的思考就以下列形式到达了我的脑海中：就如电场能被电磁感应产生出一样，重力场同样也只是一种相对性的存在。因为如果我们考量一位在自由下落中的观测者，例如从房顶向下落，在他下落的那一段时间，他不会感觉到有重力……因为如果观测者放开一些东西，这些东西都会留在他的身边不动，或者做等速运动，而这与它们的化学或物理性质无关。（在作这种考量时，当然一定要忽略空气阻力。）观测者因此有理由认为自己的运动状态是静止的。

人们对某些广义相对论的观点很难感到习惯，而这种

困难还不限于一般人。维斯可夫对这种感觉作如下的解释：“就像农夫去问工程师，火车的蒸汽机如何运转。工程师向农夫解释蒸汽在引擎中从某处到某处，如何如何。讲完后，农夫说：‘这些我都了解，可是拉火车的马在哪里？’这就是我对广义相对论的感觉。我知道所有的细节，我知道蒸汽的来龙去脉，可是我还不确定马在哪里。”

等效原理本身并不难习惯。当太空人在船中加速或在奔月火箭中加速时，他们以若干 G 测量加速的力——G 就是一单位的球重力加速度，两个 G 等于两倍的地球重力加速度，等等。憧憬中的永久载人太空站里，总是以另一种加速度——离心力，来替代重力。那依赖极大的转轮在空中旋转，把所有的人、房间，及所有一切东西都像绑了绳子的石头一样地绕转。如果“地”是在这个大转轮的外墙内侧，那么离心力就完全和重力一样了。



转轮里的蚂蚁感觉到一股像重力的力，把他向下拉——向下就是朝外；对蚂蚁来说，向上则是朝向转轮的中心。

## 第二部 发动者及震撼者

奇怪的是，牛顿用了离心力的例子去证明加速运动是绝对的，而非相对的。他说，虽然等速运动明显地呈相对性（伽利略方式的相对论），加速运动却完全不同。如果你把一桶水旋转，离心力会使桶边的水升高，就如地球的自转把赤道部向外隆起一样。这个隆起就是东西在动而非静止的明显证据。

可是在 1900 年前，马赫指出，如果你让整个宇宙旋转，而这水桶不旋转，结果也一样，因此，你仍然不知道你是在静止中还是在加速中。

要设想如重力这种力会具有相对性，当然是件古怪的事。当你推动某物使它运动（如丢球），似乎就没有相对性。可是，如果我们考量这点：力的量度就是它产生的运动；以大的力去推某物，它就会比用小的力去推，更能走远（可能还要走得快些）。而如果运动是相对性的，而且运动来自力，那么发现力也有相对性，就不应当令人感到奇怪了。

### 重力是时空的曲率

广义相对论不把重力看成一种力，而是看成时空本身的曲率——在宇宙中被重物产生出的、不可见的凹洞。恒星、行星、甚至于极强烈的能量集结 ( $E = mc^2$ ) 都能把时空扭曲。经过这些凹洞附近的物体都会感受到无法抗拒的吸力，经常“下落”于其内，就如一辆车的轮胎陷入街上的凹洞一样。

在极端的情形下，这个凹洞可能变成所有接近它的物体的单行道，有进无出。例如当空间把自己弯曲到没

有任何东西（包括光）能离开的程度时，就形成了黑洞。黑洞，还有蛀孔及其他理论上的奇异物体，都来自爱因斯坦的结论，说重力是相对的；它不是一种强迫物体下落的力，而是一种空间的性质。东西向下落的原因是，这些径迹才是具有曲率的四维空间连续体（即时空）中的正常“直线”路迹。

弯曲的空间还不只是另一种描述重力的看法，它的确给出不同的结论，这些结论都已经在实验中证实了。虽然在人的尺度，人眼看不出弯曲空间，但它对于来自远处的星光及星系的光，扭曲效应都非常明确。在某些情形下，极大物质的集结可创造出重力“透镜”，产生出类似万花筒中的多重星系影像。

梭恩教授说自己终生都在探索“爱因斯坦留赠的惊人智慧遗产”的后果，对于这些物理学家来说，弯曲空间并不比其他物理学家研究的恒星、粒子等更难去设想。他指出，毕竟“你也不能用肉眼看到原子，你也不能用肉眼看到空气。”

但是对我们这些外行人来说，弯曲空间仍然具有令人难以释怀的吊诡性。毕竟我们要问，什么是“平直”的空间？两点之间最短的距离线是直线，那平直的空间是什么意思呢？大部分时候我们说“最短距离”时，是以视线或者光束走的线为凭的。可是我们的前提是光走直线。如果光束走了曲线，那是不是说，光束在弯曲空间中走了直线？或者说，它在平直空间中走了曲线？甚至于有些情形，两点之间的最短距离是“按你的表来计算，需要最长的时间才能抵达的路线”，这是因为当你走得快时，你的时间会“慢”了下来！

## 第二部 动发者及震撼者

总而言之，相对论并不是说每一件事都是相对的。相对论说的是外貌看起来相对的事——你已经知道这一点了。一点不奇怪，当你从不同观点去看东西的时候，你认知到的形象就会改变。这种事天天发生。奇怪的是，你居然有办法从这么多的不同观点去观看，还能得到同样的结论。一旦你发现了哪些东西是绝对不变的时候，你就学到了哪些东西只是表象而已。

## 第三部 线与结

大多数情形，那些在星系图片中看到的美丽螺旋，都不是星球所在地的模样……这些从星系盘流出来的螺旋模样，只不过是不断再生的力所造成的、最容易看见的表征而已。

——施莫林 (Lee Smolin),  
《宇宙的生命》



## 第九章 波和四溅的水花

心灵是什么？那些有意识的原子是什么？上星期的马铃薯！这就是我们如何能记得一年前我心中在想些什么的方式。但是心灵的物质组成，早就已经新陈代谢过了。

当我们发现，多久时间后，大脑内的原子都要被其他原子替换掉，这意义就很明显了：我们称为个性的东西，其实只是一种模式或舞蹈。原子来到我的脑中，舞蹈又舞蹈，然后离去。总是有新的原子进来，总是同样的舞蹈，都能记得昨天的舞蹈是什么。

——费曼

费曼的话表达了物质世界可能传达给我们的最古怪启示：“舞蹈”要比原子更具真实性，物质世界的“抽象”模式要比你能触到或感觉到的东西更具体。使物质和力成型及具永久性的，大都是那些无法触摸、不断重复的旋律；咏唱这些旋律的是永远在更换成员的合唱团。

## 第三部 线与结

原子来，原子去，可是记忆能一辈子都在。重力定律把恒星及行星吸成圆球形，无论它们的组成为何。量子力学使黄金为黄金，无论它在什么地方，无论过去在哪里。

物理学家从模式（Pattern）中去寻觅潜藏的力；父母、心理学家、经济学家亦然，有时政界人物也如此。但常犯的错误是，在寻求似乎呈具体性的个别例子时，经常把模式认为是没有实质的东西。其实，模式比岩石或原子或黑洞更真实。模式就是我们。

按照传统科学观，人体内的原子每隔七年全部都要被替换掉。如果你的“自我”就是组成你的原子，那么每隔七年你就变成为另一个人了。从今天到明天你就不完全是同一个人，甚至于从这一瞬间到下一瞬间，你也变了个人。

很显然，我们不以组成人的原子来替人下定义。“如果辛普森<sup>①</sup>的案子因上诉又上诉而拖上七年后，他就据这个理来要求判他无罪：‘呀，你们花了这么多时间来判我有罪，可是我已经不是同一个人了。’当然这是荒谬的答辩，”史丹福大学专门研究自我的哲学家培利（John Perry）这么说道：“我们要审判的不是原子，而是人。”

或者考量一些较具体的物体，如一张椅子，费曼这

① 译注：辛普森（O. J. Simpson）是美国美式足球健将（黑人），娶一白人为妻，后来分居。20世纪20年代某日，辛普森的妻子和一位餐馆侍者同在她家中被人用刀刺杀；那位侍者是要把她遗忘在餐馆的太阳眼镜拿还给她，而到她家中的。有人看见在这件谋杀案发生的时候，辛普森在她家附近徘徊。警察并发现有许多他涉案的蛛丝马迹，可是因为办案的警探是种族主义者，正在写一本诋毁黑人民族的书，加上办案处理证据的人员马虎，使得陪审团认为这些蛛丝马迹的证据有问题，因而判决辛普森无罪。可是被害家属在民事法庭中控告辛普森，却告赢，得到所有家产的赔偿。这件事成为20世纪20年代中极为轰动的头条社会新闻。

么写道：

哲学家经常这么说：“好吧，以一张椅子为例。”他们一这样说，你就知道他们连自己都不知道在说什么。什么“是”一张椅子呢？好吧，一张椅子是放在那里的某物。某物？什么某物？组成它的原子不断地蒸发出去；不是很多，可是总有几个。而尘埃不断落在椅上，溶合在漆中；因此，如果要替一张椅子下精确的定义的话，就是明确说出哪些原子是组成椅子的，哪些原子是空气的，哪些原子是尘埃的，哪些原子是涂在椅子上的。而这些都不可能做到。

涡流、漩涡及雨点都是水分子的模式，几乎靠水分子本身就能独自存在（由哪些水分子组成都无关紧要），水在这些模式中流动<sup>①</sup>。虹仅是从水滴中折射出的光的模式而已，那是可以让每个人看到的、从不同水滴折射出来的不同的光。每一个人都以自己的观点去观看一道虹；每次看到的都是一样的彩色弓形模式，因而把人们唬住了，认为它是具体的“东西”。

水分子之所以有这些性质，是来自构成它的氢原子和氧原子的模式。使得水成为生命之源（造成血液、汗及眼泪的东西）的品质，都来自氢、氧原子的搭配。同样的搭配也在每一片雪花及每一个肥皂泡中反映出来。

即使充满了恒星的星系也是一种抽象体，意思是说，在旋臂上的恒星不断换新。由恒星形成的旋臂，甚至还

<sup>①</sup> 原注：司蒂芬（Peter S. Steven）写了一本极美好的关于这主题的书：《自然界中的模式》（*Patterns in Nature*）。

### 第三部 线与结

以不同于恒星的速度在星系中旋转。太阳目前正好在旋臂之间，可是有一度它也会在旋臂之内，而如果太阳活得够长的话，有一天它也很可能会移居到内部的旋臂去。那里是中年恒星之家。

抽象体似乎带有一种魔魅性，因为它们可以单独存在，不需要物质；同时也因为它们能做出物质本身做不出的事。就好比家庭的特色及传统能延续下去，远超过一名成员的寿命。

## 模式万能

所有自然律其实都是观测到的模式，那是物件与事件之间的关系。它们有极大的威权，因为它们允许无限的种类出现，可是又具有令人惊讶的规律。所有的人，就如植物和所有的树一样，都是从同一模式中砌出来的，可是同时又表现出范围非常广阔的个别差异形态。我们都类似，可是又都不同。

科学家经常把这些模式或“定律”写成数学公式，因而使人们得以探测远离人类经验以外的领域。模式和人不一样，能安全去到极端的地方。模式可以告诉你，如果你把钱放在银行中 100 年后，会怎样；或者告诉你，100 万年前地球上的生命是怎样的。模式能朝外推演过去，也能内插推算。它能告诉你在原子对撞中，内部发生了什么事，也能告诉你，在无穷大的重力下，例如在黑洞中，物质像什么。

对人类的生存来说，认知这些模式是非常重要的事，因此，我们经常看到“并不真的在那里”的模式，譬如

“在云中”、“在天花板的裂痕中”、“在月亮上的老人”。实际上，这些模式很具主观性。在中国，月亮上的这类模式是“兔子”。而我们叫做北斗七星的，在英国则被解释为耕犁。

可是不论怎么说，几乎所有看到模式的人都把这些模式加总起来，成为更广大的现实，医生去找出疾病症状的模式，记者去访查他们称为社会趋势的模式，投资者看市场趋向的模式，而科学家则去寻觅他们叫做自然律的模式。

## 波，真不是东西

在自然界中特别持续不断的模式是我们称为波的事物。什么是波？波一定是某种振荡，可是你也可以有振动而没有波。例如在太空中，把铃击了一下会振动，要是并没有产生波，那是因为在太空中没有空气来传播声波。正常情形下，任何一种物体的锵锵或扰动，都能送出有远大影响的波。相对来说，四溅的水花则是昙花一现的事件。爱得色车<sup>①</sup> 溅出昙花一现的水花，可是猫王和爱因斯坦的影响却有如波的广大。

波和四溅的水花的区别是，波可能比自己还要大。波可与产生它的扰动源分手，能载着资讯离开到很远的地方去。波能绕着角落走，能走过物体，有时能把载人的船翻覆，甚至于把整个国土都淹没。一旦离开波源而

<sup>①</sup> 译注：20世纪60年代，福特汽车公司推出一型汽车，叫做爱得色(Edsel)型，可是此车是抄袭其他型车的，并无特色，因此，没几年这型车就告寿终正寝了。

## 第三部 线与结

自由行动时，波的强度和任何事件无关，可是自有人们期望不到的威力。它能与其他的波起作用，起了作用后还能成长到令人恐怖的程度（或者有时完全消失）。

波能做出这些壮举，因为它的成分不是“东西”，它是资讯的运动。例如流行时尚的波动开始时，可能只是四溅的水花。可是一旦传播了以后，这波潮可以单独行动，不依赖被卷入这波潮的人。人只是传送这种波的媒介。这波本身的组成是一种模式：人们一时兴起而对某时尚有心血来潮的狂热，及后来又失去兴趣的过程。人们仍在那，只是这波蔓延开来。同样的，思想及感觉的波动是以电流的方式被神经传播过你的整个身体。可是神经并没有动，还在它们原来的地方。

事实上，大多数的波很快就死去了。只有当能量不断注入时，例如人们对这波流行时尚感到兴趣，风在大洋中作浪，新的电源不断沿着神经刺激，就像电话缆线中途的许多增音器一样，波才能继续走下去，甚至还能把它的强度增大。

有些四溅的水花能产生出不只一个波。当你把一块石头投向水中时，在水附近的空气也被推动。就如在长弹簧玩具上送出的波一样<sup>①</sup>，或者像交通阻塞时一辆车轻碰了前面一辆，于是就送出去不断轻碰的波。（可能还送出火气！）

被推动的空气到达你耳朵，你听到以后就成为声音。上下起伏的水波在水中传播，偶尔把所有浮在水上的小

<sup>①</sup> 译注：长弹簧玩具（slinky）是压缩得很紧、相当软的长弹簧玩具。把它拉长后，如果在一端稍加扰动，可以看见波从一端到另一端再反射回来，直到能量消耗完为止。如果直放在楼梯台阶上，用手拨后，弹簧还会自己下楼梯。

棍、树叶、鸭或小舟也上下起伏。这些小棍和小舟并不跟着波到对岸去，就如水粒子也不跟着波过去一样。这波在水中传播过去，就像谣言在群众中传播。

换句话说，造成波的不是动的东西，而是运动中的资讯。光波及声波载送声音、文字及图像走。大洋的波载送来自海洋远处暴风的讯息，海啸的潮浪载送地球某处地震的讯息。

在骨牌连锁反应中<sup>①</sup>，第一片倒下的骨牌就把它的倒下传播出去，直到最后一片骨牌倒下为止，可是骨牌并不移动位置。在骨牌行列中传播的是骨牌“姿态”的变化：从站着的变成倒下。移动的不是骨牌，而是一种情势、一种事态。

这就是为什么波能互相干涉，可是还能保存自己特性的原因。两组波能进行相长干涉（constructive interference），即波峰遇上波峰，波谷遇上波谷，因此，这两组波的效应可相加在一起。可是当两组波进行相消干涉（destructive interference）时，一波的波峰和另一波的波谷相遇，两波的运动相消，结果是没有波了。

## 干涉模式无处不在

当两件东西加起来变成没有的时候，可以很确定的说，这两件东西都是波。两座房屋或两枚小石子不能加成没有房子或没有石子。几世纪以来人们认为，两束光

<sup>①</sup> 译注：把骨牌一片一片堆叠好后，把第一片推倒，其他的骨牌会一一倒下，叫做骨牌效应，用来作为大势已去、垮台或连锁反应的隐喻，如中国所说的兵败如山倒。

## 第三部 线与结

波能互相干涉因而显出暗条纹这个事实，就是很稳固的证据说光一定是波。直到爱因斯坦来到，把牛顿认为光也有粒子的性质这个信念，以童话式的一吻而使它复苏。20来年后，人们发现所有的粒子，电子、质子、中子等等，都具有干涉的现象。如果光波具有粒子的性质，那么可以说粒子也具有波的性质。

只要这类模式以同一频率出现，它们总是能产生相长干涉或相消干涉。就好像两个人以同样的每秒 10 步的步伐向前走，如果一开始时他们齐步走，他们就一直齐步下去；可是如果一开始的时候就不齐步，那么就一直不齐步下去。

然而事情通常没这么单纯。常见的是，两个紧密相关的模式倾向于某部分齐步、某部分不齐步，因此，在某处它们相长干涉，而在另外的某处却是相消干涉。音响的期间和静寂的期间交替出现，结果是听得出来的差频或拍效应，可以在音调只相差一点点的两个乐器发出的乐音中听到。同样的干涉现象也能在肥皂泡上、水而的薄油层，及蝴蝶的翅上看到<sup>①</sup>。

① 译注：这些交替出现的相长干涉及相消干涉，原因是能量不灭定律。如果两个波能完全消掉，那么它们的能量到哪里去了？因此在某地方，波被相消干涉消掉，其能量就跑到相长干涉的地方去。关于乐器的干涉，如果有一台钢琴，就可以做以下的示范。钢琴上的 C 键发出的基音频率为 216.62（以 A 为 440 为准），F 键的频率是 349.23。C 键为第四谐音频率为 1046.48，而 F 键的第三谐音为 1047.7，二者相差 1.22，因此把 C 键和 F 键同时按下去，可以听到这二键发出的音的第三谐音及第四谐音的拍或差频，为 1.22。因为不是基音的干涉，所以要仔细听才能听出来。你可以听到每秒 1.22 次的嗡——嗡——嗡——嗡的差频拍子。又，如果读者好奇，乐阶是怎样定出来的，定法如下：八度音的频率相差为两倍。每一半音之间的差为 1.059463054 倍，这数字是  $\sqrt[12]{2}$ 。12 这数字来自乐阶中，如果加上半音，共有 12 音。国际乐音的频率标准是：中间 A 音的频率是 440。肥皂泡很薄，比光波大不了多少，因此照上去的白光因为干涉现象，不同颜色的光能相消干涉或相长干涉，相长的地方就看到那个颜色，相消的地方就看到它的补色。水上的薄油层及蝴蝶翅上的颜色亦然。

干涉现象这个大模式，来自两个其他模式的叠加，因此它是极好的放大镜。镭射的干涉可用来测地（甚至于用来测量月亮的距离），而 X 射线的干涉则用来研究晶体的构造。从百亿光年以外奔来的似星体电波，已经被地球科学家利用来量度大陆漂移的极小运动（大约每年数厘米）。大多数的新型天文望远镜（甚至旧型的）也都装上了干涉仪，以便把两个不同的接收器截来的光波合并在一起，形成更清晰、更雄伟的影像。

有些物理学家甚至于把原子的量子态描述为粒子波的干涉模式。换句话说，当粒子（是否可以称为“粒子波”呢？）进行相长干涉时，它就产生出一种稳态。因为自然界中所有的粒子都和波的模式有关，所有原子及原子组成的分子也都是这类模式的模式。或许物理学家罗伯·欧本海默说起电子干涉可产生许多“新奇的效应”时，他的思路似乎也很类似。他说：“这些干涉……导致磁石的永久磁性，导致有机化学中的化学键，导致任何我们能想像得到的生命物质、生命本身的全然存在。”

可是，电子是波的事实并不能摒除它也是类似点的粒子。所有的实验都证明它如此<sup>①</sup>。物质波不是分布波——即分布各处的波，如光波。我们最好把它称为机率波，这种波绘出粒子在某时某地的机率。就像倒骨牌中行进的波，或者麦田里被风吹起的麦浪，在这类波动中分布的不是物质，而是一种态，或情况，它是搭载了资讯的波。这和 40 年前京斯爵士观测到的相符，即电子波

<sup>①</sup> 译注：只有基本粒子才是点粒子，所谓点粒子就是它在数学上的构造为数学上的点，没有大小，只有位置，实验证明电子的大小小于质子的  $1/1000 - 1/10000$  以下。质子和中子都是复合粒子，即由其他基本粒子（夸克、胶子）所组成的，因而和原子一样有大小。

在实质上是“知识之波”。这种波绘出的是粒子最可能出现的地方（如果我们想要去测量的话。）

当这些波互相不干涉时（甚至于在干涉后），大多数的波都互相穿过，就如鬼魅或幽灵一样，音波、光波、航行的船只发出的船头波等，都不断互相穿过、干涉。可是很奇怪的是，当它们到达目的地的时候，似乎都没有变过，仍旧完整；如果它们不完整，或变了，视听的影像就会纠缠在一起，成为不可穿透、纠缠在一起的白杂讯<sup>①</sup>。

### 爱丽丝漫游兔洞的奥秘

当然不是所有的波都由四溅的水花开始的。海滩上的起伏沙丘、雪地上起伏的雪堆，甚至于旗帜飘飘的浪形、麦田的麦浪，都是被风吹出来的。电场“退潮”时造出流动的磁场，这磁场“退潮”时，又造出另一个电场，如此这般，就形成了光。月亮的重力场推动了许多大洋的波，因而形成潮汐。这些波的形态和行星、肥皂泡、龙卷风、六角雪花的外形一样，都是由少数几种力及运动造成的。而如果有些模式似乎重复出现，原因就是形成它们的力是自然界里的主流。

的确，有一种很特别的波——正弦波，到处都很容易见到。摆的运动，这种很基本的运动，形态就是正弦

① 译注：白杂讯（white noise）是不带资讯的波，如果用本书的四溅水花来作比喻，就是只有四溅出大小不一的水花、却无波的现象。白杂讯是通讯及科学实验中最大的问题，因为到了通讯接收器或仪器灵敏度的极限后，测量到的都是杂讯，目前一门热门的电脑应用学科，讯号处理（signal processing）就是在研究如何从表面上看来是一片杂讯之中取出真正的讯号。

波。而这也是卡罗构思《爱丽丝漫游奇境》中的兔洞运输方法的基础<sup>①</sup>。运用方法如下：

假如你跳进去穿过地球中心的兔洞，你会被重力向地球中心拉去，直到（在中心时）你的速度达到每秒五英里的最高速度。经过中心点后，重力会把你减速（因为地球大部分的质量都在你后面），可是你的动量会使你继续前进，直到你到达了地球的另一端，例如澳大利亚。如果你忘了抵达悉尼时要爬出洞的话，就会被重力拉回到你出发的原点。你能像人摆一样，来来去去地从地球的一端摆到另一端，直到摩擦力把你减慢下来。

这个运输系统的妙处是，任何兔洞式经过地球内部的旅程，时间都是一样的长短：准 42 分钟。当你跳入这 1.3 万公里长的兔洞到悉尼，或者 6400 公里长的兔洞到捷克的布拉格，或者 3200 公里长的兔洞到佛罗里达州的迈阿密海滩，时间都是一样，准 42 分钟后到达。你去迈阿密的旅程速度没有那么快，因为重力加速度没有那么大；可是你要走的距离也小些。

这也解释了为什么（在某个限度内）钟摆的摆动时间都是一样的，即使它摆动的幅度变小。离钟心远，把钟摆向中心拉去的力也大；因此距离愈大，力也愈大，可是大的力和大距离的效应互相抵消，所以，最后说来，一切都均衡。

正弦波是这种运动的图形。当一枚石子落在水中时，

<sup>①</sup> 译注：卡罗（Lewis Carroll）是英国数学家 Charles L. Dodgson (1832 - 1898) 的笔名。他有一天向一位小女孩爱丽丝讲他胡诌的故事，后来把这故事写出，成为到现在还很轰动的童书。书中把许多抽象的数学写成看上去是幻想的胡诌。书一开始时，爱丽丝看见一位穿了大礼服的兔子从礼服的钟袋中拿出卦。

它产生了具有类似性质的摇动——送出水波及声波（还没提到光波呢），所有的形态都是正弦波。

## 模式是力的图形

波只是自然界塑造的少数几种力及运动的基本模式之一。在这方面，重力有特别大的威力。一旦牛顿理解了行星轨道是由重力塑造成的之后，“一大堆其他东西都变成很明白了，”费曼这么说道：“地球是圆球的原因，就是东西都被重力往内部拉去，而为什么它不是正圆球，原因是外部被（离心力）向外拉了一点，二者均衡。至于为什么太阳和月亮都是圆球形，道理也相同。”

恒量和行星都是圆球形的，因为重力把物体朝其他物体拉去——地球上的人以自我为中心，把它称为“下面”。

而弯曲空间的形状，只是所有物体受重力之影响“下落”的模式，就如铁粉在磁石的影响下形成某种模式一样。从某意义说来，定出这些力的公式可以说是行为模式的数学措词。

椅子和黑洞，原子和蚂蚁，六角形的蜂巢和人骨，所有这些东西的形态都来自去适应自然界的拉力。汤普生（D'Arcy Thompson）在他的名著《论生长与形态》中说，任何物体本质上只是“力的图”而已。

模式似乎是短暂的，和蜉蝣一样地朝生暮死，可是最终说来它们还是物体的本质。它们是物质的波动。在命运和流行时尚的四溅水花都已经沉寂下来的时候，它们还恋栈徘徊，久久不去。



## 第十章 共振的魔力

他在大衣口袋中放进小振动器，出外去寻觅造了一半的钢构建筑。在华尔街他找到了一栋有10层楼高，只有钢骨，其他的建材还没有安装上去。他把这个振动器夹在其中一根钢梁上，告诉记者说：“数分钟后，我可以感觉到这根钢梁在颤抖。慢慢地，颤抖的强度增加，延伸到整个钢骨结构上。最后，这钢骨结构开始吱吱嘎嘎叫，摇摇晃晃起来，惊恐万分的钢架工人纷纷从高架上逃到底层，以为有地震。谣言开始流传说这栋建筑要倒了，警察已全部被征召出来。在产生任何严重的事故之前，我把这振动器拿下，放在口袋中，若无其事地走开。可是如果我把这振动器开动个十来分钟左右，就能把这栋建筑震倒在地。用同样的振动器，我也能把布鲁克林大桥（连接纽约曼哈坦岛和长岛的大桥）一小时不到就摧毁倒塌。”

——钱妮（Margaret Cheney），《特士拉<sup>①</sup>：一位走在时间前面的人》

① 译注：特士拉（Nikola Tesla），1856—1943，俄裔美国发明家，被人称为发明大王。曾任爱迪生助手，发明无数超时代的东西，为后来的发明开路，如机器人、雷达、霓虹灯、萤火灯、无线电遥控、无线电报、蒸汽涡轮、高频发电机、速率计、交流电动机等。现在最常看见的是特士拉线圈，能把低压变成能发出数英寸长的高频火花。他的名字已被国际采用为磁场的单位。可惜因为他的发明超前时代太多，因而经济效益不大，他死时分文莫名。

## 第三部 线与结

也许从科学之屋取来的题材，没有哪一个会像共振观念一样（共振是谐波持续不散的模式），能这么深地渗入日常语言中。人们经常这样形容：与时代同调、或不同调，和这人同调，或和那人不同调。人们也常常谈到共振（sympathetic vibrations 直译是互相体谅的振动，物理术语为“和应振动”或简称共振），说他们的波长一样。至于引起共鸣的理念、引起嗡嗡回响的逸事，也是周遭经常会听到的共振语汇。

在物理世界中，共振也同样无所不在。从土星环到彩虹的颜色，到次原子短暂的生命，都是被共振主宰的领域。研究自然界基础建材的物理学家，还经常把粒子称为“共振”，有时还把自己的工作称为“猎取共振”。

从英文的字面上来说，共振的意思是回响、回音<sup>①</sup>。它是把许多相似的小周期振动给同步化，成为大得多了的振动。塑泥不能共鸣，因为内摩擦太大，使它不能起振动；把一条手帕抛出去，它也只能掉下，不再弹起。要让一样东西起共振，需要有可以把它回复到初始状态的力，也需要有足够的能量使振动延续下去。诀窍是使它一再回响，因此，需要不停放入能量；放入的速率要比摩擦消耗掉的速率更大。

## 顺天时，识时务

有两个物体参与这种游戏，要比单独一个自己玩更好，因为其中一个可以把能量输送到另一个去。这就是

<sup>①</sup> 译注：共振的英文 resonance，字源是拉丁文及中古时代法文 resonantia，意思是回音（echo），和英文 resound（回响）同解。

共振（互相体谅的振动）的窍门。当人们谈及共振时，通常指的不只是动作的汇流：钟的擒纵棘轮在适当时机把弹簧稍放松一点，放出正好足够的能量去推动摆或晶体，使其继续走下去；或者两位商业伙伴在恰好的时机及恰好的地方，互相传送给对方一些商业灵机及精力，因而获致重大成果。

如果撇开塑泥和手帕不算，从总体上来看，这宇宙是非常有弹性的地方。从行星到原子大小之间的物体，几乎都能以一个或多个固有频率来振动；当其他物体以这些频率之一进行周期性的轻触时，就能产生共振。例如一队步兵齐步走过桥梁，而他们步伐的频率与这座桥的固有频率一样，发生的共振就可能使这座桥塌下。这就是为什么军队过桥时要变步走的原因。有些研究工作显示，由于共振的力量，巨大的冰山能被柔和的洋波拍裂开。甚至芬地湾 40 英尺高的巨潮，起因也是共振<sup>①</sup>。

我的物理学家朋友坚持说，只要有决心，一个小孩（或大人）能以一连串时机恰好的推动，让澡盆里的“水潮”汹涌澎湃到某程度，可把一澡盆水一次全都溅出。请读者不妨在家中试验一下。

特士拉，发明交流电的怪杰，对电流共振威力的妄想程度之高，甚至于还夸耀吹嘘说，他能用这共振力把地球一裂为二。

共振的威力不折不扣来自：时间对，地点对（即顺天时，识时务）。想要让共振发威，在你要做的事情与某

<sup>①</sup> 译注：芬地湾（Bay of Fundy），在加拿大东南部大西洋岸，以巨大的潮汐闻名。

物体或某人要做的事情之间，一定要谐和。镭射光的纯度高到几乎不可置信的程度，就来自这个事实：所有受激的气体原子都排队站好，使得只要有一点能量的推动，这些原子便以步调一致的模式放出光。

同样，土星四颗内侧卫星的运转周期，正好与土星环上、距土星中心一定距离的粒子的固有旋转周期有谐和关系。例如，在环上某一点，其周期正好是某土卫周期的 $1/3$ ；在另一点，是另一土卫周期的 $1/2$ ；在另一点，又是另一土卫周期的 $1/4$ ，等等。这些联合起来的重力牵引，足以把所有在这些点的粒子推出去或拉离开，因此，造成土星环里的间隙。事实上，如果没有这些共振，土星环就不会分裂成这么多道了，只会有一个完整的环①。

换句话说，共振能把许多小小的一推，叠加起来，结果变成很大的推劲。粒子加速器的原理也是如此，可把电子或质子推到近乎光速，就如一位物理学家指出的，“恰巧的时间在裤裆上的一踢。”日常生活中，这也是很熟悉的现象：已经十分愤怒的群众，只要小小的刺激，就足以造成暴动；餐桌旁的许多相互挖苦讥刺，最后能造成离婚。

## 共振，有声有色

可是共振远不只是冷酷无情的放大器，它也是我们

① 译注：土星环都在土星的半径2.2倍以内。在这距离以内，如果有任何卫星，它们所受到土星的潮汐力（离土星近的一端的重力与远的那一端的重力之差），能大于把这卫星聚集在一起的重力，因而这卫星会被土星的潮汐力拉散裂开，成为碎片。这个关系是法国数学天文学家洛希（Edouard Albert Roche, 1820—1883）发现的，称为洛希极限（Roche Limit）。可是土星的环有很多，其间有空隙。最大的可以在小型望远镜中看到。这些环的成因到了20世纪才知道来自共振。

耳朵听到的音乐。小提琴的弓在弦上滑动，在不大瞧得出来的精确时段推动琴弦，使它继续振动。这乐器的琴身也谐和地振动，发出极丰富的泛音。吹奏长笛，你是让这长笛中的空气在许多不同频率下发生共振，依声波在吹嘴和指孔之间来回的距离而定。这些指孔正位于能使长笛发出正确笛音的位置，可是你的吹奏技巧决定了你吹出的笛音是否最纯、最悦耳。

共振最有用的特性是能做成一种精确的工具，把某个振动从一大堆振动中拉出来，把某音调从混淆的噪音中区隔出来。设想你在一条布满圆石子和铃铛的路上行走，一面走一面乱踢，铃铛会叮当发响，而石子不会。为什么？因为你踢出的能量会把这些石子踢得到处乱飞。可是铃铛会把一部分的能量吸收，因为它有天生的弹性。这些铃铛能载入些能量，足使它们叮当发响。

这些叮当作响的铃铛，很类似小提琴或长笛、男声和女声、网球拍的噼啪声、球的噗噗声，因为各自具有独特的泛音。一旦受到搅扰，每个物体只按自己的固有频率振动及回响，所有其他的振动都互相抵消了，或者被送到任何方向去。你绝不会听错你小孩的发音，因为从肺部冲出的空气，开始时呈噪音的形态，可是在经过胸腔、喉管、嘴、鼻时，这些器官各自以特别的形式进行的选择性的放大——就如你的收音机的调谐器只选出一段非常窄的波段来放大，不顾其他的波段。其他波段的波都被散射掉了。

同样的性质把你看到的每一物体都上了颜色。钠光是黄的，因为钠原子只以那些你的大脑认为是黄光的频率振动。水银原子的振动发出蓝光；氖原子送出的振动

到了你脑中，就成为“红色”。这些颜色不是单一的音符，而是原子特有的“和弦”。

当原子吸收光而非发射光时，它们留下了影子，可是在这些和弦里的音符还是一样的。同样的，恒星发出的白光在通过恒星表而时，如果表面的气体含有强力吸收绿光的元素，到达地球的星光在绿色光谱部分就会有一条尖锐的暗线。这种长距离化学分析告诉我们，我们和恒星都是用同样的原料做成的。

在地面，共振吸收也把所有的物体都上了一层颜色，从跑车到水果。麦克印托什红苹果把太阳光中我们称为蓝光及绿光的振动频率吸收了，而把其他的光反射，因此我们看到它呈红色。绿叶中的叶绿素分子的振动频率在红光及蓝光范围，因而把这两色吸收，把其他的颜色反射，因此，看上去呈绿色；同一叶子在秋天时吸收绿光，因而反射出秋日的黄红色彩。

紫外线的振动和玻璃分子的振动谐和，而可见光能够透过；除非你把窗子打开，你并不会晒黑。大气中的臭氧层就如防晒油一样，也把太阳射来的紫外线共振吸收，保证我们不至于被这有伤害能力的射线照到。

即使虹彩也来自共振。经过棱镜或水滴后，白光中的各色光被散开，由于光谱的紫色端的光比起红色端的光来说，和玻璃或水分子更能共振。离玻璃分子共振愈近的光，在这介质中滞留的时间也愈长。共振愈纯，它“叮当”的时间也愈长。紫光“叮当”的时间最长，因此在经过棱镜时，它被折射得最多。

## 共振，无处不在

换句话说，共振决定了什么要沉下，什么能通过。它造成可见与不可见、透明与不透明之间的差异。金属不透明，因为金属的自由电子能以几乎所有的频率振动，因此，把各种频率的光都吸收了。这些自由电子能把这些频率的光再辐射出，这就解释了为什么金属能用来制作镜子。可是，从另一方面来说，几乎所有的物体在无线电波段都是透明的，因为在这些频率中没有共振。所以，你在有厚墙的屋里也能收听你的收音机（及看你的电视）。

有时共振能把东西变成单向透镜，或者辐射陷阱。例如，可见光摄入一片玻璃窗后，有部分被一位穿了大红衣着的女士吸收了，只有红光能透过玻璃反射回去。其他被大红衣着吸收了的光，最后都会辐射出来，成为热辐射。可是热辐射不能透过玻璃窗，它被陷在窗玻璃内了。结果就是所谓的温室效应，对于在温室栽培植物的人来说，这是再好不过的事了；可是对我们的大气来说，温室效应是很危险的。从燃烧油或煤产生的二氧化碳能把天空变成单向透镜，把太阳的热陷捕在内，把我们的环境变暖，甚至变到危险的程度。

共振最具魔力的一面，就是能使东西从无变出有，就如魔术师能把兔子从帽中拉出来一样。当你把收音机调到共振频率时，电台播出的音乐就如同从空中蹦跳出来一样。汽车在路上平稳前进的时候，有时突然会大震而特震，原因是车轮没有平衡好，轮转周期正好与弹

簧的固有节奏起了共振。

有些物理学家用这个类比来解释共振如何能产生出粒子来，在粒子物理的基本小宇宙中，每一种能量都有对应的频率，反之亦然。这是很自然的物质互补原理，既有波又有粒子的特性。物质因为具有波的性质，也就有了频率。就此而言，每一粒子波都有特定的频率，而这个频率对应于某一特别的能量。能量（按  $E = mc^2$  这个公式算出）与质量相当，因此在很基础的意义上，某物“振动”的方式似乎就决定了它是什么。当加速器物理学家把粒子束“调谐”到能与每秒  $7.5 \times 10^{23}$  周的能量爆丛相撞时，喊声太上老君急急如律令！他们就创造出粒子了（或者，应当说是一对粒子）。那就和你以恰巧的吹力在可乐瓶口吹一下，能吹出乐音一样。

当然，所有这些类比到了次原子领域时，就不适用了。可是你仍然可以设想，这些粒子/共振就如小圆石路上的铃铛。大多数的碰撞产生出的是许多被踢起的小圆石，它们的能量及运动散布在各个方向。可是不时你会击中某物，它“叮当”的时间会比较长，因为它有一种可把能量滞留一阵子的特性。你就会知道那里有一些很特别的东西，你甚至于能称它为粒子。

这样想起来，这宇宙还真不错，它本质上可能就是次微观世界中铃铛不断响着的交响乐。



## 第十一章 对称性和影子

人们想像出神祇来，给他们穿上人类的衣着，外形和声音也与人相像……是呀，伊索匹亚的神祇都是黑色皮肤、鼻子扁平，色雷斯人<sup>①</sup> 的神祇都是红发蓝眼的。

——色诺芬<sup>②</sup>

有时模式会摆错地方。我们认为是“外来”世界的讯号，其实只是头脑中创造出的幻象。常常很难看出这些差异，因为模式从这里到那里，从外界到内心时，会改道而行。光和声音的模式，就和神经的电讯号一样，被弹来弹去，经常走错地方，使得人们无法知道它们来自何处，或者是否载有讯息。

回想一下，有多少次你看见一道反光，就假定它是

① 译注：色雷斯（Thrace），在爱琴海北岸，古希腊的一部分，现在分属土耳其和希腊。

② 译注：色诺芬（Xenophanes），公元前 430~354，古希腊将领、历史学家及哲学家。

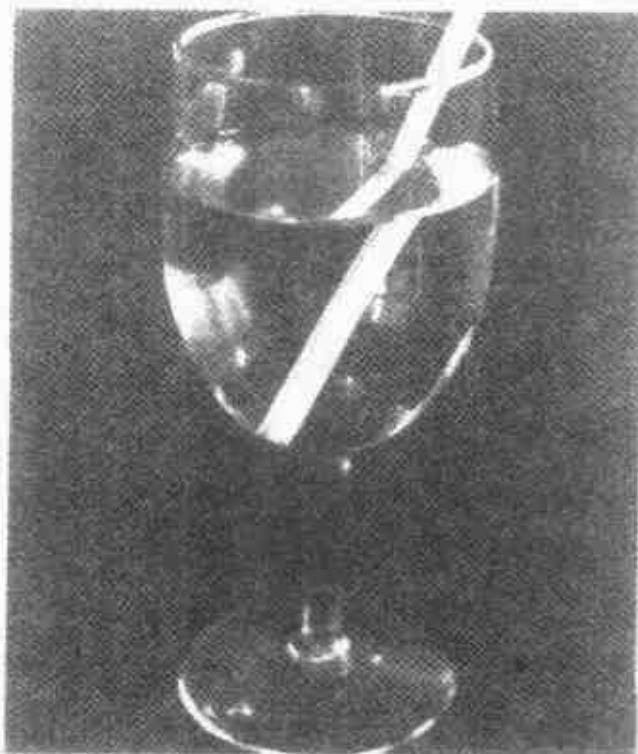
通往外部世界的一扇窗。反光本身说来和围绕我们的所谓具体物件一样真实。但除非一道光射到了你，你不会知道在射中之前它在哪里，即使这个光源似乎就在你眼前。你也不知道那个在你车外晃荡的红光点是自行车尾灯的反光，因此，你误认为那是幽浮（不明飞行物）。

反射能把光及其多色的影像转来覆去，就像在旋转门中一样。可是这个旋转门是不可见的，你无法知道它在射到你以前旋转过多少次。我朝窗外看时，我认为我看到了半英里外池塘的边缘。可是其实我看到的是被那池塘反射的阳光——被空气分子吸收后再发射出来，历经不知多少次吸收发射的光，在进入我的窗、经过我眼睛的角膜时，又被折射不知多少次。如果我看到了这池塘的光，等于也看到了所有从那里到这里之间发生的事。

所有我们处理到的资讯及理念，都已经被好多层认知及偏差所过滤过了——不管是自己还是围绕在周围的人。从光带来的影像也一样。我儿子有一次观察到，恒星和行星之间的区别是，恒星“如点状”。可是从街灯及圣诞树上的装饰灯发出的光芒，远看也如点状，却不是由恒星产生的。恒星如太阳，是巨大的气体圆球。你看到的光芒或光点是光被你的角膜透镜中类似洋葱的层层透明细胞所创造出来的。恒星本身并不闪烁。它们似乎闪闪发光的原因是，在我们和恒星之间的空气经常在飘动，把从恒星发出的光不断地摇晃。我们观看这些恒星时所看到的闪闪亮光，其实是我们思考之眼看到的闪耀之光。

## 反射是一种特别的打岔

天文学家和粒子物理学家经常担心，这些光及声音的模式是否被扭曲及打岔，加入了枝节？因为他们在解码这个物质世界的奥秘时，用的就是这些资讯。从那颗恒星来的光是真的黯淡呢，还是它发出的光有一部分被星际尘埃所吸收了？那讯号过来的路径是一条直线呢，还是已经被某重力场弯折或拉伸过了？那个粒子的径迹是直接来自碰撞中心，还是反射过来的？



光从水中进行到空气中，发生折射，把水中的影像也带着偏折了，因而可以造成种种奇迹。（Copyright 1980 by Nancy Rodger）

反射是一种特别的打岔，在自然界中到处都存在的

程度令人惊奇。几乎每一物体都在某角度反射某些东西。回音是被谷壁反射回来的声音。水波被海岸线反射，把海岸线的轮廓反射回大洋去。你能把一本书或桌面变成一面镜子，如果你从很低浅的角度看过去；就如小孩学会如何能把石片丢出，使它在水面上飞掠，因而把池塘变成能反射石片的镜子。作家墨奇说，在阿尔卑斯山上有一个水面如镜的湖，枪手可以瞄准水中倒影开枪打中隔岸的靶。

就此而论，几乎我们看见或听到的，都是从其他物体反射出来的。并非所有的反射都从平滑的镜面而来，可是任何不自己发光的东西，一定要暴露在其他东西发出的光之中。当你在一间黑暗的房间里把灯打开时，灯光被墙反射，照到家具上去，最后反射到你眼中。每一样你在房中看到的东西其实都来自反射的灯光。即使长沙发的红色，也是隐藏在灯泡发出的白光谱中的颜色；当白光照到这个红布绒上时，所有除了红光以外的色光都被吸收了，而剩下来的红光被反射到你的眼中去。

白色的粗墙是很小的平面的组合，与雪一样，千变万化，可把灯光变成耀眼的白。如果你能捡出这类的小平面，你可以看到，它就像一小面镜子一样，能反射出影像。可是把这么多的影像混在一起，就产生出了白色。同样，一片平滑的铝箔也像一面镜子，除非你把它揉出皱痕；揉出的皱痕愈多，它的反射愈像白墙。在稍被扰动的水面，这种效应更为熟悉，在这种水面上，月亮或街灯的影像被多次反射拉伸为长亮光，效果就像许多排列在一起的镜子。

白天，我们到处都有的“灯”就是太阳。阳光被树

顶、云层及空气反射到各处去。如果没有空气把光反射，天就是黑的，因而太空人只能在黑暗中旅行。古时候，我们晚上的灯就是月亮，它把阳光及地球照上去的光反射出来。这也解释了为什么我们能在“新月的怀抱中看到旧月”（黯淡的整个月亮的影像，依偎在一缕弯弯的新月中）。月的盈亏反映出的是日、月、地球之间永远在变动的关系。

反射甚至于也让拉塞福能看到原子核，反射至今仍然是阐明原子内部秘密的主要工具。当拉塞福以次原子粒子去轰击金箔的时候，有些粒子被反弹回来。今日人们经常用反射回来的电波及声波（雷达和声纳），去看许多不同种类的东西。被地球内部反射的地震波，帮助了地质学家去绘出地球剖面图。身体内部的器官把声波反射出来，成为超音波图，可以让怀孕的母亲及父亲看到还只有几个月大的胎儿。从海底反射出来的声波，可以发现沉没在海底的宝藏及数英里深的海底峡谷。

## 对称之谜

反射最迷人的特性就是它们内在的对称性，这是另一种不易捉摸的模式。镜像大致说来是对称的；可是科学家所认为的对称，和一般人的不同。举个例子，对大多数人来说，雪花呈高度的对称性，可是对物理学家来说，撞球才具有至高的对称性。对称性的程度愈高，你能把这件物体转动某角度、外形看起来仍然一样的方法也愈多。镜像之所以有悦人的对称性，原因是 you 不能区别出哪个是镜像，哪个是实物。

从许多方面来说，人也具有高度对称性。我们有左手及右手，戴左右手套及穿左右鞋<sup>①</sup>。可是我们的心脏却偏左，盲肠在右。

无生命的东西及物质世界中的东西并不全都呈现对称性。一直到几十年前，人们都还假定物质世界中发生的事都呈高度对称性，物理并不能区别左与右。1957年，吴健雄女士发现了在放射性衰变过程中，有左/右的区别，才打破这项假定。然而在实验宇宙中，这个对称性的问题几乎还没有解答。从许多方面看来，这问题才刚刚开始。

当然，你能看出多少对称性，是相当主观的。如果你有色盲症，红灯看上去就和绿灯一样，你无法区别停车或开步走的指令；在晚上你也不能区别一艘船朝哪一方向移动，因为你无法区别港边（左面）的红灯或星边（右面）的绿灯。

可是对称性仍然渗透了自然界，它是力与美的平衡：对每一个在左的东西，就有一个在右的；有阴，就有阳；有颜色，就有补色<sup>②</sup>；有粒子，就有反粒子。的确，观看反粒子的方法之一就是把它看成虚粒子海中的“洞”（见第一章第22页注释<sup>⑤</sup>）。

其实“无物”和“有某物”之间，经常显现出一种很奇怪的对称性，两者可以构成完美的整体。某模式中不存在的某部分能告诉你的，和存在的某部分能告诉你的，经常一样多。例如，研究结点（knot）的数学家研究

① 译注：其实鞋分成左右是很迟的事，约在1800年以后。

② 译注：颜色和它的补色（complement）合并起来就成为白色。颜色的补色是把这个颜色从白色中去掉后剩下来的颜色。

结点的互补部分（或“非结点”），来得到这些纠缠在一起的形态的性质。这些“非结点”能供给与结点相同的资讯。同样的，恒星光谱中的暗线能告诉天文学家，这恒星的大气中有哪一种元素。

## 影子也富含资讯

艺术家鲍伯·米勒（Bob Miller）以“不见了的影像”或影子创出惊人的艺术风格闻名。在后来被称为“鲍伯光行走”的舞台艺术表演中，米勒把他的双手举在头上，以手的手指交叉，手指之间便出现不规则空隙的网络。可是在地上，打出的灯光透过手指间的空隙，照出了完美的圆光点。它们代表的是闪烁不停的太阳影像。他的手指间的空隙就和针孔照相机的针孔一样，或者眼睛的瞳孔一样，可以从四周混乱的光，挑择一部分出来形成影像。

这与你在树下看到太阳的影像相似，阳光就好像撒满一地的钱币。它们是透过树叶间不规则的空隙而形成的太阳光影像。日食的时候，这些圆形影像会慢慢变成新月形。

可是，如果影像是一丝选择过的、携带了资讯的光线，那么影子是什么？影子是同类的光线被挡住的地方。米勒经常在树下的地上寻找模糊的影子，然后把手指弯出洞隙，让穿透下来的阳光造成太阳的影像。在地上你可以看见很清楚的太阳影像，其中有树枝的黑影。可是最惊人的是，当他拿出小的黑点子，把它投射出影子，而不用小洞隙去造成针孔像时，地上就会出现一个太阳

黑影，在这较暗的太阳影像前面有白色的树枝影像。

换句话说，影子是失去了的影像，但它也是互补的影像，它和把白色中去掉某颜色后剩下来的颜色一样，也和夜晚是白天的互补一样。影子供应的资讯和影像供应的一样，可是这资讯的形态有互补性。

在米勒的某一件艺术品中，黄色太阳、红房子及蓝色的云等的针孔像，变成了紫色的太阳、绿房子及橘色的云。米勒还透过一系列的雕塑及展示，证明影子也能含有投射出这些影子的光所具有的资讯。这影子居然和原来的光一样富含资讯。

令人好奇的是，影子和其他“负或否定性”的东西一样，声誉居然如此晦暗。毕竟在我们家及办公室的电线中流动的是“负”电。这个负电是含在很真实的叫做“电子”的粒子中。它不比它的反物质（正子）更实在或更不实在。其实我们称为反物质的东西很可能是某些未知宇宙中的正常物质。我们称它为“反”的原因是，从某个重要的意义来看，它和组成我们宇宙的物质是相反的。

但在现今这个时代，甚至于已认为真空中充满了能量，宇宙从虚无中创生，电脑用0与1储存了同样多的数位资讯，我们是应当与“负或否定性”讲和了。结论是，“无物”实际上含有许多东西。或者如希腊哲学家卢克利修斯<sup>①</sup> 所说的，“实在的东西并不比不实在的东西更为实在。”

<sup>①</sup> 译注：卢克利修斯（Lucretius），公元前90—50，希腊、罗马时代哲学家。原书写的是Leucippus大约有误，因为Leucippus是希腊神话中的人物，而非真人。

## 影子毕竟只是影子

即使是透明的东西也能投射出影子来。如果你拿透镜，或者一副眼镜，朝点光源看去（任何不四处分散的光都行），你可以很清楚地看见它把亮点从一处传载到另一处，可是它同时也留下一道影子。当棱镜把光分散成各种不同的色光时，其实它就是在投射出影子。每一种色光所在的地方，就没有其他颜色的光；每一种色光所在的地方就是其他色光的影子。

光并不是唯一能投射出影子的东西。一把雨伞或一栋建筑不只能投射出光影，也能投射出雨的影子。天花板上的天窗投射出雨的影子，可是能让可见光透过。

很少能把“所有一切”都盖掉的影子。其实影子很像过滤器，它们并不把东西挡掉，而是把东西选择过；咖啡滤纸把咖啡从咖啡渣中“投影”出来。影子让你把资讯从杂讯中滤出，把重要的东西从令人分神的杂质中滤出。事实上，对认知来说，把无关的神经讯号除掉或抑制，与第一时间就接收到讯息，同样重要。

当然影子是被障碍物产生出来的。经常这些影子的形状能告诉你关于这障碍物的特性。亚里斯多德在月食的时候看见地球的圆形影子，因而推断这个世界是球体。电影胶片是放映机里的“障碍物”，因而产生了影像，就和你的骨骼是X射线的障碍物一样，因此产生了X光片。影子也携载了射到障碍物上的光线的详细资讯，及其所投影的表面的特性。投射在曲面上的影子也是弯曲的，而投射在阶梯上的影子则呈锯齿形。不同地方、不同时

## 第三部 线与结

间投射出的影子有不同的长度及形状，我们从这些事实也能推断地球的形状是圆球形的。

影子充满了资讯。可是终结说来，它们只是投射出的影子而已。就像投射在我们视网膜上的是这个世界的二维投影一样，影子缺乏深度感，因而很容易误识。圆柱的影子像圆、或者像长方形、或像椭圆形，就看你在哪裏摆放光源。这些影子的众相，能让我们用手指创造出极奇特的影子。但与二维的影像一样，影子只给我们观点，有部分模式已经消失不见了。

这正是现代物理学告诉我们的，关于认知的最有趣训诫：必有部分模式会失踪。



## 第十二章 有序及无序

自然律既是偶发及历史环境的结果，也是某些永久、先验逻辑的反映。

——施莫林

科学中最极致的希望是，我们将能追踪所有对自然现象的解释，直追踪到终结的定律与历史上偶发的事件。

——温伯格

自然律是否允许意外事件出现？无所不在的物体及力的模式只是机遇？看似有规律节奏的时间、空间及物质，是怎样从一团混浊中出现的（或者溶回混沌的）？

有序与无序之间的相互作用是最难解的问题之一，这类问题使得想当自然哲学家却未能如愿的人非常头痛，也使真正的自然哲学家非常头痛。大部分的世界似乎是建立在模式上，可是即使是最规律的模式，在时间的消磨下，最终还是会消散于无序中。反而，似乎是无序的星球及水分子的微动，却产生出规律而重复的模式，如

## 第三部 线与结

螺旋星系及龙卷风。有序产生出混沌，偶发的意外事件却掌控了最慎重计划的事件，反之亦然。我们经常会看到，可预测的及随机的事件，交替互换。

这是纠缠不清而又关键性的问题。因为，虽然自然世界有这么多看似有序的现象，例如晶体及雪花、光波及螺旋星系、组织严密的蚂蚁聚落，以及很简洁的椭圆形行星轨道，但是我们周遭所见的大部分东西都由随机性在主导。例如，恒星的形状及大小，被电子压及重力之间的相互作用所决定；可是为什么某一颗恒星正好会在某时候、某地方诞生，却是随机发生的：那是飘浮在太空中的分子，正好有一些随机凑在一起，使它们在真空中那个角落的重力稍稍强一点，因而把更多的分子及粒子吸引到那里去，使那里的重力变得更强……起初这么小的一点机率，最后居然也能形成一整个星系。

我们的存在应当归功于意外。我们呼吸的空气是古菌铸下的错。在演化过程中随机的突变开启了光合作用的过程，这过程使植物呼出氧气。因为如此，许多植物死了，被自己呼出的废气（氧气）所毒死。那些能活下去的就创造出天穹。

植物本身和所有的生物都来自随机的原子组合，这些原子变成能适应成生命的大分子；在早期的地球上，在不知若干的岁月中，这些有机分子就在混沌状的大熔炉中冒泡；在随机的碰撞中互相吞并，从随机的闪电中获得能量，直到当中的一些开始冒出生命的火花。这些演化的婴儿期步骤已在实验室中复制成功过：1983年8月，化学家宣布，他们在沼气、氮及水的浑汤中通入电流后，“一举”创造出所有组成人类基因的基础化学物质

(即氨基酸)。

当然，演化出更复杂的生物形态，是由天择磨炼出来的。可是这类改变的原料仍是随机变异。地球上的每一个人，都来自他或她父母的随机配对以及无数不可理解的事件。

当我们说事件是随机出现的，这意思是什么？是否说事件是有序或无序？是否说我们的生命受到机遇的指挥？我们对“机遇”这词有许多不同、而且相当对立的用法。我们说某事的发生是因为机遇，指的意义是运气或意外，你我完全不能预测这种机遇。可是，在另一方面我们把机遇看成一种机率，一种预测某事是否会发生的方法。例如，我们预测有40%的机率可能会下雨，或者预测打牌时拿到同花顺的机率是多少。

### 有序无序，如何区别？

有序和无序的意义也是同样含混。例如，某种从所有观点看来都相同的情势，你认为它是有序的、还是无序的？完全无异或完全均匀是有序、还是无序？一整个房间地板上撒满了钱币，左半边地板上人头朝上的钱币数目，与右边地板上人头朝上的钱币数目一样，这是有序还是无序？

无序是完全民主的，可是并无特出之处。反过来，有序则更具独裁性。衣橱井然有序的意思是，鞋子和衬衫分开，裙子和长裤分开。说一支军队纪律严明、井然有序，就是说二等兵和上校有别，就如蚂蚁窝中的有序是蚂蚁成员分工的明确。今日拥有四种基本作用力的宇

宙（连同它的原子、生物及星系），比早期的宇宙更加有序；早期宇宙仅是均匀搅在一起的炙热浑汤而已。亚里斯多德的宇宙也是高度有序的：每一个人，从奴隶到鞋匠，每一件物体，从石头到行星，都有适当及永久的位置。

很明显的，有序要比无序更为复杂；比较说来，混沌似乎要简单些。例如有人形容物种有序，意思是它吃东西的器官和排泄器官有别<sup>①</sup>，或者拥有许多特化的器官。奇怪的是，当我们说人类是“有序度很高”的物种时，意思是，我们较为复杂，因此我们明显比其他物种更好。可是达尔文很小心，并没有把“高”和“低”归因为演化的成果。古尔德写道：“因为，如果变形虫与我们一样都能适应自身的环境，谁能说我们是更高等的生物？广义说来，长毛象身上的毛不代表进步。”长毛的唯一原因是天气变冷了。

有人也许已猜到，物理学家已经很有秩序地研究过无序了。他们非但能预测某些随机事件的面向，也发现了自然律中关于无序的基本定律。事实上，无序之中还是有一些很怪诞的有序。无序是可以度量的，甚至大多数都是能预测的。无序是整个宇宙无可避免的、一直在增加的一种量。就如死亡和纳税是不可免的，你必能确定的是，大尺度的无序程度会继续增加。

你不必是物理学家，也能了解这一点。有一天我坐在厨房中，电冰箱正好故障。一想到我所有的冷冻食品都要坏了，突然间我又想到一大堆事：我右后侧的牙齿

① 译注：有些低等生物如海参的口兼排泄用。

需要做根管治疗，我儿子需要一双新球鞋，我家花园马上要变成杂草园了，我的头发居然开始变灰，房子需要油漆，电脑需要修理，最好的毛衣破了个洞……我开始有了一种徒劳无功的感觉。毕竟，为什么星期六要耗去半天时间在自助洗衣店里，到了下星期五所有的衣服不是又要脏了？

## “熵”登场了

唉！无序是宇宙中所有东西最自然的次序。无序的量度是一种物理学家称为“熵”（entropy）的东西。无序或熵永远向上增加的事实，来自势力学第二定律：“自然过程的趋向是走向更大的无序状态。”<sup>①</sup> 大多数基本的物理量，如能量、物质、动量及自旋，都是守恒的；换句话说，你放进去多少，就能拿出多少，宇宙中所有这些量永远不变。你不能把能量弄掉，就如你不能从一块布料中创出能量一样；你只能把它从一种形式的能量转变成另一种形式的能量。

可是熵是另外回事。你得到的总会比你开始时更多。一旦熵产生出来后，就无法消灭了。这过程是不可逆的，走向无序的道路是单行道。（好消息是，你能从宇宙的某部分借来能量，在另一部分创造出有序，因而造出“有序之岛”，例如恒星及人。以后会再谈到这一点。）

因为熵的这种令人胆怯的可逆性，人们常常把熵称为时间的箭头方向。每个人都能直觉了解这一点，例如：如果不去管，小孩的房间倾向于脏乱，不会倾向于整洁；

<sup>①</sup> 原注：请见物理教授纪安奇利（Douglas Giancoli）所著的《物理的理念》（*Ideas of Physics*），1978年出版。

木头会烂掉，金属会生锈；人老了皮肤变皱，花会萎谢；甚至于山也会风化而崩落，即使原子也会衰变。在城市中，你从破烂的地下铁道、磨损的人行道、拆掉一半的建筑，及倒塌的桥梁，都可以看到熵。

如果你突然看见斑落的油漆跳回到一栋旧建筑去，你知道一定有什么地方不对劲。打散的蛋不会自动复原，就像童谣中的卡通蛋掉下地打碎后，不会复原一样。

可是熵无可避免地不断增加的原因是什么？什么东西阻止了卡通蛋自动复原？或者就此而言，为什么人们不会愈长愈年轻，而是愈长愈老？这些问题的解答就是机率——无数随机的事件合起来的效果。费曼下此断言：“不可逆的起因是，生命中寻常的意外。”

### 捣乱的方式多得很

设想一下在我的电冰箱故障以前，我家厨房中的空气。它极为有序，是在熵值很低的状态：所有的冷空气都藏在冰箱中，暖空气被隔离在外。可是这机器停止运转的那一刻起，冷、暖空气就能自由交换能量了。当它们这样那样地互相推挤的时候，当然有这个可能，所有的冷空气（即运动较慢的空气分子）都被推入冰箱。可是这是非常非常不可能发生的事。最可能的是，冷空气分子和暖空气分子随机混合在一起，留给我的是一团半温的糟糕局面。

当然，没有任何东西会阻止分子到这里或到那里去。没有任何力会把冷空气推出冰箱。事实上，任何冷空气分子被推回的机遇和被推的机遇一样。可是如果把数以

兆计的热分子、冷分子混在一起，所有冷空气分子会荡向冰箱、而暖空气分子会荡到冰箱之外的机率，可以说等于零。

熵获胜的原因不是因为有序是不可能的事，而是因为通往无序的渠道数目要比通往有序的渠道数目多得多。把一件事做成马马虎虎的方式，要比好好做出来的方式多得多；把事情搅得乱糟糟的方式，要比做得又整又洁的方式多得多。如果我把婴儿放在我的电脑键盘前面，她打出 a 的机率约为百分之一，可是要她依序打出 Shakespeare (莎士比亚) 这个字的机率还不到百万分之一；而她能打出全套莎士比亚剧本的机率，更是小到我们称为不可能的程度。

这正是为什么暖空气不能把已经融化了的奶油，激发到自动变回一条凝固的奶油的原因，也是为什么在一杯半温的饮料中，冰块不会自动冒出来的原因。因为事情能这样发生的机遇太小了。婴儿总是先学会把拼图拆散，以后才学会怎样把它拼回，因为把拼图拆散的方法要比把它拼回的方法多得多。事实上，这就解释了为什么突变通常是有害的，而不是有益的：随机的变化能把事情搞糟的方式太多了。

婴孩拼图的片数愈多，就更难把它拼回完整。从某种意义来说，归纳起来，熵是机率的数字问题。一枚硬币落下时不是人头朝上就是人头朝下。可是房间中的一粒尘埃能占有几乎无穷数目的可能位置，而结果都是把情势搞得更糟。如果厨房中只有十来个空气分子的话，那么很可能（如果我等上约一年的时间）在某个时候，六个最冷的空气分子都出现在冰箱的冷冻库中。可是如

果厨房中的分子数目愈多（在方程中的因子数目也愈多），理想情况就愈不可能发生。

就如一位物理学家说过的：“不可逆性是我们付给复杂的代价。”这也是为什么会发生能源危机的原因——虽然能量本身是守恒的，可应用的能量却完全是另一回事，一旦没有了，就从此没有了。热力学第二定律说，不管你能把一部机器的效率制造得多高，你能从这机器取得的能量总是比你放进去的要少。差额就变成热，或熵。失去的能量是永远不能挽回的。

一旦水从瀑布流下，就失去了它能做出功率的位能。一旦冷空气从冰箱中释放出来，冰箱就做不出有效益的事；结果是我的奶油融化了，我的牛奶变坏了，我的冷冻蔬菜烂掉了。费曼说：“在不可逆的过程中失去的不是能量，而是机会。”

## 出现有序，并非奇迹

可是在这些事情之中，仍有个先天的吊诡现象。从一方面说来，物理学家说，无序的增加是不可避免的事实，你随便朝哪一方向看去，都能看到无序增加的结果。可是从另一方面来看，这个宇宙的结构却是愈来愈有序了。这种有序度的增加是很明显的：创世的火球已经冷却，从一团无形无态的质量中出现了元素、恒星、行星、人。我们在宇宙中看到的是有序的增加，而不是无序的增加。

当你考虑到无序与温度之间的密切关系时，这个吊诡现象就变得更复杂了。热是一种随机运动的量度。暖

(就如融化了奶油中的糖) 代表的是无序。早期宇宙是一团热粒子和辐射的混合体。在今日，即使恒星也不是由原子组成的，而是像分不开的原子粒子浑汤——被高温中固有的高能量撕开的原子碎片。这种物质与名称是离子体(电浆)。原有“混合物”之意，宇宙中的物质大多都属于此态。

而从另一方面来说，冷代表的是有序。只有当温度变得相当冷的时候，稳定的原子才能从质子、中子及电子组成出来。只有等到更冷了以后，原子才能形成更为复杂的分子。但是在太热的时候，水会分解成氢和氧。蒸气要比水更为无序，而水则比冰更为无序。所有这些我们熟悉的水的有序态(冰块、雪花、冰雹)，只能在相当的低温下才能形成。

宇宙中不断增加的有序度，和宇宙级的冷却有关。创世时存在的十来亿度的温度(所谓的大霹雳)，现今仅比绝对零度高三度左右。物理学家说，四种基本作用力已经不知怎样被“冻”成现在的各个不同态了。

可是当宇宙的熵继续增加时，宇宙又是如何冷却下来，变成更为有序的？

答案是，你付给有序的代价是能量。要把档案整理就绪，要把衣柜整理得井井有条，都需要能量，就如需要能量去创造出原子、恒星，或把所有的冷空气分子都留在电冰箱内。因此，当然有可能在宇宙中创造出有序态，只是所需要的能量一定要从宇宙的其他部分借来。沉浸于混沌之中的有序之岛(晶体及雪花，建筑和城市)能存在的原因是牺牲了其他的东西。我们建造建筑所需的能量，大多来自化石燃料，这些燃料供应钢铁工厂、

吊车起重机、卡车所需的能量；在这样做的时候，我们增加了“空气中的烟雾”这种人们熟悉的熵。在宇宙中的任何角落中创造出有序度的代价，就是在其他某处增加无序度。

当我们讨论的是整个宇宙的时候，有些物理学家的解释是，增加的无序度被消散到广阔的无穷空间去。毕竟，如果熵可以用“可能的态”的数目来量度，那么在无穷空间中的可能态，数目显然是无穷的。有些人认为这些熵沉到重力场或黑洞中去。无论如何，这些熵一定要到某处去。

### 抗拒无序，需要能量

熵降低的最明显例子是生命。一枚埋入土中的种子，加上一些碳及阳光，就能自动安排成一株玫瑰。在子宫中的“种子”吸收了一些氧气、匹萨饼及牛奶，就变成了婴孩。

死亡是一种极端形态的熵。生命是有有序度的缩影，是意图的化身。要活下去，就要不断和热力学第二定律奋战，可是这是一场似乎赢面要比输面来得多的战争。尽管有那么大的困难，在沙漠中花还是照开，在贫民窟中小孩盛生。作家墨奇说：“你看，如果某物或某人有求生的意志，这物或人一定要抗拒被分散开，一定要从无序移向有序。换句话说，要避免走上所有捷径而脱离了以前的形态，最好的方法乃是一开始就跟住它。基本上说来，就是要留在这里不走的意思。”

那些不可避免的生命中的意外及障碍，几乎可以保

证事物会出轨，跳到随机之路上去。无序是最无阻力的捷径，容易去，但并非是不能避免的路径。社会的组织和原子及恒星一样，如果不花些能量去保持它们的有序度，就会颓废。而每一次熵一增加，就等于失去了更多机会可阻止无序如雪崩般涌来。这种无序程度的增加不仅能威胁物质宇宙，也能威胁社会宇宙。



## 第十三章 因与果

事物可能是不可能测定的，但绝非含混暧昧的。大自然知道她在做什么，而且都做了，即使我们无法知道她在做什么。

——艾丁顿爵士

自然哲学的内涵是去发现大自然的架构及运作……因而推导出事物的因果。

——牛顿

因与果的局促关系，甚至比有序和无序牵涉得更广。对科学家和哲学家来说，没有比搞清楚因果关系更重要的东西了。希腊哲学家德谟克利图斯<sup>①</sup>说过，若要在知道因与就任波斯图王之间作抉择，他宁要知道因。

然而，要知道宇宙“如何”运转是一回事，而要知

<sup>①</sup> 译注：德谟克利图斯（Democritus），公元前460—370，希腊哲学家，首创原子论，即世界万物由不可分的原子单位所组成。

道宇宙“为何”这样运转又是另一回事。人们知道重力的作用，可是不知道为何有这作用。同样的，有人告诉你，小学生怎样谋杀同学，可是完全不知道为什么要谋杀同学。

历史上最大的未解之谜之一，牵涉到无人能解释的西方世界在天文上的健忘症；历史学家说这个健忘症发生在古希腊至文艺复兴期间。希腊萨摩岛上的天文学家阿里斯塔克斯<sup>①</sup> 在公元前三世纪时写下，自转的地球和其他行星都绕着中心的太阳转，可是要等到 18 个世纪后，这“发现”才被哥白尼及其他起死回生。哲学家柯思特勒写道：“我们知道它如何发生，可是如果我们能知道为何这样发生，大概就能对当代的毛病对症下药了。”

去寻求内在的因，有天生极强的吸引力；尤其，这种知识隐含了控制事物的能力：如果你知道什么能使某事发生（或不发生），你可能就可使它再次发生（或持续不发生）。最重要的是，人们喜欢知道事出有因。一想到事件是随机发生的，环绕我们的事物并不遵守可为人知的自然律，心里总会感到不舒服。牛顿的理念之所以很快被接受，部分原因是这些理念包含了因果关系很明确的公式：行星以某一方式绕着轨道转，物件以某一方式加速下落，原因是重力以某一方式去拉引它们。

达尔文的理念要更难被某些人接受；阻力的一部分原因是他的理论中安进去随机突变的角色。天文学家赫许尔爵士（Sir John Hershel, 1792 – 1871）就埋怨说，达

<sup>①</sup> 译注：阿里斯塔克斯（Aristarchus）约公元前 310 – 230，古希腊天文学家、数学家，提出“太阳为宇宙中心”的第一人，几乎被官方控告以不敬神罪。

尔文的演化理念只比“乱七八糟律”要稍好些。

### 上帝掷骰子吗？

即使是爱因斯坦，也拒绝接受量子力学，因为他认为这理论把因果律完全废除了。他在 1944 年写信给他的朋友及物理学家同侪玻恩说，“你相信的是掷骰子的上帝，而我则相信，这一个有某些事仍是客观存在的世界，是由完美的定律所统治的，我尝试以一些古怪的奇想去捕捉这些定律。我希望有人能找到更实在的途径，或者找出比我的奇想更能捉摸的观念基础。量子力学的初步伟大成功，并不能说服我去相信那个本质上是掷骰子的游戏。”

对爱因斯坦和其他人而言，量子力学似乎在这个宇宙中引进了不能接受的不确定性及不能预测性。也许自从哥白尼终于把太阳放在太阳系的中心之后，科学界还没有过这么深刻地把人们的哲学观摇动过。

从另一方面来说，对于因果律的绝对信仰，似乎使得自由意志变成不可能。如果每一个果都来自一个因，而这个因又是另一个因的果，如此往上推衍，就能以一条直线把所有的果追溯到宇宙创生，因而使我们的每一件事、每一饮一啄，都已被注定，而且一定是自时间一开始流动起来的时候就已经注定。

如果你赶不上火车的原因是一场大风雪，而这场大风雪是两星期前大西洋中的暖锋造成的，而这个暖锋则是风及太阳黑子的组合所造成，如此继续推衍，那么你就可以把这个因追溯到任何你想要追溯到的事件。到了

最后，这个事件还会有个尚未追溯到的因。玻恩说，如果相信这个“无尽头的自然之因长链，就必须会把我们推送到这样的理念：世界是自动化的大机器，我们只是这大机器中的小齿轮而已……如果我们从伦理的责任观点去考量，我无法想像出这个理念会把我们带到什么样的难题。”

牛顿的宇宙就是这种无尽头的自然之因长链：只要我们有足够的资讯及充分的时间，行星的行为（想来也包括人们的行为）都能从计算中得到，每一件事都可归纳到受精确及可预测的运动所控制的物质片块。情感和思想都仅仅是一些电子线路的流露。“自由意志”的幻觉变成只不过是组成人体的原子和分子的安排方式<sup>①</sup>。京斯爵士说：“热心劝人要有道德和对社会有益，就变成像要规劝时钟要走得准一样。但即使时钟有头脑的话，它的指针的行动也不会和它的头脑想要的行动一致；这些行动早已被固定好的重锤钟摆所决定。”<sup>②</sup>

### 胡乱贴标签

把两件不同时间发生的事件连接起来，然后说一件事是另一件事的因——这个想法很容易吸引人。例如，

<sup>①</sup> 译注：西方基督教思想中，自由意志一直都是大问题。有一位神学家，好像是基督教最有名的两位神学家之一，希帕的奥古斯丁（354—430），甚至于否认有自由意志的存在。他说，如果有自由意志，一只驴子会在两堆稻草间饿死，因为无法决定先要去吃哪一堆。这当然是幼稚并且未经实验求证的看法，因为这个否认基于以下的假设：两堆稻草的引诱力完全一样大。事实是，驴子一定先吃离它近的一堆；如果一样近且一样大，驴子一定会任意选一堆。后来有人做了一只机械驴，以两个充电插座代两堆稻草，结果机械驴先找到近的插座去充电，把充电器充饱以后，再去另一个充电器充电，因而示范了自由意志的不可捉摸性。

<sup>②</sup> 译注：在发明发条以前，早期的钟都被慢慢落下的重锤所推动。

开普勒的母亲被人控以女巫罪而遭逮捕，部分原因是，当她拜访一位邻居后，不幸这家里的人正巧开始生一场大病。在今日，没有任何受过教育的人会再作这类的推理。可是你还是常听到有人说救济金会造成贫穷，家庭计划会造成少女怀孕。

即使当事情之间的关系很明确，也不是每一次都能作因果的关系。低飞的燕子并不是雨的因，就如畸齿整形不是青春期的因一样<sup>①</sup>。如玻恩指出的，“藉由火车时刻表，你能预测从某一站出发的火车在 10 点钟会通过某地；可是你不能说这时刻表就是这事件的因。”

因果之间的混淆经常把人带到有趣的结论（后见之明）。例如，作家墨奇说，从前有个由科学家组成的委员会，决定不要大笔投资打造古腾堡<sup>②</sup> 发明的印刷机，他们说书不会有很大的销路，因为只有 1% 的人口有阅读能力。也许这批科学家从来没有想过，有书可看可能才是人们想去阅读的因；反过来说，人们阅读，也是书有销路的因。

因的不可捉摸，使得因成为滋长误解和迷信的肥沃土壤。事实上，我们几乎不明白：运作中的是哪些力？家庭争吵的起因是什么？犯罪率真的上升还是下降了？飞机撞毁的原因为何？大多数情形下，都不可能把围绕这些事的错综情况分解开，去找出因来。从许多方面来说，因就是这些纠缠在一起的错综情况，它可能牵涉到从昨天的天气到整个历史中的每一事物。也许你不如去

<sup>①</sup> 译注：在美国，有经济能力的家庭通常把乳齿都换掉的小孩送去做畸齿整形（orthodontia），而乳齿都换掉的小孩通常已近青春期。

<sup>②</sup> 译注：古腾堡（Johannes Gutenburg），约 1400—1468，西方发明印刷术的人。

问，什么是物质的因？或者什么是生命之因？或者，如维斯可夫有一回向我说的：“到底什么是因？所有你认为有关系的都是因。”

古代人不了解春季和秋季、日与夜的关系，因此他们就把这些事件（及几乎其他每一事件）都归属给不同神祇的意志。这样就使得这些神祇非常忙碌，因为有许多事要做：非但要去安排所有洪水及饥荒的细节，还要去管每一个人每日生活中的琐事。如果推动行星运转的天使们，翅膀停住不拍，这些行星就会停下。在亚里斯多德的时代，需要不少于 55 位精灵，才能使这些行星运转。

按照大多数资料的说法，16 世纪的开普勒是第一位作出如下严谨臆测的人：这些行星的运动一定牵涉到某些“力”，事件的发生一定是来自不神秘的理性原因。牛顿把这种思考具体化，认为宇宙是有如巨钟的机械式宇宙，其中每一件事物都被力所控制。“就 18 世纪而言，世界是一部巨大的机械，”罗伯·欧本海默这么说道。所有的运动都能以力来分析及了解。就某种意义而言，牛顿以另一种因果关系来取代原先那一种，亦即，力取代了精灵及神祇。于是，因的世界观从混沌变成有序，从全然的随机变化成为全然可预测。

## 没有哪个东西天生如此

现在看来，我们似乎绕了一大圈后又回到原处，因为量子力学出现了。天生具有不确定性的量子力学，遭人谴责说把随机的大门打开了，把有序及因果关系免除

掉，把自然律蒸馏成为一种主观的神秘主义。可是真相是，量子力学所做的，只是带来了“一种”新的因。这听来很令人惊奇，好像有许多不同种类的因存在似的。

首先，有一种因说，事物的发生是基于事情自然发生的顺序。哥白尼就持这样的观点。他认为重力是创世者（上帝）赐予我们的物质自然层次，例如岩石属于下面，层属于上面。达文西这么写道：“每一个重物的意愿，就是想要使其中心变成地球中心。”这类思考方法可以追溯到柏拉图及亚里斯多德，他们认为奴隶制度是自然秩序的一种，他们也认为圆周运动是行星唯一的天然轨道。亚里斯多德的宇宙是多层次的，每一件东西都有它所属的位置；柯思特勒把这种多层次称为“像政府官员职等的分级”。

亚里斯多德的影响持续了 1500 年之久，仍然在某些人的思想中盘踞着；这些人认为某种人天生就该贫穷或愚笨，或者女人应当属于厨房。这些念头都基于同一条思路，认为烟有自然上升的倾向，或者太阳的位置就在太阳系中心。这无异于不打自招，说我们还不知道牵涉到的是什么力或什么原因。

当然，我们能改变什么是天生自然的观念，即使在物理学中亦然。亚里斯多德认为东西的自然态是静止，必须要有力才能使它运动；牛顿则说物体的自然态可以是在运动中，使它们继续运动的力是一种叫做惯性<sup>①</sup> 的东西，这是所有物质都有的“天然”性质。牛顿认为有绝对运动和绝对静止这类状态是“天生自然”的，可是

<sup>①</sup> 原注：牛顿的观点要比亚里斯多德的“更对”的主要原因是，它的结果带来进步。请看第二章《正确？错误？》

后来的爱因斯坦却证明牛顿错了。

亚里斯多德脑中想到的这类自然的因，与我们把力互相联系的因大不相同。力需要能量的交换。你向某人打一拳，他倒地。你对生日蛋糕上的蜡烛吹口气，烛火就灭了。你摇动一张贺卡，就等于向附近空间送出微微的一道空气分子流。重力向下拉，苹果就落地。

可是本质上，重力仍只是一种模式的名称，这种模式与我们还不太了解的物体行为有关。牛顿从来没有声称过他了解重力的运作，也不了解它怎样能越过空间传播。他说过“我不作臆测。”或者如费曼说的：“在开普勒的时代，有些人对这个问题（什么使行星绕日转）的答案是，在这些行星后面有拍着翅膀的天使推动它们在轨道上运转。你会看到，这答案也不太离谱，与现代理论的唯一不同处是多了天使；这些天使坐在不同的方向，他们拍翅向内推。（这些天使向内的推力当然就是重力。）

### 最特别的因——对称性

现今的“力被场所载”的观念，或者“力以场的方式施出对物体的影响”的观念，令人感觉到，这与亚里斯多德主张的每一物体都有它所属的位置，似乎有令人感到不安的联想。换句话说，苹果落地不是因为重力在拉它，而是因为苹果在重力场中掉到它所属的位置去，就如磁石附近的铁粉会自然掉在它们应当去的地方一样。

事实上，这个要掉到自然态的倾向是所有自然界中的物体都具有的性质。非但苹果会掉在基态（地上），原子亦然——在这过程中放出能量，发出光。所有的东西

## 第三部 线与结

都在寻觅它们最低的能态，就如水总是要流到最低处一样。科学家认为这个去寻觅最低或最稳阶层的倾向，是完全合情合理的因。

在这种因及亚里斯多德宇宙的因之间，仍然有些重要的差别。这些苹果及原子的自然态是前后一致无矛盾的，而非反复无常。对男人及女人、苹果及橘子来说，重力的表现或行为都一样。原子要改变态就改变态，和它们是否向某一尊神明告解（忏悔）过无关。力和场不分彼此，它们对地、火、空气及水中的原子都施以同样的待遇。

这些一致性的根源是某种特别的因——对称性。所有相对论中奇怪效果，从时间变慢到弯曲的空间，都来自“自然律都是对称性”的理念，与你正在运动与否无关。光速永远都一样，宇宙中并没有绝对静止的座标系。

当你以更高速度运动时，是什么原因使时间变慢？为什么当加速器中的电子以光速的 99.999% 运动时，质量会比静止时增加了四万倍？这些因都来自对称性：不管你的运动有多快，测量到的光速都是同一值；有些差异并不能产生出差别。直尺的大小能变，时钟上标出的时间能有不同，理由是，无论你在宇宙中做任何的运动，运作中的自然律永远都一样。

和其他因一样，对称能塑造事物的理念，可以一直追溯到古希腊。柏拉图说这个世界的外形一定是完美球形，所有的行星一定在完美的圆圈中转，因为只有圆形才是完美对称的。圆周运动没有始点也没有终点。不管你怎样去看圆，它的外形都一样。有些人甚至于说，东西被重力吸向地球中心的原因是，这样做就会使东西美

观，而且对称。这个对称的观念吸引力之大，使得人们一直要等到开普勒的时代，才接受行星的轨道根本不是圆，而是椭圆。

我的物理学家朋友喜欢指出，对称性也是一些社会学理念的基本论点，如民权法案：法律之前，人人平等（对称）。你不能对黑人和白人（或者男人和女人）有待遇差别，因为他们的基本需求和能力都相同。

## 机率也是因

回头说量子力学。只有在量子力学这个探讨次原子事物的物理领地，“因”似乎才不知道从何处涌出。有人认为，虽然古代神祇反复无常，也好像比原子内部的运作情况更容易捉摸些。但是，看似随机的原子事件还有一种神奇的次序可寻。从随机事件中浮现的这种次序，已经完全改变了我们对于“因”的观念。

使得一枚向上抛转的钱币落下时，50%的次数人头朝上，50%的次数人头朝下的因是什么？使某些数目的放射性原子现在衰变而不是以后衰变的因是什么？决定轮盘赌红白出现次数的因又是什么<sup>①</sup>？

这些因，与防止打碎的蛋自动复原为整颗蛋的因，同属一类；也与房间几乎一定会变脏乱的因，同属一类。同一类因，也使一杯暖水的热流向冰块，把它融化，而不是反方向使暖水更暖、冰块更冷。使这些事件能发生

① 译注：轮盘赌是大转轮，上有37个格子，每个安上号码，一半号码是红，一半号码是黑，标为○○的则为白色。把轮盘转动后，在边上滚球，球的能量耗掉后就滚入这37个格子中的一个。你可以按号码赌，也可以赌红或黑。如果赌红黑，而这球掉在○○格中，庄家就赢。

## 第三部 线与结

的因，纯是因为它们发生的可能性比不发生的可能性大。按照我物理学家朋友的说法，“因”是能使某事以较高的机率发生的任何东西。因此机率也可能是因。这听上去好像毫无意义，可是只要你停下来看一下证据，就会发觉很有意义。

取一批撞球为例（物理学家总喜欢引用一批撞球）。许多科学博物馆中有一种展示：把一大堆撞球放出来，让它们沿着一大丛钉有木柱的墙上随机落下来。这些撞球撞到木柱，会在木柱中跳来这里，跳到那里。可是当它们落在底下的一排球格中时，令人惊奇的是，显现出来的形状是可以预测到的曲线。民众喜欢一次又一次去做这个实验，原因就是这个结果似乎不太可能，却一再上演。你怎样能从随机运动中得到这么漂亮的曲线？它的因究竟是什么<sup>①</sup>？

或者以酩酊大醉、凭靠在灯柱旁的人为例。假定他决定去散步，他先往前走一步，然后摇摇欲坠地向旁边走一步，然后再颠踬地后退一步，然后又朝另一方向迈一步——每一步都是随机的。你能预测醉汉走了若干步后，他离这灯柱有多远？不可思议的是，结果是你能预测<sup>②</sup>。走离灯柱的距离等于“每步的平均大小”乘以“总共走过的步数的平方根”。因此，如果他每一步平均走一码，走 100 步后，他离开灯柱的距离就是 10 码（只是你不知道这距离的方向）。

① 译注：从上面掉出来的球分布得很均匀，可是经过木柱的碰撞后，到中间球格去的机率要比落在外侧球格的机率大，因此出来的曲线是呈钟形的高斯曲线（Gaussian curve），又称常态曲线（normal curve）。

② 译注：这是数学中有名的随机游动（random walk）问题，又称漫步问题、醉汉走路问题。

爱因斯坦用了这类方法，去分析显微镜下看到的混乱碰撞运动（称为布朗运动）。从分析中，他计算出分子的大小。在液体中悬浮着的小粒子，例如悬浮在水中的植物孢子或小油滴，都被看不见的分子随机推来推去。结果是这些粒子的行动就像醉汉的动作一样，它们的路径可以用同样的方法去预测。同一公式也可以用来预测烟雾的污染在空气中散布的速度有多快。

科幻作家艾西莫夫（Issac Asimov）甚至于把这个理念应用在他的“基地”系列科幻小说中。他应用的是从气体分子随机运动中出现的统计上的有序度。如果有百万兆数量级的分子，他说，你就能正确预测这个样品的行为：

任何原子或分子的运动是完全无法预测的，你不能知道它在哪里，朝哪一方向动，或者动得有多快。可是你能把所有的运动平均起来，而从这些平均值你能归纳出气体（动力学）的定律。你想预测一个人的行为相当困难，可是群众的行为通常比较能够预测。如果在未来，我们有了百万个住了人的行星，我们应用了人的动力学，那会得到什么结果？

如艾西莫夫指出的，这只是科幻小说。人要比气体分子复杂得多、可是应用在次原子粒子上，统计机率的理念却有一种奇怪的具体性：所有的粒子都能被描述为波，这是物质的波粒二象性。这些粒子波是机率波。如果你想要去量度它，这波绘出的会是这粒子某时在某地的机率。

人们经常犯了把机率认为是抽象体的错误，因而把机率认为不具真实性。他们不把机率正经地看成“因”。可是机率很高，确实有可能导致事件发生，例如自然界发生大灾祸的机率很高或发动核战争的机率很高时，浩劫真的就可能发生。可能性这个因，就和机率波一样，非常真实，因为它们真的能起作用。统计的定律和其他定律一样，都是自然律；机率和重力这类东西一样，也都能塑造事物。

### 上帝玩的是一大把骰子！

可能使事物发生的因，也会把以下这种吊诡现象引进来，即：少量的东西服从的定律，与多量的东西服从的定律不同。你我完全无法预测一枚钱币或原子的行为，可是却能很精确地预测上百个钱币或数兆原子的行为。不可预测性的涵义是随机，随机的意思即缺少了因。一件事若不是故意发生（有因），就是发自意外（随机）；你不能二者兼有。若按这种解释，原子的行为就是随机的，因此呈非因果性。

举例来说，是什么因使得放射性原子衰变？例如，你有一毫克的镭。你能相当精确环境因素的影响。你能把它加热或冷却，你能改变它的运动，或者挤压这些原子，可是衰变率还是一样。

但是，从另一方面来看，这些原子的过去历史之中没有任何一件事可以决定这些原子要做什么。从宇宙任何角落取来的一毫克镭都会有同样的表现，没有任何内在或外来的因素能改变这情况。过去和未来都不会有任

何决定性的因素。因此，放射性衰变似乎真的是一种没有因的事件。事实上，几乎任何和单个原子有关的事都显露出同样的非因果性。

可是，物理学家惠勒问道：“怎么会这样的？而且（这种非因果性）并不改变我们所知、所熟悉的世界？当然大件物体的组成都是原子。枪弹、机器及飞机的因果性如何能来自非因果性的原子行为？弹道、轨道、速度、加速及位置如何能从这些奇怪的名词如态、跃迁、机率中重新出现？”

如果上帝真的是在宇宙玩骰子游戏，那么想来也玩的是一大把的骰子；要不然，怎样会有我们熟悉的、能预测的自然律呢？

其次，大自然显露给我们看的是更进一步、可能更具基础性的吊诡现象，即：机遇也遵守定律；而那些在因果关系统治下的事件，却很少能被精确预测出来！

我们能（或无能）预测某事，其实并不一定依赖我们对因的了解。如果你能想到，有多少我们能预测而不能了解的事物（例如低飞的燕子预测快要下雨），而也有许多我们了解而无法预测的事物，这一点就变得显而易见。以气候为例，众人都了解使气候变化的力，可是气候本身却具有高度不能预测性。主要的原因是它太复杂了，你大约能了解及预测单一个空气分子在湿度和大气压变动下的行动；可是如果把一大批空气分子交给你，你就茫然不知所措了。

就如外交大事及个人私事，小而隐晦不见的效应常能够影响到整个大局。自然界（包括人性）通常纠缠得太复杂了，很难把它们整齐划分出因与果。

## 回到互补观点

因此，是不是量子力学大赋的不确定性把因果关系给取消了，还是根本没取消？宇宙的核心是不是如钟一般准确的精密机械？或者它是随机的，就如房间抛转的钱币？罗伯·欧本海默把量子力学的成果作如此的摘要：“在这个物质世界的核心，我们看到了完整因果律这个牛顿力学固有特征的结束。”可是玻恩的结论却是：“这句经常听到的话，说现代物理已经放弃了因果律，是毫无根据的……科学一直都在搜寻现象之间的因果密切关系。”

也许把量子力学的潘朵拉盒子<sup>①</sup> 打开后，唯一失去的东西就是这个假设——对因的了解，含有预测及控制事物的能力。维斯可夫指出，你仍然知道放射性原子会衰变，也知道它怎样衰变，你只是不知道它何时衰变。

事实上，测不准原理的意旨也可以归纳为时间性的问题：如果你尝试更精确地测定出某事会在某时间发生，你就会把其他因素变得更模糊。可是从另一方面说来，我们可以感觉到，时间也是事物的因。古尔德说：“给我 100 万年的时间，我可以抛转一枚钱币使它掉下来后，会有不只一回连续 100 次人头朝上。”在演化过程中，“事实上时间就是这场戏的主角。有了长达 20 亿年的时间，不可能的事变成有可能，有可能的变成了可能，而可能的

① 译注：希腊神话中，神祇给世界第一位女人潘朵拉（Pandora）盒子，她到了尘世中把它打开，装在盒中的一切罪恶、疾病、灾祸都跑出来了，危害人类，而盒底只留下希望。现在用来比喻发现新的东西后带来的问题。

就几乎变成确定的事件。”

换句话说，你不必知道因果关系的方程中的每一项因素，才能测定出可能的结果。知道了民众拥有多少手枪，有多少人吸烟，知道了某个车速限制，贫穷率是什么，你就能预测有多少人会死亡；只是你不知道是谁而已。可是你可以很肯定地说，拥枪自重（老烟枪、超速驾驶、穷困潦倒）与死亡之间，“其中必有关联。”

最后玻恩又回到互补原理的理念。在事物的结构中，严格的因果律及绝对的随机都有它们各自的位置；一它们放在一起，就会产生矛盾，就如波和粒子之间的矛盾一样。事实上，如果你硬要把这两种论点以逻辑（线性）串联，得到的结论并没有意义。因为你如果说事出必有因，那就等于得到一切天注定的结论。另一方面，如果说事出不必有因，那你只好断言，每一件事物都是随机的。

如果事出必有因，那么我们就是钟表机械中的齿轮；如果事出不必有因，那么我们仅是一堆骰子而已。

表面上来看，因果律和随机性似乎是互斥的，可是仔细去研究一下，你可以把它们看成更大的现实中的互补面向。



## 第十四章 差之毫厘，失之千里

小斑点、小点、微点、污点、裂缝、瑕疵、错误、意外、例外、不规则性，都是通向其他世界的窗口。

——艺术家来勒的陈述

恒星之存在，是基于自然界不同的力之间的一些很微妙的平衡……在许多例子中，把转盘朝某方向或另一方向稍微转一点，世界非但不会有恒星，而且比我们现今的宇宙还会少了太多的结构。

——施莫林

有人说，小东西的影响深远。虽然这话不一定总是成真，可是令人惊奇的是，有许多大尺度的现象却受到极小而渐增的改变所支配，也有许多重要的科学发现来自某位科学家注意到一些几乎看不到的异常现象。

反物质存在的信息第一次现身，是物理学家狄拉克误打误撞发现，方程中有带负能量值的函数解。电动机

的发明来自课堂中的示范：一位名叫厄司特（见第一章第5页译注④）的高中老师注意到，一根通了电流的电线在磁场中移动的时候，出现了不在预期中的偏斜。海王星的发现，乃是因为天文学家想要了解为什么天王星的轨道有点不规律。爱因斯坦的广义相对论理论第一次被证实时，凭藉的是太阳附近某颗恒星的星光偏向，其偏向角只有1.75角秒左右，比 $1/2000$ 度还要小①。

再说些最近的事。之所以发现第一颗绕行其他恒星的行星，是因为天文学家发现恒星的位置有一点很小的摇晃。几乎不存在的微子，人称“自旋的无物”的，科学家发现它也有质量；这发现（也许）来自1250万加仑水槽中很稀有的光迹，这光迹是由围绕在水槽周边的光电倍增管记录下来的。这大水槽放在日本的高山底下3250英尺的地方。如果实验证明无误，这小小的微子很可能就是宇宙中大部分的质量②。

很明显，“差之毫厘，失之千里”的科学了解是，自然界中小小的差异可以造成很大的改变。在外层电子轨道上多了一个电子，就能造成钠金属和氖原子的区别：钠是最能起化学作用的金属之一，而氖是一种和其他元素不起化学作用的气体（我们称这类气体为惰性气体）。多加了一个中子，就能把铈<sup>238</sup>改变为铈<sup>239</sup>。铈<sup>238</sup>能用做太

① 译注：其实比1.75角秒还要小（一角秒等于角度为一度的 $1/3600$ ）。在太阳周边的偏向角为1.75角秒，可是大多数的恒星都要更远，测量出来的最大的偏向角在一角秒以下。这实验在日全食的时候才能做，见第八章第149注释①。

② 译注：指的是在龟冈山下的微子探测器，这探测器探测到1987年在大麦哲伦云（南半球可见，银河系的卫星星系团）中一枚超新星爆炸时发射出的微子。现在已确实证明微子有质量，约在三至四电子伏特以下（相当于电子质量的 $1/120\,000$ ）。如果质量为四电子伏特，宇宙内微子的总质量就会比所有构成星系、恒星等等的质量大十来倍。

### 第三部 线与结

空船的能源，可是对人体极毒。铈<sup>239</sup>是核弹的原料，它很容易裂变，因而能产生链式（连锁）反应。铈<sup>238</sup>不易裂变，可是能吐出大量辐射；如果吸了少量到肺中，就等于被判处死刑。

其他的例子还多着呢：光波的波长稍加改变，就能从紫光变成紫外线，紫光可以穿透过玻璃，可是紫外线透不过。如果强作用力稍弱，或者电力稍强些，原子可能就不存在了，所有我们知道的物质也就不存在。事实上，物质之所以存在，是因为宇宙创生之后，离开那最早期一瞬间不久，物质与反物质之间一定有少许的不均衡（物质要比反物质只多那么一点点）。物质的粒子与反物质的粒子一相碰就能互相湮灭，放出一道能量；如果宇宙创生时物质和反物质的分量相等，那么所有的粒子及反粒子老早以前就全都互相湮没了，不留下一物，只剩下辐射。

## 小差异，大差别

少许的差异，也能在生物界产生更为深刻的影响。如果地球的轨道离太阳稍近些，温度就会高到使有机分子不能粘在一起。如果地球轨道较太阳远些，温度会低到把生物出现的机会冻结掉。DNA结构中的一些极小的改变，就造成棕眼和蓝眼的区别、疾病和健康的差别、物种灭绝或生存的天壤之别。有一位遗传学家估计，在大于500万个原子组成的病毒中，小到三个原子的差别，就能使这病毒无害或能致命。

这些群体之间的少许差异，带来了无穷的魅力。女

作家狄拉得（Annie Dillard）指出，植物和人的生命泉源之间的差别只是原子：叶绿素是由 136 个氢、碳、氧及氮原子组成的，安排在一个镁原子外围，也形成环。血红素也是由 136 个氢、碳、氧及氮原子组成的，安排在一个铁原子外围，也形成环。人和非洲大猿的遗传差异，还不到 1%。

当然，有些小差异的影响要比其他的差异大很多。如果每一个小差异都能把事物搞得七扭八转，这整个宇宙就会落在毫无希望的不稳态中，每一次你转身，地球上的生物形态就要突然起变化。其实大多数的小差异没有多少影响。微量的温度变化、鼻子形状的小变化、句子怎么写出来或者以什么形态写出，几乎都没有任何后果。可是如果这些差异发生在关键地方，那就会产生很大的区别。华氏 98.6 度与华氏 106 度是小差异，可是能致命<sup>①</sup>。

有时，极重要的差别从表面上看来好像只是蛋糕上的糖霜，然而实质上却是蛋糕本身。对眼睛来说，一位业余长笛手和朗帕尔<sup>②</sup> 的外貌，根本没有什么看得出来的区别，可是对你的听觉来说，差异就极巨大了。同样的，在短跑竞赛中，最后的一毫秒（1‰ 秒）就决定了谁是金牌得主。那些用字上的些微差别，能使一首诗更有力；或者舞者在风格上的一点修饰，就能使好舞者变成卓越的舞者。如哲学家巴希勒尔（Yehoshua Bar - Hillel）所说的：“从完全不会做到能做一点事的差距，远比下一

① 译注：人的正常体温是华氏 98.6 度（摄氏 37 度）。如果体温高达华氏 106 度（摄氏 41 度）就有生命危险。

② 译注：朗帕尔（Jean - Pierre Rampal），1922 – 2000，法国人，世界长笛家的第一把交椅，把长笛变成 20 世纪重要的乐器之一。

步来得小——这下一步就是能把事情做得很好。”

通常当事物之间有联系时，小差异能造成大差别，比如一长列的骨牌。要一枚石子造成山崩，整座山的岩石一定早已不稳，早已在摇摇欲坠的状态。在这种情形，这枚石子就像枪上的扳机，这枪已装有子弹，已经瞄准好，一触即发。这个扳机也可能是造成癌细胞成长的一些基因的搭配，或者是推倒的第一片骨牌；或者是那些能推动出一长链的事件的冰晶体，最后造成风暴，或者是能使圣海伦火山爆发的地底裂痕。

## 非线性序列引发大爆炸

不幸的是，要找出哪些事物是联系在一起的（及如何联系在一起），并不太容易。这就是为什么预测地震会遭遇到大困难。地震学家尚待发现，在地壳断层附近无数的应力及应变，哪些能导致地壳中两个被摩擦力锁在一起多年的板块，会突然崩开，因而造成地震。有这么多的小东西，个个似乎都很重要。人类的心理也是一样；没有人能预测，哪些小事件的组合会突然迸发，造成谋杀或自杀。

可是有些小差异的联系方式，能使后果一点也不夸张地爆发。例如你把骨牌排成一长列，把第一片推倒，这些骨牌能依序一一倒下，直到最后一片骨牌倒下为止。可是如果你把许多骨牌安排成某种错综的方式，使第一片倒下的骨牌推倒两片骨牌，这两片骨牌再推倒四片，四片推倒八片，等等。这种情形就称为“非线性事件系列”，你得到的后果简直可以叫做爆炸。果与因不属同等

级，就如驾车不守规则不能看成和谋杀同等级一样<sup>①</sup>。

有些我们认为是很小差异的东西，例如把某物乘以 2 这个小数目，往往能引起从流行传染病到供应太阳能量的核聚变反应。一两次的加倍或少数几次加倍，并不一定产生出大差别；可是如果你把任何东西（无论它多小）加倍的次数多了，结果你会得到极大的数目。因为加倍就像骨牌效应：再次的加倍就把所有以前的加倍再加一倍。举个例子，如果把一张面纸的厚度连续加倍又加倍 50 次，所有的厚度加起来，大小居然等于来回月球距离的 17 倍。

虽然这些小差异很重要，但是大家很可能难以看出它们的重要性。大多数人都不会注意到，百货公司每个月在帐目上只加上 1.5% 的利息，也很难感受到世界人口每年增加 1.8% 有什么了不起。这些差异似乎很小，但就是这些差异之间的联系使它们不断叠加起来，而我们一开始总是看不见这些总模式。

## 两个寓言

数年前，现为科罗拉多大学名誉教授的巴特列特 (Albert Bartlett) 把这个情势很生动地在《美国物理期刊》上表达出来。巴特列特举了一个例子：在可乐瓶中细菌菌口每一分钟加倍一次。从早上 11 点钟的时候开始，到了正午 12 点钟的时候，这可乐瓶就爆满了。巴特列特问：

<sup>①</sup> 译注：近年来美国公路拥挤程度增加，有些人认为前面的车（或其他车）是造成交通阻塞的原因，因而起无名火，有斗车出事的，也有拔枪打死人的。当然开车技术不佳或不守规矩很不好，令人讨厌，可是为了这种小事而谋杀人，那和事因的大小无法比较。

## 第三部 线与结

什么时候最有远见的细菌才了解到，它们的时间不多了？答案是 11:58 分。即使在那个时候，这瓶子还有  $3/4$  的空间，因此，这些有远见的细菌是真的有远见。

在 11:19 时，这瓶子还只有半满，或者半空，看你的观点如何。巴特列特说，毫无疑问的，那些细菌政客们一定在细菌国中跑来跑去，向每个细菌保证，没有理由去限制生殖率，因为，还有比整个殖菌历史用过的空间还多得多的空间可用。而在那个时候，我们姑且假定，它们开始了巨大的努力去探险新的海外空间，而看呀，他们找到了三个新的可乐瓶！所有渴望要有更多空间的细菌们可以松口气，放下心来了。可是再过多久，菌口又会大到无立锥之地呢？答案是：两分钟（再加倍两次就又爆满了）。

有教育性的例子是寓言。有个寓言据说是包瞿斯<sup>①</sup>说的。故事的主角是一位头脑有问题的王子。王子在大公园中造了许多柱子，都是一式一样，所有柱子的颜色都是很美的大红色的。约一星期后，突然间所有柱子的颜色都很神秘地变为纯白色了。这事怎么会发生的？

答案是，每一天柱子的颜色深浅都发生变化，但变化小到无法分辨出来。可是所有的差异加起来却可以把大红色变成白色。这个故事是基于 18 世纪英国政治家波克<sup>②</sup> 相同的洞察。波克说：“虽然没有人能把日和夜之间

① 译注：包瞿斯 (Jorge Luis Borges)，1899 – 1986，阿根廷诗人、散文家及短篇小说作者。在南美洲创极端论 (Ultraism)。极端论始于第一次大战后的西班牙及西班牙—美国系诗人，特点是不用传统的形式及内容，而用自由式的韵文、复杂的韵律及大胆的意象及象征主义。从本书引用的包瞿斯的寓言，就可以看到极端论的诗形态之大概。

② 译注：波克 (Edmund Burke)，1729 – 1797，英国政治家，反对法国革命时创出的激进主义，而主张保守主义。

画一条分界线，可是就总体来看，明与暗却有相当的区别。”

## 社会现象也是如此

换个话题来讲，小差异的效应能解释：为什么没有人能具体指明的种族偏见或性别偏见，居然能导致普遍的种族歧视或性别歧视。杭特大学的心理学家范莉兰（Virginia Valian）接受《纽约时报》科学记者访问时，把这个过程作这样的描述：

人们通常不能认知或估计出，小的不安定真的能积土为山。电脑的模拟已显示出这一点。在这模拟中，有一个行政机关，其中有八层职级，开始的时候这些职级都已有人任职，每一职级的男女职员数目都相等。可是在升迁时，男职员升迁的条件要比女职员的优厚 1% 左右。这个模拟程式一直演算下去，直到整个虚拟机关中所有的职员都完全换了一批人为止。最后，在最顶层的职员中有 65% 是男性，女性只占 35%。

任何一个例子中的偏差很可能都很小，有些人会说：“你把鼹鼠丘<sup>①</sup> 变成一座山了。”可是山的确是一座又一座的鼹鼠丘堆或的。

好的科学的目标是去找出拼图中，哪些看似小而不适其所的事实，才是真正的关键图片，哪些小而不规则

<sup>①</sup> 译注：鼹鼠（mole）是美洲小动物，住在地下，常常在地底下挖洞，挖过的地方会有很小的隆起，叫做鼹鼠丘——用来比喻不重要之物。

## 第三部 线与结

的事物，才是效应广大、尚未发现的定律的先兆。就如物理学家温伯格所说的，“当任何实验和理论不符时，没有哪一个东西会自己站起来，摇一面旗说：我是重要的特例。”

爱因斯坦的定律和牛顿的定律之间，差异实在很小，几乎认不出来，除非速度离光速很近。你做洲际跨国旅行时，从来注意不到时间变慢，或者乘客在飞行途中都变重了一点。你不可能注意到牛顿的重力和爱因斯坦的空间曲率之间的差异。

可是这些小差异的意义极大。费曼指出，爱因斯坦的定律只使得牛顿的定律稍微错了一点，但若是继续抱持牛顿的定律，“从哲学观点来看，我们是大错特错了……在这个定律背后，有一件哲学或理念上的怪事：即使是一项非常小的效应，有时也需要我们在理念上作极深刻巨大的改变。”

归结说来，还是那些为乌龟、雀鸟及鬣蜥蜴随岛而异的小差异，把达尔文引向发现演化论的道路。即使在今日，对演化论的信心仍旧不断被这类的小不规则性强化，例如现在已很有名气的“猫熊的拇指”<sup>①</sup>。古尔德所写的这拇指不是真拇指，而是腕骨的一支芝麻小骨。古尔德说，几近十全十美的设计并不是演化论的好证据，因为那会是十全十美的上帝创世的作品，“古怪的搭配及奇怪的解答即是演化论的证据，因为聪明的上帝绝不会选择这些怪径道；可是被历史限制住的自然过程，必然会追随这些怪径道。”

<sup>①</sup> 译注：《猫熊的大拇指》是古尔德（Stephen Jay Gould）于 1980 年写的一本科普书，中文版由天下文化出版。

## 打开眼界

在大多数情形下，小差异真的是小差异，一旦了解它们，你就可以放心了。偶尔来的怪讯号，能当作我们自满的盔甲上被扣敲时发出的叮当声，那是正常运转的系统中的小毛病，能刺激我们，使我们走出对事物的习惯看法。

仔细想一下，大的差异是不是反而更难注意到？你不会注意到地球的运动，虽然它绕地轴以每小时 1000 英里的速度自转，也绕着太阳以每秒 20 英里的速度公转。你不会觉得你的血液在流动，或者察觉身上细胞的活动。重要的社会趋势及经济趋向常常静静地在我们身边溜过，因为它们成长得很慢。当你坐在波音 747 客机中以 500 英里时速呼啸疾飞时，你也不会感觉到它的速度。

有时一定要你乘坐的飞机碰到气穴时，你才记得自己在飞行中。也许小差异的最大成果是把我们的眼界打开，去看到更大的、不在预期中的真相。



## 后记 推动力及影响力

本书的理念大多塑自别人的写作及思想——从爱因斯坦的理念及意见，到如墨奇、巴涅特等人的写作，及我的“物理学家朋友”原创的洞见。有些人在书中出现的次数频繁，我觉得应当在这里把他们介绍一下：

**法兰克·欧本海默**(Frank Oppenheimer)是旧金山探险博物馆的馆长，去世不久。在1972年我误打误撞到他的神奇博物馆之后，他就变成我的“物理学家朋友”。我认为这个探险博物馆像法兰克的大脑内部：相当杂乱无章，可是却把科学、哲学、教育、政治及娱乐，深深地联系在一起。探险博物馆的名声广为人知，被认为是世界上最好的科学博物馆，但事实上它是一座关于人类认知的博物馆。打从一开始，一幅破旧的招牌就宣称：探险博物馆正在创建中，这是一座社区型的博物馆，要奉献给人类的觉察意识世界。

早年法兰克·欧本海默在纽约城时，即于夜深之际在超高层建筑群之中游荡、写散文，题材是他从建筑物顶层看到的景色。后来，他在约翰霍普金斯大学及加州理工学

院研习物理及长笛，在罗沙拉摩斯(Los Alamos)实验室参与过制造原子弹的计划，又成为宇宙线物理学家，展开他的科学探险之路，后来在政治上等于遭流放10年(他为了和平主义付出的代价)，在科罗拉多州洛矶山的牧场中放牧，以后再回到教育界教书，最后他把一生多彩多姿的经验用来创造他事业的最高峰——探险博物馆。自从那些日子起，法兰克·欧本海默最关心的事就是人类的意识觉察。他获得了许多大奖，包括两次古根汉基金奖，以及加州理工学院、美国物理教师学会、美国博物馆协会等颁发的卓越服务奖。

维斯可夫(Victor Weisskopf)可称为“我的另一位物理学家朋友”。我第一次遇见他的时候，是透过他非常优秀的著作《知识和奇迹》(*Knowledge and Wonder*)，这是除了《伏魔驱邪者》(*The Exorcist*)一书外，我整夜不睡一口气读完的书<sup>①</sup>。

维斯可夫是麻省理工学院的客座荣誉教授，曾获得美国国家科学奖章，在欧洲粒子物理研究中心成型的关键年间担任主任，也担任过美国人文暨科学院院长、罗马教皇科学院的院士(在那里他积极参与核武器裁减问题)。除此之外，他深深奉献给某些科学家仍旧看不起的“科学普及运动”；他总是从百忙之中找出时间和科普作家一起作业，向大众解释物理的中心理念。他和法兰克·欧本海默一样，一直非常不介意、而且很泰然地让别人引用他的理念。

<sup>①</sup> 译注：《伏魔驱邪者》是1977年出版的幻想小说，畅销至今，已被拍成流行的影片。后来有不少人仿效，甚至于伤人、杀人而被处刑。

莫里逊(Philip Morrison)也是麻省理工学院的客座教授,是一位天文学家、作家、书评家及《科学美国人》杂志的专栏作家。或许他最为人所知的是,既是能把听众意乱情迷地迷住的演讲者,也是笔风优美的作家,在物理上的贡献也很卓著。虽然很难从他的一般写作中找出哪些是最中意的作品,可是这本选集《没有哪一件东西是奇妙到不真实的》(*Nothing Is Too Wonderful to Be True*)最能代表他的博学多闻及笔风。在他的夫人协助下,他还写出了一本令人着迷的经典《10的威力》(*Powers of Ten*)。

莫里逊的方法都是原创的,他擅长把最明显的内侧翻出来,逼迫你不得不去重估你的假设,无论这题材是原子、裁军,或者去搜寻地外生命。从多次与他在麻省理工学院的谈话中,及在旧金山法兰克·欧本海默家中的谈话,他给我的印象每一次都是:我多么地肤浅,可是又把我的头脑里装满了新理念,一直装到脑壳边上。他和他的夫人菲理斯在探险博物馆创建时,有极大的贡献。

费曼(Richard Feynman)曾被称为“世界上最聪明的人”。不管是真是假,他确实是物理界具有最多彩性格的物理学家。由于他在量子电动力学上的贡献,他得到了诺贝尔奖,可是他又是一位极好的南美小鼓鼓手,及著名的费曼图的创作者;这费曼图以视觉方式来示意次原子的事件。

费曼是加州理工学院的物理学家,可是他的口音是纽约城皇后区的土音,在学校里不相称的程度似乎令人发笑。我有一次很幸运能邀请费曼作一小时的散步(他对记

者害羞的程度是有名的)；本书关于费曼提出的大多数材料，都来自不可或缺的《费曼物理学讲议》(Feynman Lectures on Physics)及《物理之美》(The Character of Physical Law)。

墨奇(Guy Murchie)是一位著名的科普作家，最近才去世。他是这几本书的作者：《天穹之歌》(Song of the Sky)、《我的音乐》(Music of the Spheres)及《生命中的七个谜》(The Seven Mysteries of Life)。他的书中溢满了事实、引句、轶事，而最多的是他对自然事物的热情。我很自豪我把探险博物馆介绍给墨奇，也很自豪我把墨奇介绍给探险博物馆。

爱因斯坦(Albert Einstein)当然是大家都公认的天才，他发明(或者发现，如果你要这么说的话)了狭义相对论( $E = mc^2$ 、时间膨胀及其他所有相关的一切)及广义相对论(弯曲空间、黑洞及其他所有相关的一切)。他把人们对时间、空间、物质、能量、运动及其他基本现象的想法完全革命性地颠覆了。可是他不仅仅只是一位才气纵横的科学家，还是一位伟大的人本主义者，他谈及、写及、忧及战争、人类处境、暴政，关心最多的则是核武器扩散——他曾说过，这东西改变了我们的一切，可是并没有改变我们的思维。

罗伯·欧本海默(J. Robert Oppenheimer)，法兰克之兄。人们常常称誉他是在美国创建第一支理论物理学派的人，这是他在1920年代从欧洲学习物理后回到美国的事。他是主管罗沙拉摩斯实验室科学发展的科学家。以此身份，他被尊称为原子弹之父。可是大家认为他主要还是一位

## 物理与头脑相遇的地方

伟大的教师、深刻的思想家，而最后，因为他的政治观点，而成为某方面的烈士；1950年麦卡锡时代，他的机密安全许可被取消，部分原因是他反对泰勒(Edward Teller)建造威力更强大的氢弹。

加莫夫(George Gamow)是一位奇特而重要的物理学家，现在大霹雳宇宙起源学说几乎完全被接受<sup>①</sup>，他就是首创这理论者之一。在《汤普金斯先生漫游奇境记》(*Mr. Tompkins in Wonderland*)及《汤普金斯先生探测原子》(*Mr. Tompkins Explores the Atom*)这些科普书中，他写出令人着迷的故事，描述一位令人生怜的银行小书记如何学到相对论及量子力学。对于任何对现代科学有兴趣的人，这些书是很愉快的入门。我高度推荐他的这些书：《一、二、三……无穷大》(*One, Two, Three ... Infinity*)、《物理的传记》(*Biography of Physics*)及《地球传记》(*Biography of the Earth*)。

古尔德(Stephen Jay Gould)是率直而创新的哈佛大学生物学家及地质学家。他替《自然史》杂志写了不少奇佳的文章，搜集在《达尔文大震撼》(*Ever Since Darwin*)、《熊猫的大拇指》、《奇妙的生命》(*Wonderful Life*)及其他书中。古尔德谈论到演化生物学时，很少不提一些人类事务的类似现象做为比较。

奇士塔考斯基(Vera Kistiakowsky)是麻省理工学院的实验物理学家兼教授。她多次抽空阅读我写的不同性质的

<sup>①</sup> 原注：实际上，大家都接受的是，这宇宙在各方向都作急速的扩张——其涵义为，在过去的某时，所有的物质及能量都压缩在一起，成为无穷小的点。

文章,与我谈论物理。

京斯爵士(Sir James Jeans)是英国天文学家兼物理学家,他的研究工作广阔,从分子物理到量子力学及宇宙学。自1928年起(受封为爵士之后),他就不做研究工作了,而致力去做科普方面的工作。他的公开演讲及电台中的演讲,都已经搜集成册:《围绕我们的宇宙》(*The Universe Around Us*)以及《神秘的宇宙》(*The Mysterious Universe*)。

艾丁顿爵士(Sir Arthur Eddington)是和京斯同时代的人,可是这两人在天文学及哲学观点的某些地方有针锋相对之处;京斯的特长为狭议相对论。事实上,艾丁顿是第一位把爱因斯坦的相对论以通俗语言解释给大众的人。爱因斯坦认为艾丁顿的表达方式是所有语言版本中最好的①。

波耳(Niels Bohr)是丹麦物理学家,广为人知的量子力学之父,他以他的科学理念及科学在人类思想方面的涵义,启迪了一个世纪的物理学家。波耳率先把原子的特性归属于“原子中的事件(如发射光)都是以整体的形式发生”——即量子跃迁。他也创建了互补原理,以此观念去调和辐射的粒子性质及波性质。

牛顿(Sir Issac Newton)是17世纪人,大多数人都把他描述为坐在苹果树下等苹果掉下来打到头的科学家。不

① 译注:第十四章提到的星光被太阳弯曲的天文观测,就是在1918年由艾丁顿领队去南非做的。见第八章第149页注释①。

管是真的或是典据可疑，第一位看出苹果落地与月球轨道都来自同一种力（重力）的人，的的确确就是牛顿。每一位学童都知道他的三条有名的运动定律（每一作用必有一反作用，等等）。他创造出微积分，首先了解到白光其实是所有颜色光谱的混合，可是他后来却被炼金术及神秘主义所迷<sup>①</sup>。

亚里斯多德(Aristotle)认为宇宙的形象是静止不动的、大小有限、以地球为中心。这个思想停停走走地主宰了科学思想有1500年之久。他的主要贡献不在物理，可是他被人归功(或被归咎)于把后世的科学家推到错误的辙道上去；特别是他的运动定律，这定律的错误在于假定物体的自然状态是静止态，因此，如果没有力把物体推动，它们最后都会很自然地静止下来。

哥白尼(Nicolaus Copernicus)是15世纪的天文家，人们归功他发现“地球绕日(地动学说)而非太阳绕地球转”。许多历史记载说，哥白尼的系统大幅简化了古希腊天文家兼数学家托勒密(Ptolemy)创出的旧系统，这旧系统把行星、太阳及月亮的运动描述为一组很复杂的本轮(epicycle, 周转圆)系统——沿大圆内滚动的小圆。可是哥白尼的系

① 译注：毫无疑问，牛顿是一位稀有的天才，可是也可以说他是怪人。牛顿终生未婚，似乎对性没有兴趣，从来不大笑。牛顿一生中历经多次精神崩溃，有些人臆测他是躁郁症患者，交替生活于忧郁及快乐之间。牛顿曾说过他像一个在海滩上游玩的小孩，“不时发现一颗光滑的圆石子，或者一枚美丽的贝壳，而在我面前的那个伟大的真理海洋，仍旧没有去探索过。”许多人认为这句话代表他的谦虚。可是他的真意乃是“醉翁之意不在酒”，因为他的主要兴趣不在科学而在神学。牛顿是一位深信基督教圣经教义者(即相信圣经上每一词语字面上的意义)。他真的相信有天使、恶魔及撒旦(魔鬼)。事实上，牛顿花了他大半生的时间去证明基督教圣经的旧约才是确实的历史。如果牛顿能多花些时间在科学上，真不知道他能再发现多少科学真理。

统也需要许多复杂的运动，主要的原因是，他认为天体是完美的圆周运动，虽然真正的行星轨道是椭圆形。

伽利略(Galileo Galelei)是十六七世纪的科学家，人们归功他在物理现象研究中建立了实验求证的重要性。许多人经常把伽利略做这样的描述：站在比萨科塔的顶上，把一枝羽毛及一块石头同时落下，去证明它们会以一样快的速度落到地上(这是不可能的，除非比萨斜塔在真空中)。人们也归功他注意到“摆的周期与摆的长度有关，而与摆幅无关”。伽利略还发明了望远镜；发现在月亮上有山，发现无数的恒星及木星的卫星——这是第一个除我们之外的行星也有卫星的证据。

开普勒(Johannes Kepler)和伽利略是同时代人，他花了一生的时间去搜寻“球的音乐”中的宇宙级泛音。他最重要的贡献可能是认识到行星是被一种“力”拘束在绕日的轨道上。他也创建了三条行星运动定律，这三条定律最后证明了行星的轨道是椭圆形，而非圆形。

当然这名单只列出一部分的人，这名单多多少少是按这些人在书中出现的次数而排列的。我当然不可能把所有推动本书的力及施于本书的影响力都一一列出。书后面的延伸阅读中选列出不少，读者可进一步参阅。

统也需要许多复杂的运动，主要的原因是，他认为天体是完美的圆周运动，虽然真正的行星轨道是椭圆形。

伽利略(Galileo Galelei)是十六七世纪的科学家，人们归功他在物理现象研究中建立了实验求证的重要性。许多人经常把伽利略做这样的描述：站在比萨科塔的顶上，把一枝羽毛及一块石头同时落下，去证明它们会以一样快的速度落到地上(这是不可能的，除非比萨斜塔在真空中)。人们也归功他注意到“摆的周期与摆的长度有关，而与摆幅无关”。伽利略还发明了望远镜；发现在月亮上有山，发现无数的恒星及木星的卫星——这是第一个除我们之外的行星也有卫星的证据。

开普勒(Johannes Kepler)和伽利略是同时代人，他花了一生的时间去搜寻“球的音乐”中的宇宙级泛音。他最重要的贡献可能是认识到行星是被一种“力”拘束在绕日的轨道上。他也创建了三条行星运动定律，这三条定律最后证明了行星的轨道是椭圆形，而非圆形。

当然这名单只列出一部分的人，这名单多多少少是按这些人在书中出现的次数而排列的。我当然不可能把所有推动本书的力及施于本书的影响力都一一列出。书后面的延伸阅读中选列出不少，读者可进一步参阅。