

Georges Lemaître (1894-1966)

Costretto nella dualità sconcertante
Dell'uomo di fede e del ricercatore
Questo fu di Georges Lemaître il destino
Canonico qual era e grande
Campione dell'astrofisica
Cosmologo inveterato autore
Di un rigido modello di Universo
[...]
Dove si parla dell'esplosione
Iniziale che fece
Con un solo scoppio
Il mondo.

André Verdet, *Hommages* (1984)

Georges Lemaître nasce il 17 luglio 1894 nella città industriale di Charleroi, in Belgio. Primogenito di una famiglia della media borghesia, compie la sua formazione nel collegio dei gesuiti della sua città natale e, all'età di 17 anni, inizia gli studi di ingegneria all'Università di Lovanio. Nel 1914 interrompe gli studi per arruolarsi volontario nell'esercito, servendo sia nell'artiglieria sia nella fanteria belga. Non diventa ufficiale perché osa correggere i calcoli balistici del suo istruttore, ma alla fine del primo conflitto mondiale riceve una delle più alte onorificenze militari, la Croce di guerra Belga. È proprio durante la prima guerra mondiale che Georges Lemaître sceglie la sua duplice vocazione scientifica e religiosa: «C'erano due vie per giungere alla verità, e ho deciso di percorrerle entrambe» dichiarerà in seguito in un'intervista al *New York Magazine*. Dopo essere tornato all'università nel 1919, Georges cambia orientamento, passando dallo studio dell'ingegneria a quello delle scienze fisiche e matematiche, in cui eccelle; nel 1920 ottiene il dottorato in matematica. Già a quest'epoca Lemaître manifesta l'apertura mentale e la varietà di interessi che lo caratterizzeranno in seguito: mentre porta avanti le sue ricerche matematiche di alto livello ottiene infatti un diploma di maturità in filosofia tomistica. Sempre nel 1920 Georges entra al seminario di Malines, in una sede riservata alle vocazioni tardive, dove vi resterà fino al 23 settembre 1923, giorno della sua ordinazione sacerdotale ad opera del cardinale Mercier. È proprio grazie all'arcivescovo Mercier che Lemaître ottiene il permesso di continuare autonomamente gli studi in fisica durante la formazione ecclesiastica, specializzandosi in Relatività Generale. Nel 1922 Lemaître prepara, da solo, una tesi sulla relatività e sulla gravitazione dal titolo *La physique d'Einstein*, che verrà pubblicata solamente nel 1996, trent'anni dopo la sua morte, ma che intanto gli permette di ottenere una borsa dal governo belga consentendogli così di studiare all'estero. Si trasferisce quindi a Cambridge, in Inghilterra, dove impara l'astronomia stellare sotto la guida del celebre astrofisico Eddington. Nel secondo anno della sua borsa Lemaître si reca prima all'Harvard College Observatory, dove lavora con Harlow Shapley sul problema delle nebulose (il termine “nebulosa” veniva utilizzato da oltre due secoli dagli astronomi per indicare gli astri poco luminosi, simili a nuvole, che non cambiano né posizione né aspetto), e poi al Massachusetts Institute of Technology (MIT), dove lavorano due osservatori geniali, Edwin Hubble e Vesto Slipher. Il primo misura le distanze delle nebulose osservando alcune stelle variabili di tipo Cefeidi, il secondo stima le loro velocità sulla base del loro spostamento spettrale. Mentre segue da vicino il lavoro sperimentale degli astronomi americani del MIT, che ben presto

avrebbero fondato la cosmologia osservazionale, Lemaître inizia una tesi di dottorato sui campi gravitazionali nei fluidi in relatività generale. Alla fine del 1924 Georges assiste a una riunione in cui viene annunciata da Edwin Hubble la scoperta di Cefeidi nelle nebulose a spirale. Ciò consente di dimostrare l'esistenza di galassie esterne alla nostra. Lemaître capisce subito che questa nuova concezione degli «Universi-isole» avrà delle conseguenze per le teorie della cosmologia relativistica. L'8 luglio 1925 il suo soggiorno americano finisce e Lemaître deve raggiungere la sua famiglia a Bruxelles. In ottobre viene nominato professore incaricato alla facoltà di scienze di Lovanio e il 19 novembre 1925 consegna la sua tesi di dottorato al MIT, che sarà però accettata solamente il 15 dicembre 1926, dopo una revisione durata più di un anno. Nel giugno 1927 viene informato per posta che il MIT gli ha finalmente concesso il titolo di dottorato (PhD) in scienze fisiche, dispensandolo dalla discussione orale. Nello stesso anno viene nominato professore all'Università di Lovanio e pubblica il suo articolo fondamentale sull'Universo in espansione e sugli spostamenti spettrali. Lemaître manterrà questo posto fino alla pensione, nel 1964, interrompendo talvolta l'insegnamento per brevi soggiorni all'estero mirati a stabilire contatti e a partecipare a conferenze scientifiche. Viene scelto come membro della Pontificia accademia delle Scienze nel 1936, quando viene creata, e ne diventa presidente nel marzo 1960, mantenendo questa carica fino alla morte, sopraggiunta a Lovanio il 20 giugno 1960.

In breve, l'opera cosmologica di Lemaître si è realizzata in due fasi. In un primo momento Lemaître scopre, indipendentemente da Friedmann, che le equazioni di Einstein ammettono soluzioni cosmologiche non statiche. Contemporaneamente, prende in considerazione le osservazioni americane sulle velocità delle galassie, alle quali attribuisce un senso fisico, interpretandole come un Universo in espansione. In un secondo tempo, Lemaître azzarda un'ipotesi ancora più audace, che in parte è una prosecuzione logica della teoria dell'Universo in espansione: *“Se oggi l'Universo è in espansione, in passato è stato molto più denso, e un giorno lontano deve quindi essere stato condensato in un «atomo primitivo», i cui frazionamenti successivi l'hanno modellato nella forma in cui lo conosciamo oggi”*. Rivista e corretta nel corso del tempo, questa idea è diventata la teoria del Big Bang.

Ripercorriamo il pensiero scientifico di Lemaître attraverso l'analisi e il commento dei principali articoli da lui pubblicati.

Un universo omogeneo di massa costante e di raggio crescente, che giustifica la velocità radiale delle nebulose extragalattiche, 1927.

All'inizio degli anni '20 pochissimi astronomi ammettono l'esistenza di galassie esterne alla nostra; in particolare, la nebulosa di Andromeda viene generalmente considerata come un sistema solare in formazione. La situazione cambia nel 1924, quando Edwin Hubble identifica alcune Cefeidi in Messier 31 (Andromeda) e invia un articolo con i suoi risultati a una riunione di astronomi. Da quel momento si sancisce che le nebulose a spirale sono altri sistemi di stelle analoghe alla nostra galassia. Nello stesso periodo gli astronomi americani Vesto Slipher e Harlow Shapley avevano iniziato un programma sistematico di misura delle velocità delle nebulose a spirale. Le leggi di propagazione della luce stabiliscono che una radiazione viene captata con una frequenza diversa dalla frequenza di emissione se la sorgente che la emette si trova in movimento. Uno spostamento verso il rosso, cioè verso lunghezze d'onda maggiori, indica che l'oggetto si allontana, uno spostamento verso il blu indica che si avvicina. Vesto Slipher aveva analizzato in questo modo la composizione spettrale della luce emessa da 41 nebulose a spirale e aveva trovato che 36 nebulose presentavano degli spostamenti verso il rosso, che potevano quindi essere interpretati come un movimento sistematico di recessione. Tuttavia, non viene proposta nessuna interpretazione cosmologica. Lemaître è a conoscenza di questi risultati preliminari e dimostra di voler tenere conto dei dati osservativi dell'epoca.

Nel 1927 Lemaître pubblica quindi il suo articolo fondamentale dal titolo *Un universo omogeneo di massa costante e di raggio crescente, che giustifica la velocità radiale delle nebulose extragalattiche*, dove collega l'espansione dell'Universo derivante dalle soluzioni cosmologiche della relatività generale alle osservazioni sulle velocità di fuga delle nebulose extragalattiche. Lemaître affronta il problema fra i modelli di Universo di De Sitter e di Einstein: il modello di De Sitter trascurava l'esistenza della materia, ma faceva risultare le velocità di recessione delle nebulose a spirale osservate; la soluzione di Einstein ammetteva la presenza di materia e stabiliva una relazione tra la densità di materia e il raggio dell'Universo, ma non riusciva a spiegare la velocità di recessione delle nebulose. Lemaître cerca una soluzione delle equazioni relativistiche che sia intermedia tra i due modelli, cioè che contenga materia e contemporaneamente spieghi la recessione delle galassie. Il modello a cui arriva Lemaître descrive un Universo a curvatura positiva in espansione monotona, di densità e pressione non nulle che, risalendo indietro indefinitamente nel corso del tempo, si avvicina alla soluzione statica di Einstein. Questo modello è quindi privo di singolarità iniziale e verrà in seguito chiamato *Modello di Eddington-Lemaître*. L'eccezionale importanza del lavoro di Lemaître consiste nell'avanzare, per la prima volta, l'ipotesi che le velocità di recessione delle nebulose extragalattiche siano la conseguenza cosmica dell'espansione dell'Universo nell'ambito della relatività generale. Non soltanto, quindi, Lemaître ha trovato l'espansione come soluzione delle equazioni relativistiche, ma è anche il primo ad affermare che si tratta della soluzione corretta, perché si basa sull'analisi delle osservazioni: *“Utilizzando le 42 nebulose extragalattiche che compaiono negli elenchi di Hubble e di Strömberg, e tenendo conto della velocità propria del Sole, [...], avremo quindi $\frac{R'}{R} = \frac{v}{rc} = 0,68 \times 10^{-27} \text{ cm}^{-1}$ ”*. Lemaître enuncia così chiaramente la relazione di proporzionalità esistente fra la velocità di recessione e la distanza, la stessa legge che Hubble pubblicherà solamente due anni più tardi con $v = Hr$, riportando numeri praticamente identici, e la cui paternità gli verrà attribuita dalla storia. Il fatto è che nella versione tradotta in inglese, l'unica letta dagli storici della scienza non francofoni, il paragrafo chiave di Lemaître, *“Utilizzando le 42 nebulose extragalattiche...”*, viene sostituito semplicemente da *“From a discussion of available data, we adopt $\frac{R'}{R} = 0,68 \times 10^{-27} \text{ cm}^{-1}$ ”*. Così compare solamente il valore numerico di $\frac{R'}{R}$ e non l'espressione analitica $\frac{R'}{R} = \frac{v}{rc}$, quella, precisamente, che sarà chiamata «legge di Hubble»!

All'origine del mancato riconoscimento iniziale ci fu infatti una scelta dello stesso Lemaître: traducendo, nel 1931, il suo articolo in inglese, il prete belga tralasciò deliberatamente i riferimenti al cosiddetto “parametro di Hubble”. Questo perché, nel frattempo, Hubble aveva pubblicato un proprio articolo giungendo ad analoghe conclusioni, rendendo così, secondo lo stesso Lemaître, non più attuali i risultati illustrati in francese nel lavoro del 1927. Per questo motivo il 29 ottobre 2018 l'Unione Astronomica Internazionale (IUA) ha approvato tramite voto elettronico esteso a tutti i membri che la legge che descrive la velocità di recessione dell'Universo sia rinominata «legge di Hubble-Lemaître», per *“dare il giusto riconoscimento a entrambi gli scienziati”*, sottolineando *“la volontà di onorare l'integrità intellettuale di Georges Lemaître, che gli ha fatto anteporre il progresso della scienza alla visibilità personale”*.

L'espansione dello spazio, 1931.

L'espansione dello spazio è l'unica spiegazione coerente in accordo alle osservazioni astronomiche e lo stesso Einstein, prima scettico, finisce per accettarla. Ma proprio quando Eddington ed Einstein raggiungono l'astrofisico belga nella sua visione di un Universo dinamico, Lemaître si è già spinto oltre. Invece di considerare il mondo statico di Einstein come uno stadio iniziale a partire dal quale comincia il modello dinamico, Lemaître preferisce pensare che l'Universo abbia cominciato la sua espansione a partire da uno stato singolare, che chiama *“l'atomo primitivo”* ed espone nel suo articolo *L'espansione dello spazio* nel 1931. Anche in questo articolo, Lemaître parte dai dati sperimentali:

l'osservazione degli spostamenti verso il rosso delle nebulose lontane riflette l'espansione dell'Universo, ma l'esistenza stessa di queste nebulose richiede che, in passato, nell'Universo vi siano stati dei processi di contrazione che abbiano generato tali nebulose. Per Lemaître, la contrazione della materia e l'espansione dello spazio sono le manifestazioni degli squilibri esistenti tra due forze cosmiche opposte: da una parte la gravitazione, attrattiva, e dall'altra la forza espressa dalla costante cosmologica, repulsiva. Il modello del prete belga suddivide l'evoluzione dell'universo in tre fasi distinte: due espansioni rapide, separate da un periodo di rallentamento. La prima fase è un'espansione di tipo esplosivo, prodotta dalla disintegrazione radioattiva di un atomo-Universo, "*l'atomo primitivo*". La seconda fase corrisponde a una situazione di quasi equilibrio tra la densità di materia e la costante cosmologica, con la conseguenza che il raggio dell'Universo resta praticamente costante per un tempo detto "stagnazione". Durante questa fase, su piccola scala prevalgono gli effetti attrattivi della gravitazione e si formano quindi le grandi strutture dell'Universo, con le stelle raggruppate in galassie e le galassie in ammassi. Nella terza fase, quella in cui ci troviamo noi oggi, la formazione di condensazioni locali perturba le condizioni di equilibrio, rendendo predominante la costante cosmologica e provocando la ripresa dell'espansione. Questo modello è chiamato talvolta "Universo esitante". In questa serie di fasi, la più interessante è la prima, poiché solleva la questione della singolarità iniziale dell'Universo, che Lemaître chiama per la prima volta *atomo primitivo*, dove il significato di atomo non va interpretato in senso fisico, quanto più etimologico, nel senso che l'Universo è concepito come unico e inseparabile. Lemaître immagina l'Universo primitivo come un quanto unico, dalla cui disintegrazione si sono formati tutti gli attuali componenti dell'Universo. Come scrive lui stesso: «*Possiamo immaginare che lo spazio abbia avuto inizio con l'atomo primitivo e che l'inizio dello spazio abbia segnato anche l'inizio del tempo*». È tuttavia importante sottolineare che la concezione della singolarità iniziale elaborata da Lemaître non si è mai fondata su una fusione scientifico-religiosa. Papa Pio XII, a cui piace molto l'astronomia ed è al corrente delle scoperte scientifiche del suo tempo, prova ad associare l'idea dell'atomo primitivo proposto da Lemaître con la concezione biblica della creazione. È Lemaître stesso che però, in un intervento a Roma nel 1952, chiede al papa di non usare l'ipotesi dell'*atomo primitivo* come un argomento a favore di una visione cristiana del cosmo. Il problema per Lemaître non è solo il rischio di confusione tra scienza e teologia, ma anche il fatto che la sua cosmologia all'inizio degli anni '50 non aveva ancora delle solide conferme osservative. Papa Pio XII accoglie molto positivamente l'intervento di Lemaître e da quel momento la Chiesa cattolica evita ogni allusione esplicita all'*atomo primitivo*.

L'origine del mondo dal punto di vista della teoria quantistica, 1931.

Come molti altri fisici, anche Lemaître rimane colpito dalla meccanica quantistica, che costituisce una novità. Sullo slancio di un suo precedente intervento sulla singolarità iniziale dell'Universo in espansione, nel maggio del 1931 Lemaître pubblica una lettera nella rivista britannica *Nature* dal titolo *L'origine del mondo dal punto di vista della teoria quantistica*, vera "carta costituzionale" della teoria del Big Bang. Lemaître suppone che il tempo e la sua freccia siano legati all'aumento dell'entropia. Nel verso positivo dell'asse del tempo, l'Universo corre verso la sua fine, cioè uno stato di entropia infinita, mentre deriva da uno stato di entropia nulla. L'entropia nulla deve essere considerata come una singolarità iniziale, in cui i concetti stessi di spazio e di tempo perdono il loro significato. Prima della condensazione di entropia nulla, non esistono né tempo né spazio: lo spaziotempo viene creato dalla singolarità iniziale. La novità radicale introdotta da Lemaître consiste nello stabilire un collegamento fra la struttura dell'Universo su grande scala e la natura degli atomi, collegando la fisica dell'infinitamente grande con quella dell'infinitamente piccolo. Quest'idea di Lemaître corrisponde proprio a ciò che oggi si chiama "cosmologia quantistica".

Grazie a questa idea rivoluzionaria il nome di Lemaître diventa molto conosciuto all'epoca. Il prete belga inizia ad avere scambi verbali ed epistolari con il padre della relatività, Albert Einstein. La

concezione dell'atomo primitivo viene discussa proprio in presenza di Einstein nel gennaio del 1933. Alla fine dell'esposizione di Lemaître, Einstein si alza, applaude ed esclama che “*si tratta della più bella e della più soddisfacente spiegazione della creazione che abbia mai sentito*”. Einstein manifesterà ancora la sua stima per il collega belga, sostenendo la sua candidatura all'importante premio Franqui, che verrà effettivamente conferito a Lemaître nel marzo del 1934.

Lemaître dà alla sua cosmologia una forma più strutturata nel 1933, nell'opera *L'Univers en expansion*. Qui Lemaître dimostra per la prima volta che l'apparente singolarità di Schwarzschild è puramente fittizia e risulta da una scelta sbagliata di coordinate. Purtroppo la sua dimostrazione, che invece di costituire l'oggetto di una pubblicazione a parte si trova immersa in un articolo dal contesto cosmologico più generale, passa inosservata. Lo sviluppo della teoria relativistica dei buchi neri resterà bloccata per trent'anni e il carattere fittizio della singolarità di Schwarzschild sarà riscoperto solo negli anni '60. In questo stesso articolo del 1933 Lemaître affronta brillantemente il problema della “*scomparsa dello spazio*”, ovvero dell'annullamento del raggio dello spazio in corrispondenza della singolarità cosmica. Il prete belga delinea una dimostrazione fondamentale, secondo la quale le singolarità cosmologiche sono una conseguenza inevitabile della relatività generale sotto ipotesi ragionevoli. In particolare, dimostra che né una pressione non nulla né l'anisotropia spaziale possono impedire che si verifichi una singolarità, anticipando così i famosi “*teoremi sulle singolarità*” che verranno dimostrati in modo più generale negli anni '60 e che renderanno celebri i loro autori, Stephen Hawking e Roger Penrose. Lemaître deduce che lo zero dello spazio deve essere trattato come un vero inizio, in cui ogni struttura astronomica preesistente sarebbe stata completamente distrutta. L'anno successivo, nel 1934, Lemaître pubblica un importante seguito al suo articolo *L'Univers en expansion*, dove calcola l'energia del vuoto e vi associa una pressione negativa per interpretare la costante cosmologica. Inoltre, Lemaître suggerisce che l'Universo attuale dovrebbe essere immerso in un bagno di radiazione di corpo nero a una temperatura di 20 K, uguale a quella dell'idrogeno liquido, anticipando l'esistenza di una radiazione cosmica di fondo. Tuttavia, la profondità di vedute di Lemaître continua ad essere ignorata dalla maggior parte del mondo scientifico.

La guerra del 1939-1945 isola il canonico Lemaître da ogni contatto esterno all'Università di Lovanio. Alla fine del conflitto, Lemaître si ritira sia dai riflettori della vita pubblica sia dal mondo scientifico internazionale, preferendo una vita tranquilla a Lovanio e recandosi solo raramente all'estero. *L'hypothèse de l'atome primitif* è il testo di una conferenza che Lemaître tiene nel settembre del 1945 a Friburgo e che viene pubblicata lo stesso anno. In realtà non si tratta di un testo inedito, ma di una raccolta di cinque articoli precedenti. Il libro fa la sua comparsa al momento sbagliato, perché la teoria dell'atomo primitivo non è più di moda. In assenza di indizi sperimentali decisivi, infatti, essa si scontra con due teorie rivali. Una corrisponde a una rinascita della cosmologia newtoniana. Ma soprattutto, dopo il 1948 trionfa la teoria cosmologica dello “stato stazionario”, i cui principali promotori sono Thomas Gold e Fred Hoyle. La loro idea è che l'Universo sia sempre stato e sempre sarà come ora, identico a sé stesso nel corso del tempo. La materia cosmica, però, si disperde per effetto della fuga delle galassie: per compensare la diluizione e assicurare una densità media costante, gli autori dello stato stazionario ipotizzano che la materia venga creata spontaneamente, in modo continuo. Fred Hoyle, dotato di una forte personalità, non è molto gentile con i suoi avversari scientifici. In occasione di una riunione a Pasadena, nel 1960, prende in giro Lemaître, aumentato di peso, accogliendolo con queste parole: «This is the Big Bang man». Hoyle fece però doppiamente l'interesse della teoria di Lemaître: in primo luogo, trovandole il nome che la renderà così popolare (anche se da lui utilizzato in segno di scherno) e successivamente, più seriamente, contribuendo a risolvere la questione dell'abbondanza degli elementi chimici nell'Universo. L'espressione *Big Bang*, liberata dal suo senso dispregiativo, passerà poi alla storia grazie a un americano di origine russa, George Gamow.

Bibliografia, articoli e siti consultati

Lemaître G., *Note on De Sitter's Universe*, 1925

Lemaître G., *Homogeneous Universe of Constant Mass and Increasing Radius accounting for the Radial Velocity of Extra-galactic Nebulae*, 1927

Lemaître G., *L'espansione dello spazio*, 1931, traduzione di Laura Bussotti

Lemaître G., *L'origine del mondo dal punto di vista della teoria quantistica*, 1931, traduzione di Laura Bussotti

Luminet J. P., *L'invenzione del Big Bang*, Edizioni Dedalo, 2006

Holder R. D., Mitton S., *Georges Lemaître: Life, Science and Legacy*, Springer, 2013

<http://www.media.inaf.it/2018/09/04/hubble-lemaitre-iau/>

<https://www.iau.org/news>