

LE SCOPERTE • LE INVENZIONI

MARGHERITA HACK

L'UNIVERSO NEL TERZO MILLENNIO

LE MERAVIGLIE
CHE CONOSCIAMO
E I MISTERI
ANCORA INSOLUTI
DEL COSMO

MARGHERITA HACK

**L'UNIVERSO
NEL TERZO MILLENNIO**

**LE MERAVIGLIE CHE CONOSCIAMO
E I MISTERI ANCORA INSOLUTI DEL COSMO**

BUR
Rizzoli

LE SCOPERTE • LE INVENZIONI

Proprietà letteraria riservata

© 1992, 1995 R.C.S. Libri & Grandi Opere S.p.A., Milano

© 1997 RCS Libri S.p.A., Milano

© 2017 Rizzoli Libri S.p.A. / BUR Rizzoli

ISBN 978-88-17-09277-7

Prima edizione Rizzoli 1992

Prima edizione BUR 1995

Prima edizione BUR Scienza gennaio 2017

Seguici su:

Twitter: @BUR_Rizzoli

www.bur.eu

Facebook: /RizzoliLibri

Molti antichi perché e alcune recenti risposte

Fin dagli albori della civiltà il genere umano deve essersi chiesto cos'erano quegli irraggiungibili puntini luminosi che brillavano sopra le loro teste, che mutavano col passare delle stagioni, che apparivano con l'oscurità dando il cambio al Sole. E che cosa poteva essere quest'ultimo se non un dio, apportatore di vita e di calore, ma anche di morte per la siccità; o per il freddo quando si rifiutava di apparire e si nascondeva dietro una coltre di nubi. Così sono nate le mitologie, così è nata l'astrologia, che associava a ogni stella o pianeta un essere divino, o un eroe, un superuomo, e vedeva nelle costellazioni figure immaginarie, rappresentanti episodi delle loro vite. Da lassù questi esseri seguivano le vicende umane, le determinavano o modificavano a seconda delle loro simpatie e capricci.

Ma col passare dei secoli osservatori più attenti cominciarono a scoprire le regolarità di certi moti, mentre pensatori e filosofi presero a costruire modelli di universo, basati soprattutto su teorie religiose e filosofiche, spesso disgiunte dall'osservazione.

Del resto le osservazioni consistevano in misure delle posizioni dei corpi celesti e delle loro variazioni, misure fatte puntando i corpi con delle specie di mirini e regoli graduati e misurando distanze angolari da punti fissi di riferimento. Eppure con questi mezzi rudimentali, Ipparco verso il 140-130 a.C. in Bitinia e a Rodi riusciva a misurare la precessione degli equinozi.

Ma è stato solo con Galileo che agli inizi del XVII secolo è cominciata l'era moderna dell'astronomia e delle scienze fisiche. Infatti, l'applicazione del cannocchiale – inventato da alcuni ottici olandesi – allo studio del cielo, dilatò incredibilmente il raggio dell'universo osservabile. È ancora a Galileo che

dobbiamo la concezione moderna di scienza, basata sull'esperimento e la sua ripetibilità e non più su astratte teorie filosofiche o religiose.

La conoscenza dell'universo come un tutto, della sua origine ed evoluzione, costituisce la cosmologia. Essa oggi si basa sulla conoscenza dell'origine ed evoluzione di quelle cellule che costituiscono l'universo e che sono le stelle, le galassie, le famiglie di galassie (gruppi, ammassi, superammassi).

Il mezzo che ci ha permesso di conoscere questi corpi, per ora e forse per sempre intangibili, è la radiazione elettromagnetica che essi ci inviano. Poi dopo avere inventato gli strumenti per captare, analizzare e misurare questa radiazione, e dopo avere sviluppato, con l'ausilio di esperienze in laboratorio, le teorie che ne regolano l'emissione, siamo finalmente riusciti a conoscere la struttura fisica e la composizione chimica delle stelle, a risalire alle loro fonti di energia, al modo in cui queste fonti vengono consumate e quindi all'evoluzione delle stelle, e di conseguenza all'evoluzione dei complessi in cui esse si formano: le galassie. Ma tutti questi strumenti, sia di osservazione sia teorici, sono stati creati e sviluppati solo nell'800 e potenziati nel '900. Negli ultimi quarant'anni poi lo sviluppo degli strumenti e dei mezzi di calcolo si è tanto accelerato da superare le più ottimistiche previsioni. I risultati sono stati spesso sorprendenti, ed è soprattutto di questi che parleremo.

Vorremmo intanto sottolineare che solo da poco più di cento anni abbiamo scoperto di cosa sono fatte le stelle, e da poco più di cinquanta conosciamo le loro fonti d'energia e sappiamo calcolare la durata della loro vita.

Le conoscenze accumulate per secoli e millenni e fino al 1930 erano tutte basate unicamente sull'osservazione e misurazione di una piccola parte della radiazione emessa dai corpi celesti, quella che chiamiamo «luce» e che corrisponde alle radiazioni di lunghezza d'onda compresa fra circa 0,38 micron e 0,80 micron, le quali ci danno rispettivamente la sensazione di luce violetta cupa e di rosso cupo.

Quando Karl Jansky, un ingegnere della Bell Telephone Company, scoprì per caso, fra il 1930 e il 1932, che dal centro della Via Lattea provenivano onde radio, gli astronomi non lo

presero troppo sul serio. Solo dopo la seconda guerra mondiale la radioastronomia fiorì e si sviluppò rapidamente, mostrandoci un cielo del tutto diverso da quello osservabile otticamente. Allora si capì l'importanza che poteva avere lo studio di tutto lo spettro elettromagnetico, dai raggi gamma ai raggi X, all'ultravioletto, all'ottico, all'infrarosso fino alle onde radio. E poiché l'atmosfera terrestre è totalmente o parzialmente trasparente solo alle onde luminose e a quelle radio, lo si comprese ancora meglio quando iniziò l'era spaziale dell'astronomia. Misuratori di raggi gamma e X, telescopi per l'ultravioletto e l'infrarosso sono stati montati su satelliti in orbita attorno alla Terra e ci hanno svelato altri aspetti del cielo.

Le radiazioni elettromagnetiche viaggiano nei vuoti spazi intersiderali alla velocità della luce, la massima consentita secondo la relatività di Einstein, di 300.000 chilometri al secondo. Per quanto enorme, si tratta pur sempre di una velocità finita. Questo ha per conseguenza che quanto più lontano guardiamo nello spazio, tanto più indietro guardiamo nel tempo. Oggi ci rendiamo conto che le galassie poste a più di 10 miliardi di anni luce hanno caratteristiche diverse da quelle più vicine, a «soli» 10 o 50 milioni di anni luce. Ciò non perché l'universo vari con la distanza, ma perché varia col tempo, ossia evolve.

Naturalmente, l'unico modo che abbiamo di interpretare le nostre osservazioni è di ammettere che le leggi fisiche che regolano l'emissione di radiazione o le leggi della gravitazione che regolano il moto dei corpi sono le stesse in tutto l'universo. Se così non fosse le nostre armi di conoscenza risulterebbero completamente spuntate. Ma per ora non c'è alcuna seria evidenza contraria a questa necessaria ipotesi.

Le radiazioni elettromagnetiche non sono l'unico mezzo di contatto coi corpi celesti. Particelle prive di carica e di massa praticamente nulla – i neutrini – vengono prodotte nell'interno delle stelle e si propagano liberamente nello spazio. A causa delle loro proprietà, interagiscono pochissimo con la materia ed è perciò assai difficile catturarle e misurarle. Nel 1987 sono stati registrati alcuni dei neutrini emessi dalla supernova esplosa nella Grande Nube di Magellano; e altri, sia pure in misura molto minore rispetto alle previsioni, emessi dal Sole.

Infine, anche se non ancora misurate direttamente, c'è la possibilità teorica di osservare le onde gravitazionali.

È noto dalla fisica che *particelle cariche* in moto accelerato producono onde elettromagnetiche; così moti accelerati di *masse* dovrebbero generare onde gravitazionali. Per esempio, il collasso di una stella di grande massa dà luogo a onde gravitazionali che potrebbero essere rivelate da adeguati strumenti di misura. Ma poiché la forza gravitazionale è tanto più debole della forza elettromagnetica, la rivelazione di queste onde è estremamente difficile. Comunque, è probabile che rappresenterà una importante branca dell'astronomia di questo secolo.

Le quattro forze fondamentali

I modi in cui i costituenti la materia interagiscono fra loro sono regolati dalle quattro forze fondamentali. Esse sono la forza gravitazionale, la forza elettromagnetica, la forza nucleare debole e la forza nucleare forte.

La forza gravitazionale, pur essendo di gran lunga la più debole, agisce anche su grandi distanze, ed è sempre attrattiva. La legge che la regola fu scoperta da Newton alla fine del XVII secolo. Essa dice che due masse si attraggono reciprocamente in modo direttamente proporzionale al prodotto delle loro masse e inversamente al quadrato della loro distanza: $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$. G è la costante di gravitazione, determinata sperimentalmente. Questa è una costante universale, avente cioè lo stesso valore in tutto l'universo. Infatti, non c'è per ora alcuna prova che essa vari con la distanza.

La forza elettromagnetica fu scoperta nell'Ottocento, attraverso due diversi esperimenti: quello della forza elettrostatica per cui due cariche elettriche si attraggono (se hanno segno opposto) o si respingono (se hanno lo stesso segno) con una forza direttamente proporzionale al prodotto delle loro cariche e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza, e quello che dimostra come una corrente elettrica produca un campo magnetico, così come un campo magnetico variabile

produce una corrente in un conduttore. Gli esperimenti di due grandi fisici dell'800, André Marie Ampère e Michael Faraday, furono fondamentali per James Clerk Maxwell, il quale capì che elettricità e magnetismo sono due diversi aspetti della stessa forza, la forza elettromagnetica.

La forza nucleare forte è quella che tiene insieme, in un nucleo atomico, più protoni, e cioè particelle cariche dello stesso segno, che dovrebbero essere soggette a repulsione elettrica. È vero che esse sono anche soggette ad attrazione gravitazionale, ma facendo i conti si trova che l'attrazione gravitazionale è circa mille miliardi di miliardi di miliardi di miliardi (10^{-39}) volte più debole. La forza nucleare forte (scoperta nel 1930) è dunque una specie di colla capace di tenere insieme due cariche di segno eguale, ma la cui azione si esercita solo a distanze dell'ordine del raggio di un nucleo atomico: 10^{-13} centimetri.

La forza nucleare debole si manifesta quando un nucleo atomico emette un elettrone (decadimento beta o radioattività beta, scoperta all'inizio del '900). In questo caso un neutrone emette un elettrone; il nucleo atomico mantiene praticamente la stessa massa ma la carica del nucleo cresce di una unità e il nucleo si trasforma nell'elemento immediatamente successivo nella tavola degli elementi di Mendeleev. È infatti la carica del nucleo quella che determina le proprietà chimiche di un elemento. Una varietà di questo fenomeno consiste nell'emissione di un positrone, o elettrone positivo; ancora la massa del nucleo resta praticamente la stessa ma la sua carica diminuisce di uno e l'elemento si trasforma in quello che lo precede nella tavola di Mendeleev. Durante il decadimento beta lo stato iniziale e quello finale del nucleo hanno differenti energie, sebbene l'elettrone (o il positrone) non porti via tutta quella energia. Per il principio di conservazione dell'energia ci deve essere qualcosa senza carica e con massa praticamente nulla che si porta via l'energia residua. Questo qualcosa è il neutrino, scoperto per la prima volta nel 1956, sviluppando le teorie di Pauli (1931) e di Fermi (1934).

Nel 1967 Steven Weinberg del Massachusetts Institute of Technology, e Abdus Salam dell'Imperial College di Londra e già direttore del Centro Internazionale di Fisica Teorica di

Trieste, indipendentemente, dimostrarono che la forza elettromagnetica e la forza nucleare debole si identificano a energie molto grandi, maggiori di 100 miliardi di elettron volt, ottenibili nei moderni acceleratori di particelle. Essi predissero che il risultato di questa unificazione era la produzione di alcune particelle chiamate W^+ , W^- e Z^0 , di massa pari a 85 volte la massa del protone per le prime due, e a 95 per la terza. Esse furono effettivamente individuate al CERN nel 1983, in un esperimento diretto da Carlo Rubbia. La forza unificata è stata chiamata elettrodebole.

In questi ultimi anni si è scoperto che l'espansione dell'universo invece di essere rallentata dalla stessa forza di gravità dovuta alla presenza della materia, sta accelerando, come se esistesse una quinta forza che si oppone alla forza di gravità.

Gravitazione e relatività

Newton si poneva il problema di questa forza misteriosa che sembrava agire istantaneamente a distanze enormi in uno spazio apparentemente vuoto, ma però non faceva ipotesi e si limitava a constatare che spiegava i fatti osservati.

Nei *Principi* dice «... la sua azione si estende per ogni dove a immense distanze, sempre decrescendo in proporzione inversa al quadrato delle distanze... In verità non sono ancora riuscito a dedurre dai fenomeni la ragione di queste proprietà della gravità, e non invento ipotesi... Ed è sufficiente che la gravità esista di fatto, agisca secondo le leggi da noi esposte, e spieghi tutti i movimenti dei corpi celesti e del nostro mare».

Einstein, nel 1915 pubblica la sua teoria della relatività generale, che è una teoria della gravitazione.

La forza di gravità, malgrado sia tanto più debole delle altre tre forze fondamentali, è quella dominante nell'universo, a causa del suo grande raggio d'azione. Pertanto una teoria della gravitazione è anche una teoria cosmologica.

La fondamentale differenza fra la concezione newtoniana della gravità e quella fornita dalla relatività consiste nel considerare lo spazio non come qualcosa di assoluto e indipendente

dalla materia, ma plasmato dalla materia. In altre parole la presenza di materia incurva lo spazio, costringendo un corpo a muoversi lungo la curvatura, in modo tale da riprodurre le osservazioni.

Si può sintetizzare questo concetto così: «La materia dice allo spazio come incurvarsi e lo spazio dice alla materia come muoversi».

Questa nuova concezione elimina la necessità di postulare un'azione istantanea a distanza, in contrasto con la non superabilità della velocità della luce. Inoltre, a differenza della teoria newtoniana, non solo spiega i fatti osservati (e, li spiega meglio) ma ne spiega anche il perché. Infine più che di spazio, si dovrebbe parlare di spazio-tempo.

Mentre per Newton lo spazio e il tempo sono due entità separate e assolute, Einstein dimostra che sono due entità strettamente connesse e dipendenti dalla presenza di materia e dalla sua velocità.

Gli effetti relativistici diventano sensibili solo a velocità non trascurabili rispetto a quella della luce. Poiché il nostro mondo macroscopico è un mondo a bassa velocità, la teoria newtoniana della gravitazione spiega bene le osservazioni, e le previsioni della relatività possono sembrare paradossali. Ma ci sono numerose conferme sperimentali. Per esempio, la teoria spiega perfettamente l'avanzamento del perielio di Mercurio; mostra che anche la luce è soggetta all'attrazione gravitazionale; abbiamo prove indirette dell'esistenza delle onde gravitazionali, che come increspature dello spazio si spostano alla velocità della luce.