

LE NUOVE FRONTIERE DELLA FISICA CENTO ANNI DOPO IL TRIONFO DELLA RELATIVITÀ SPECIALE

EINSTEIN

AVEVA RAGIONE (relativamente)

Nel 1905 un giovane scienziato iniziò a cambiare per sempre, con le sue strane teorie, la nostra visione dell'universo.

Ancora oggi le sonde spaziali ne confermano le intuizioni. Anche se nuove osservazioni suggeriscono che, almeno su certi problemi, il grande Albert forse si sbagliava.

■ di CHIARA PALMERINI
e LUCA SCIORTINO

«L'universo di Tolomeo è durato 1.400 anni. Quello di Newton 300. Ora Einstein ne ha inventato un altro e nessuno sa quanto durerà» commentò il drammaturgo George Bernard Shaw, chiamato a pronunciare un discorso in onore di Albert Einstein, nel 1930. L'universo di Einstein resiste da cento anni. Lui stesso era convinto che non potesse essere altrimenti: la sua teoria era troppo semplice, coerente, bella. «Nessuno che l'ha veramente capita potrà sfuggire al suo fascino» scrisse.

Nel 1905, nel giro di poche settimane, il ventiseienne impiegato dell'ufficio brevetti di Berna pubblicò tre lavori che avrebbero cambiato la storia della fisica. Con uno, quello sul cosiddetto moto browniano, fornì le prove dell'esistenza degli atomi; con lo studio sull'effetto fotoelettrico stabilì che la luce è fatta di fotoni; infine concepì la relatività ristretta (o speciale), che superava la visione dell'universo di Isaac Newton, e che poi completò, dieci anni più tardi, nella superba costruzione della relatività generale. Il 2005, centenario dell'annus mirabilis einsteiniano, è anche stato proclamato «anno della fisica». ▶

«La filosofia senza la scienza è vuota; la scienza senza la filosofia è primitiva e confusa»

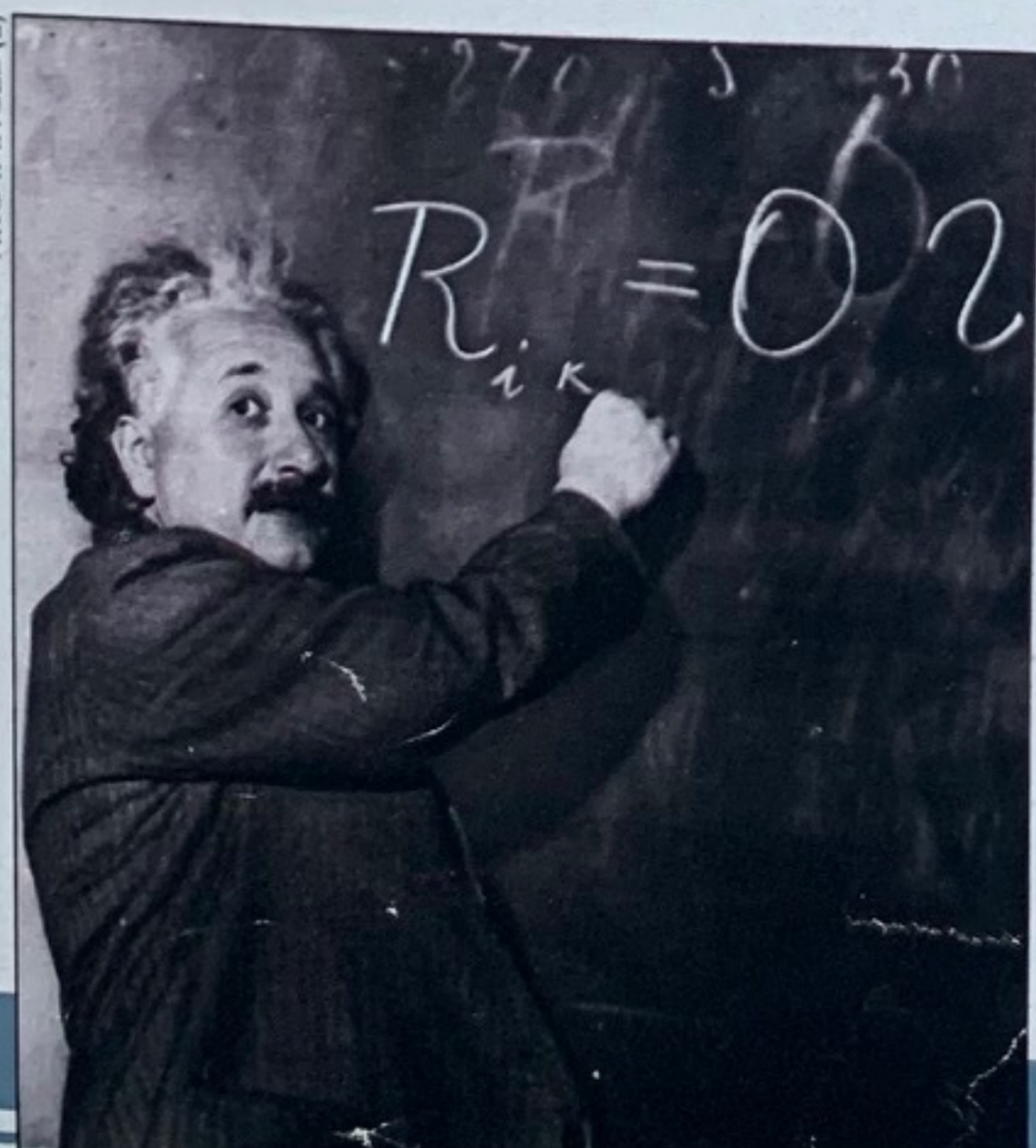
► Il XX secolo è trascorso nella comprensione e verifica delle idee emerse dalle teorie di Einstein che, in parte, sono oggi pura routine per i fisici. «La relatività accende l'immaginazione: è stata una delle metafore più usate al di fuori della fisica. Forse per questo si è ingenerata nel pubblico l'idea che sia una qualche strana teoria filosofica piena di paradossi, orologi che rallentano e metri che si accorciano. In realtà la relatività è una teoria fisica che nei laboratori costituisce il pane quotidiano, non una congettura su cui speculare» osserva Giovanni Battimelli, storico della fisica alla Sapienza di Roma.

Altre idee di Einstein però sono ancora territori di frontiera. La relatività generale, che pubblicò nel 1916 e definì il suo «pensiero più felice», non è stata ancora sondata del tutto. I fisici continuano a testare, con esperimenti inaccessibili alla tecnologia di quei tempi, implicazioni e conseguenze delle sue teorie. Impegnati a verificare la solidità di tutte le parti dell'edificio della relatività, guardano anche se per caso non riescano a scorgervi qualche crepa, magari uno spiraglio per penetrare in una nuova fisica. Per andare oltre Einstein.

Increpature dello spazio-tempo

«Quando uno scarafaggio cieco si muove sulla superficie curva di un ramo, non vede che il suo percorso è curvo. Io sono stato abbastanza fortunato da notare quello di cui lo scarafaggio non si è accorto»: questa immagine, racconta Michio Kaku in *La visione di Einstein*, in uscita per Codice a febbraio, era così semplice ed elegante che il fisico poté usarla per spiegare al figlio minore Eduard, che gli aveva chiesto perché fos-

AKG-IMAGES (2)



Gemelli nello spazio

Secondo la teoria della relatività ristretta (o speciale), il tempo, così come lo spazio, non è assoluto, ma scorre più lentamente se ci si muove a una velocità vicina a quella della luce. Lo spiega bene il paradosso dei gemelli. Il gemello A resta sulla Terra mentre B parte per un viaggio nello spazio. Al ritorno troverà il fratello molto più vecchio di lui. Benché ciò sembri impossibile, vari esperimenti hanno dimostrato che il tempo si comporta proprio così.

ILLUSTRAZIONE DI STEFANO CARRARA

Gemello B



Gemello A



se così famoso, un concetto chiave della sua teoria: la curvatura dello spazio-tempo sotto l'effetto della gravità.

Un paio di mesi fa, con un esperimento ingegnoso e a costo zero, ricercatori guidati da Ignazio Ciufolini dell'Università di Lecce hanno ottenuto per la prima volta una misurazione che conferma un fenomeno di questo pilastro della relatività generale. «Una massa, ruotando, in pratica trascina con sé lo spazio-tempo. Già molti anni fa avevo pensato che, nel caso della Terra, sarebbe stato possi-

bile misurare gli effetti della distorsione dello spazio-tempo sul percorso di alcuni satelliti in orbita. Un effetto piccolissimo, nascosto da altri fenomeni, per esempio dalla forma non perfettamente sferica della Terra. Usando i dati dei satelliti Lageos 1 e 2, e le misurazioni di una missione Nasa che ci hanno permesso di fare le correzioni opportune per la forma della Terra, abbiamo verificato che alcune variazioni della loro orbita erano in accordo con le previsioni» racconta Ciufolini, che ha lavorato con il fisico

John Wheeler, studioso dei buchi neri e collaboratore di Einstein.

Un esperimento più costoso, progettato per misurare con precisione ancora maggiore lo stesso effetto è quello a bordo della sonda Gravity Probe B, lanciata dalla Nasa lo scorso aprile, dopo 40 anni di ri-

vii. Il cuore dell'esperimento è una sfera di grosso termos riempito con oltre mille litri di elio liquido al cui interno si trovano quattro sferette di quarzo levigate che ruotano 10 mila volte al secondo.

$$k_{\nu} = \frac{d}{dt} \left\{ \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right\} \dots (27a)$$

Ausdruck unter der Klammer rechts ist die Geschwindigkeit des Massenpunktes

die, wobei allerdings, wie im Integral

besteht für

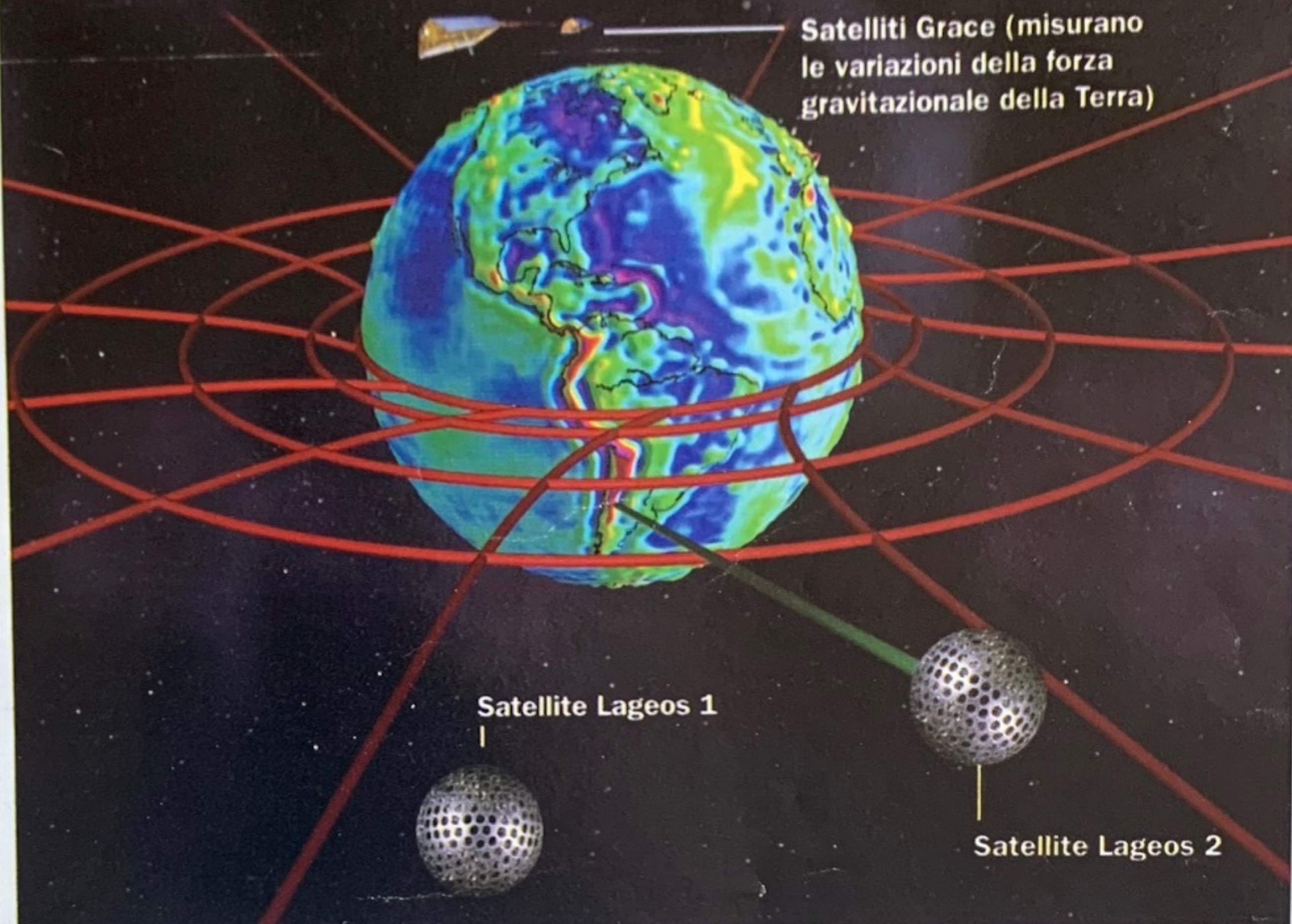
$$c^2 \frac{d\mathcal{L}}{dt} = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \dots (28)$$

APPUNTI PREZIOSI

► Einstein scrive equazioni sulla gravità della Via Lattea. Sopra, gli appunti della relatività ristretta.

Distorsioni cosmiche

Lo spazio-tempo è distorto dalla rotazione della Terra nello stesso modo in cui una sfera che ruota trascina un fluido viscoso, per esempio miele, in cui è immersa. Con i dati dei satelliti Lageos 1 e Lageos 2, integrati con dati della missione Grace, è stato misurato l'effetto di distorsione dello spazio-tempo dovuto alla rotazione terrestre.



DISEGNO DI FRANCO RICCI (UNIV. DI ROMA 1) E IGNAZIO CIUFOLINI (UNIV. LECCE). IMMAGINE DEL 1. PIRELLA G. ART. FOTO: J. J. HARRIS

do. Dai piccolissimi cambiamenti nella loro rotazione gli scienziati misureranno l'entità dell'increspatura nello spazio-tempo che la Terra crea intorno a sé.

Si punta sulle onde

La scorsa estate il bookmaker inglese Ladbrokes ha accettato scommesse per 500 a uno che, entro il 2010, gli esperimenti in corso osserveranno le onde gravitazionali, perturbazioni dello spazio-tempo emesse dai corpi celesti in movimento, la cui esistenza era stata predetta da Einstein. Date le tante richieste, le puntate sono state fatte scendere a 100 a 1 e infine a 10 a 1. A dare la caccia a queste onde sono oggi vari osservatori nel mondo. Il Virgo, nella piana di Cascina, vicino a Pisa, sta finendo la fase di «commissioning», la messa a punto di tutte le sue parti fino al livello di precisione necessario. «Nella seconda metà del 2005 dovremmo essere pronti» prevede Adalberto Giazotto, portavoce del Virgo.

I due osservatori Ligo, sulle due coste degli Usa, sono impegnati nella stessa impresa. Per ora senza risultato. «Non abbiamo ancora rivelato le onde gravitazionali. Gli strumenti sono vicini al li-

vello di sensibilità progettato e raccoglieremo nuovi dati a partire da febbraio 2005» riferisce Rainer Weiss, fisico del Mit di Boston che lavora al progetto. L'anno prossimo gli appassionati potranno unirsi alla ricerca: con il progetto Einstein@home, simile a quello per l'analisi di eventuali segnali extraterrestri, i pc di casa verranno usati per una seconda analisi dei dati raccolti dal Ligo, per accertarsi che non sia sfuggito qualcosa.

Un dogma in crisi?

Se c'è un concetto che anche i non addetti ai lavori attribuiscono a Einstein, questo è l'assolutezza della velocità della luce, che entra nella sua più celebre equazione, $E=mc^2$ (energia=massa per la velocità della luce al quadrato). Alcuni fisici teorici stanno mettendo in dubbio che la c dell'equazione abbia sempre lo stesso valore, 300 mila chilometri al secondo. Secondo una teoria sviluppata dal fisico Giovanni Amelino-Camelia, per esempio, potrebbe esserci una piccola differenza tra la velocità dei fotoni di luce visibile e dei fotoni con energie molto più grandi. Nel 2007, grazie a un nuovo osservatorio per i raggi cosmici della

Nasa, sarà forse possibile scoprire se davvero si va verso un superamento di Einstein.

Il suo più grande «non errore»

C'era una cosa su cui Einstein era convinto di avere torto, invece aveva ragione. Per far quadrare i conti della sua teoria, che presupponeva un universo statico, aveva introdotto nelle sue equazioni un termine che lo manteneva immobile, la «costante cosmologica». Più tardi, quando i dati astronomici dimostrarono in modo incontrovertibile che l'universo non era statico ma si espandeva, lo definì «il suo più grande errore». Nel 1998, però, gli astrofisici hanno avuto una sorpresa: l'universo non solo si espande, ma lo fa accelerando, al contrario di quanto si pensava. Inaspettatamente, è tornata alla ribalta la costante cosmologica. Forse, a far gonfiare sempre più velocemente l'universo, cosa che a Einstein sembrava inconcepibile, c'è davvero una forza misteriosa (anche se con un ruolo diverso da quello immaginato da Einstein). Gli astrofisici ne sono convinti anche se non sanno ancora esattamente che cosa sia questa energia. ▶

ragazza passa in un minuto, ma un **minuto** su una stufa rovente sembra un'ora».



IN OTTIMA COMPAGNIA

► Einstein tra i fisici Pieter Zeeman (a sinistra) e Paul Ehrenfest, nel laboratorio di Zeeman.

► «Dio non gioca a dadi»

Molti fisici ritengono che, almeno su una questione, Einstein ebbe torto. Si tratta della meccanica quantistica, la teoria, nata nella prima metà del 1900, che spiega il mondo microscopico. Le sue implicazioni sconvolgono il senso comune: una particella, quando non viene osservata, è in potenza ovunque, e si materializza in una certa posizione nel momento in cui viene misurata. È come se la meccanica quantistica sostenesse che un pesce, prima di essere pescato in uno stagno, si trovi ovunque perché liquefatto e si ricomponga solo quando abbocca all'amo.

Einstein si oppose a questo modo di vedere poco intuitivo, affermando che «Dio non gioca a dadi con il mondo»: se una particella viene rivelata proprio in un certo punto, deve esserci una causa, per esempio la sua stessa presenza lì in quell'istante. Per lui la meccanica quantistica era una teoria incompleta: aggiungendo ulteriori variabili, pensava, sarebbe stata possibile una descrizione più vicina al senso comune. Finora questi tentativi sono falliti. Così la meccanica quantistica, grazie anche ai suoi successi, si è affermata e i fisici hanno dato torto a Einstein.

Ma qualcuno ancora dalla sua parte c'è. Franco Selleri, del dipartimento di fisica all'Università di Bari, afferma: «Einstein aveva ragione. All'inizio sembrava ci fossero vincoli matematici che impedivano il completamento della teoria quantistica. Ora penso siano stati supe-

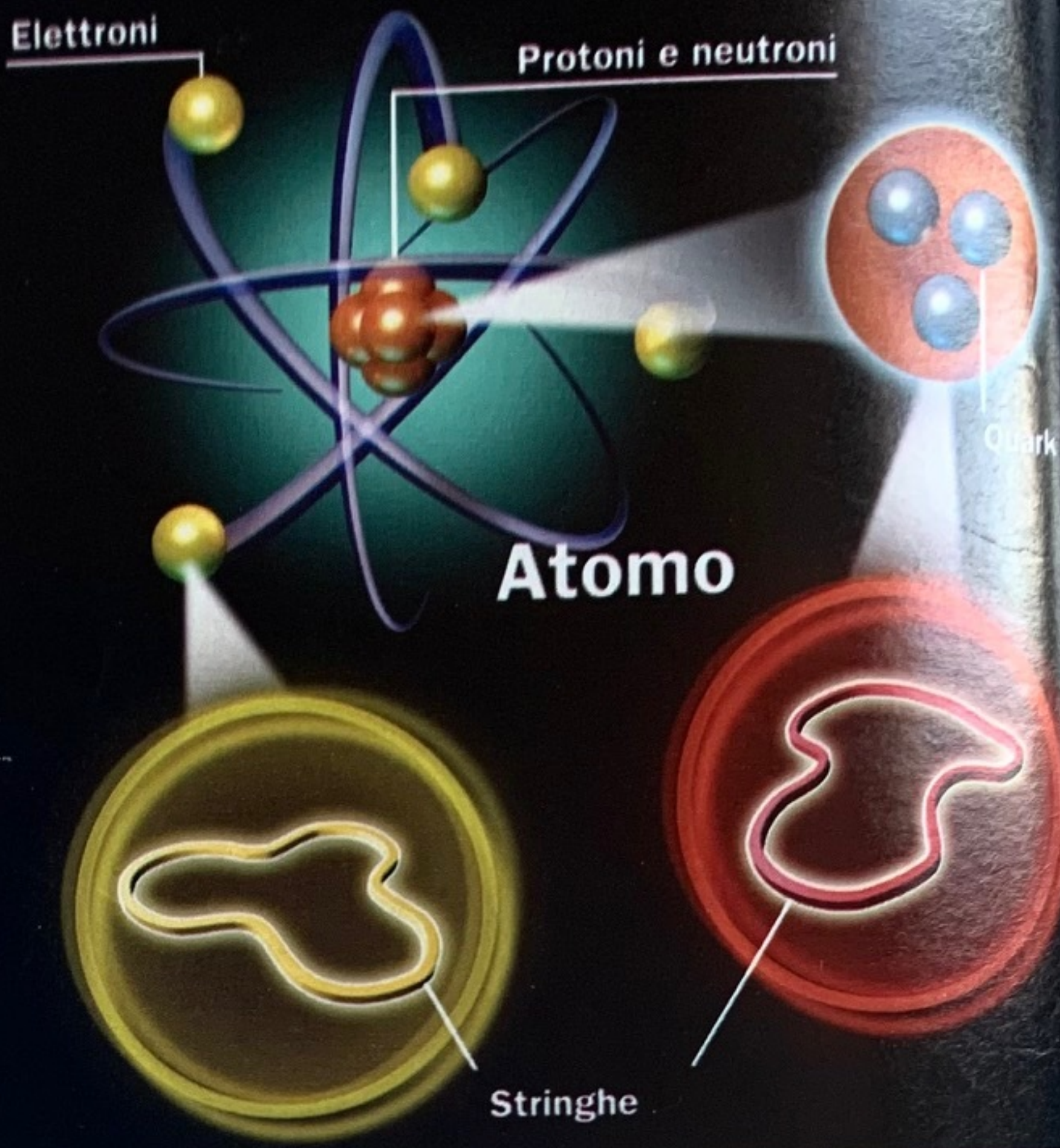
rati, e non c'è ragione per non cercare una teoria migliore. Purtroppo per i giovani fisici è molto più difficile fare carriera con ricerche controcorrente che possano dare ragione a Einstein».

Ricordando poi che nessuna teoria umana può essere considerata completa, Selleri aggiunge: «Esistono alcuni centri nel mondo dove le idee di Einstein contro l'ortodossia quantistica ispirano ricerche. La partita non è chiusa e confido che prima o poi la linea di pensiero causale si riaffermerà».

Quando era in là negli anni, il grande scienziato volle ampliare la relatività generale, cercando una teoria unificata in cui forze gravitazionali ed elettromagnetiche fossero in realtà aspetti diversi di un'unica forza. Gabriele Veneziano, fisico teorico del Cern, spiega: «Il risultato non fu brillante perché a Einstein mancavano elementi decisivi, sui quali i fisici che vennero dopo costruirono una teoria unificata per le forze elettromagnetiche, debole e nucleare. Inoltre, la relatività generale è una teoria non quantistica, ma le altre forze che occorre unificare con la gravità riguardano i sistemi microscopici, dove proprio la meccanica quantistica, in cui lui non credeva, ha un ruolo fondamentale».

Vibrazioni e particelle

In base alla teoria delle stringhe, le particelle non sono puntiformi, ma composte in realtà da invisibili stringhe, le cui diverse vibrazioni danno origine a elettroni, protoni e così via.



Un mondo di stringhe

Oggi una nuova teoria, ancora da provare, pare risolvere molti dei problemi che assillarono il vecchio Einstein. La cosiddetta teoria delle stringhe, che giunge alla realtà un ulteriore livello microscopico: ogni particella non sarebbe in realtà puntiforme, ma conterrebbe un invisibile filamento oscillante, la stringa. Sarebbero le diverse vibrazioni di questa stringa a dare origine a elettroni, protoni e così via, un po' come le corde di un violino producono note differenti.

Pioniere dell'universo a stringhe è stato proprio Veneziano, che dice: «Questa teoria usa la meccanica quantistica per trattare sia la gravità sia le altre forze, quindi riesce a unificarle». Un po' avanti là dove Einstein aveva fallito. «Credo che Einstein sarebbe affascinato dalle stringhe poiché il punto di partenza è geometrico, come quello della relatività generale. Rimarrebbe forse deluso dal fatto che la meccanica quantistica ha un ruolo essenziale nella teoria: per la gravitazione ha la sua origine nella meccanica quantistica di una stringa. Non si può dire che ha sbagliato. Ha rivoluzionato la fisica e ha fatto quello che si poteva fare con le conoscenze dei suoi tempi».