

# Giovedì **Scienza** 31<sup>a</sup> Edizione

**LASCIENZA IN DIRETTA SETTIMANA PER SETTIMANA**

GIOVEDÌ 16 FEBBRAIO 2017

## **L'ENIGMA DELLA GRAVITÀ**

Un percorso tra universi possibili e ricerche teoriche

### **THIBAUT DAMOUR**

Nato nel 1951, dal 1989 è professore di Fisica teorica all'Institut des Hautes Études Scientifiques. Riconosciuto tra i maggiori studiosi al mondo della gravità, della relatività generale e della teoria delle stringhe, ha dato a questi campi contributi fondamentali già quando era docente all'École Normale Supérieure. Alcuni dei suoi lavori più importanti riguardano le onde gravitazionali emesse da sistemi binari di pulsar e buchi neri; in collaborazione con Alessandra Buonanno, ha ideato l'approccio "a un solo corpo" per modellizzare le orbite di buchi neri coalescenti come quelli che hanno emesso le onde gravitazionali di recente osservate.

### **PER SAPERNE DI PIÙ**

Thibault Damour, *Albert Einstein - La rivoluzione della fisica contemporanea*, edizioni Einaudi

Thibault Damour, disegni di Mathieu Burniat, *Le Mystère du Monde Quantique*, edizioni Dargaud (solo in francese)

### **WEB**

Il sito sulle onde gravitazionali dell'Institut de Hautes Études Scientifiques - Université Paris-Saclay dove lavora Thibault Damour (in inglese): [goo.gl/37FtbT](http://goo.gl/37FtbT)

La pagina web professionale di Thibault Damour con link alle sue conferenze (in francese): [goo.gl/jKQERV](http://goo.gl/jKQERV)

Un sito divulgativo preparato da Luciano Rezzolla sulle onde gravitazionali in italiano sulla rivista *Asimmetrie on line* dell'INFN: [goo.gl/qb7xAe](http://goo.gl/qb7xAe)

# L'IDEA PIÙ FELICE DELLA MIA VITA

Nel novembre del 1907 Albert Einstein ebbe quella che avrebbe poi definito «l'idea più felice della mia vita»:

Ero seduto su una sedia all'Ufficio brevetti di Berna quando, improvvisamente, mi venne un'idea: «Una persona in caduta libera non avvertirà più il suo peso». Restai sbalordito. Questo pensiero, in apparenza così semplice, mi fece una grande impressione. Mi spinse verso una nuova teoria della gravità.

Per spiegare la fisica sottostante a questa idea, dobbiamo risalire al 1638, data nella quale Galileo diede alle stampe la sua opera scientifica più importante, i Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze. Grazie a una feconda combinazione di ragionamenti logici, esperimenti mentali ed esperienze reali condotte sui piani inclinati, Galileo fu il primo a concepire quella che oggi chiamiamo «universalità della caduta libera», oppure «principio di equivalenza debole». Citiamo la conclusione che egli trae da un ragionamento in cui fa variare (idealmente) il rapporto tra la densità dei corpi in caduta libera e la resistenza del mezzo in cui cadono: «veduto, dico, questo, cascai in opinione che se si levasse totalmente la resistenza del mezzo, tutte le materie descenderebbero con eguali velocità».

Come forse ricorderete, ciò è stato verificato direttamente dagli astronauti che per primi hanno messo piede sulla Luna. Approfittando dell'assenza di atmosfera (e dunque della resistenza che il mezzo comporta), essi lasciarono cadere un martello e una piuma e constatarono che questi due oggetti cadevano esattamente insieme.

Ovviamente i fisici non dovettero attendere il 1969 per verificare, con grande precisione sperimentale, l'opinione di Galileo secondo cui in assenza di attriti tutti i corpi cadono nello stesso modo (con la stessa accelerazione) all'interno di un campo gravitazionale. Le prime esperienze precise sono dovute

proprio al grande Newton, che confrontò le oscillazioni di due pendoli di uguale forma ma composizione e peso differenti. Newton fu anche il primo a comprendere che questa proprietà faceva intuire un'importante caratteristica della gravità. In effetti, la legge fondamentale della dinamica enunciata da Newton nel 1686 dice che una forza  $F$  esercitata su un corpo di massa  $m$  gli imprime un'accelerazione  $a$  data dalla semplice formula  $F = ma$ . Questa relazione mostra che la stessa forza non imprime la stessa accelerazione a tutti i corpi. Se  $A$  ha massa, ad esempio, due volte più grande di  $B$ ,  $F$  fornisce un'accelerazione due volte più debole ad  $A$  rispetto a  $B$ , cioè  $A$  è due volte più inerte di  $B$ . Riassumendo, la legge fondamentale della dinamica di Newton mostra che la massa  $m$  di un corpo (concepita allora come la sua quantità di materia) misura la sua inerzia, vale a dire la sua capacità di resistere a un cambiamento di moto.

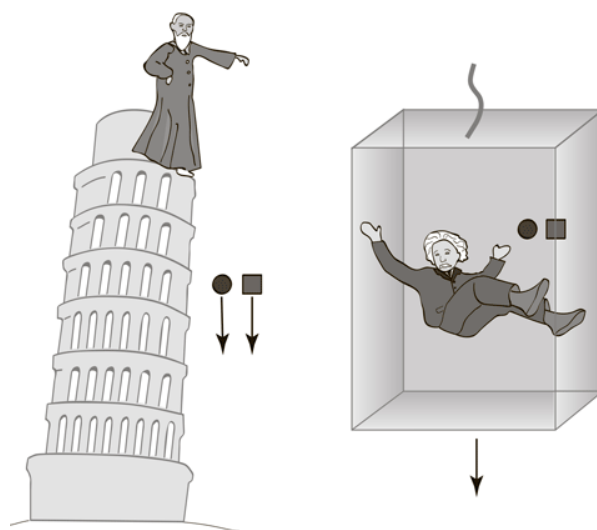
Vediamo anche che in generale l'accelerazione impressa da una forza esterna non ha nulla di universale. Ad esempio, un campo elettrico comunicherà accelerazioni differenti a corpi diversi, il cui valore dipende al contempo dalla sua massa e dalla sua carica elettrica. Allo stesso modo, anche le accelerazioni comunicate da un campo magnetico non hanno nulla di universale. Invece un campo gravitazionale come quello terrestre (o lunare) imprime la stessa accelerazione a tutti i corpi situati nello stesso punto dello spazio; la forza che il campo esercita su un corpo si definisce il suo peso. Newton comprese dunque che, tra tutte le forze, solo il peso aveva la proprietà di essere esattamente proporzionale alla massa. In altre parole, la forza di gravità è proporzionale all'inerzia dei corpi sui quali si esercita.

Questo legame profondo e misterioso tra gravità e inerzia fu formalizzato da Newton nella sua teoria della gravitazione universale. In sintesi, la massa di un corpo svolge tre ruoli separati: ne misura l'inerzia, il modo

in cui risponde a un campo gravitazionale esterno e infine il modo in cui esso stesso genera un campo gravitazionale. Dopo Newton, e per piú di due secoli, gli scienziati smisero di stupirsi del fatto che la massa svolgesse ruoli a priori distinti.

### L'ascensore di Einstein

Ma in un giorno di novembre del 1907, Einstein capì di colpo che questa relazione tra inerzia e gravità doveva avere un significato nascosto e che dietro a tutto c'era la luce. Cominciò così un percorso concettuale che durò otto anni e che lo condusse, attraverso molte false piste, a fondare nel novembre 1915 una nuova teoria dello spazio, del tempo e della gravità. La prima tappa di questo lungo cammino verso la luce fu un innovativo esperimento mentale. Generalizzando la sua intuizione secondo cui un uomo in caduta libera non avverte piú il proprio peso, immaginò quel che si sarebbe osservato in un ascensore in caduta libera. Grazie al principio di equivalenza debole, tutti i corpi presenti in questo apparato cadranno con la stessa accelerazione in un campo gravitazionale esterno; in particolare, cadranno con la stessa accelerazione dell'ascensore e pertanto avranno accelerazione relativa nulla rispetto alle pareti dell'ascensore. Dunque si limiteranno a fluttuare liberamente, o restando in quiete (se all'inizio vengono lasciati fermi rispetto alle pareti dell'ascensore), o spostandosi in linea retta a velocità costante (se è stata loro impressa una certa velocità iniziale). Questo comportamento ci è divenuto familiare grazie alle immagini dell'esplorazione spaziale: è il fenomeno dell'assenza di gravità, che si verifica dentro una navicella spaziale in caduta libera nel campo gravitazionale della Terra. In termini fisici, diciamo che le pareti di un ascensore, o di una capsula spaziale, definiscono un sistema di riferimento. Un ascensore in caduta libera definisce dunque un sistema di riferimento in caduta libera. E allora possibile riassumere le osservazioni appena viste affermando che il campo gravitazionale esterno è cancellato in un sistema di riferimento in caduta libera (*si veda la figura che segue*).



Einstein propose anche un altro esperimento mentale, in cui considerava una situazione differente: quella in cui non esiste campo gravitazionale esterno. Anziché vicino alla Terra (dove la massa del nostro pianeta crea un forte campo) situamoci in un punto lontano da tutto, dal Sole, dalla Via Lattea e da tutte le altre galassie. Consideriamo di nuovo un ascensore, ora collocato in una regione dove non si sente l'effetto di alcun campo gravitazionale «vero». Einstein immagina a questo punto che si acceleri l'ascensore trascinandolo con una forza diretta in una certa direzione, che chiameremo «alto». All'interno di questo apparato accelerato «verso l'alto» avverrà un fenomeno familiare a tutti i viaggiatori: ad esempio, quando un'auto accelera i passeggeri si sentono premuti sui sedili, mentre gli oggetti non legati si spostano, rispetto al veicolo, con un'accelerazione diretta all'indietro. Dunque, all'interno di un ascensore accelerato «verso l'alto», tutti gli oggetti saranno accelerati «verso il basso». Questa accelerazione è universale, vale a dire è la stessa per tutti i corpi, qualunque sia la loro massa o composizione. Dunque, questa accelerazione sembra la gemella di quella che sarebbe dovuta a un «vero» campo di gravità esterno all'ascensore. Einstein ne conclude pertanto che tutto accade come se l'accelerazione impressa all'ascensore avesse creato, per un osservatore situato al suo interno, un campo gravitazionale apparente. Questi esperimenti mentali mostrano gli stretti legami tra gravità e inerzia: utilizzando

diversi effetti dell'accelerazione (e dunque delle proprietà inerziali dei corpi), si può sia cancellare un campo gravitazionale reale, sia creare un campo gravitazionale apparente.

### Verso la relatività generale

Perché Einstein ritenne queste relazioni importanti mentre scriveva un articolo in cui rivedeva la sua teoria della relatività ristretta? Ricordiamo l'intuizione centrale del principio di relatività nelle parole di Galileo: «il moto è come se non fusse». Ma in questo caso i moti avvengono in linea retta e a velocità costante. Tutti sanno che solo all'interno di una nave in moto uniforme non si percepiscono gli effetti del movimento; mentre se la nave gira bruscamente o accelera, i passeggeri nella stiva se ne accorgono. Dunque, fino ad allora, tutti pensavano che il principio di relatività potesse applicarsi soltanto a moti rettilinei e uniformi. Einstein, invece, comprese che si poteva generalizzare lo stesso principio a moti accelerati (rettilinei o curvi), a patto di far intervenire la gravità. Non è vero che

«un moto accelerato è come se non fusse», ma è vero che «un moto accelerato è come un campo di gravità». In altre parole, c'è equivalenza tra accelerazione e gravità. Come abbiamo detto, il metodo scientifico di Einstein consisteva nell'ammettere come punto di partenza, per quanto possibile, principi generali che permettessero di derivare le leggi della fisica. In questo spirito, nel 1907 introdusse il principio di equivalenza tra gravità e accelerazione (o tra gravità e inerzia, dato che si definiscono «forze inerziali» gli effetti apparenti di un'accelerazione esterna). In mano sua, questo principio si rivelò uno strumento straordinario che gli permise di costruire, tra il 1907 e il 1915, una generalizzazione della sua teoria del 1905: la relatività generale.

Thibault Damour, da *Albert Einstein  
La rivoluzione della fisica contemporanea*,  
Edizioni Einaudi



#### Il premio per i ricercatori under 35 diventa "grande": da quest'anno in tutta Italia!

Istituito nel 2011, il **Premio GiovedìScienza** nasce per incoraggiare impegno ed attenzione dei protagonisti della ricerca per la comunicazione scientifica. Fin dalla prima edizione si è confermato vetrina dell'eccellenza scientifico-tecnologica del nostro territorio. Per tutti i partecipanti una preziosa occasione per divulgare i risultati della propria ricerca: il merito scientifico è la base di valutazione per selezionare i 10 finalisti, una sfida a colpi di immagini e parole decreterà il vincitore.

Alla sua seconda edizione, il **Premio GiovedìScienza Futuro** dedicato ai ricercatori che presentano - oltre al progetto scientifico - uno studio di fattibilità.

Novità del 2017, il **Premio Speciale Elena Benaduce**, riservato a lavori di ricerca nell'ambito delle Scienze della vita che si distinguono per la particolare attenzione alla persona e alla qualità della vita.

In palio premi in denaro, l'opportunità di *raccontare* la scienza al pubblico di GiovedìScienza e di partecipare a percorsi di tutoraggio.

BANDO E REGOLAMENTO SU

[www.giovediscienza.it](http://www.giovediscienza.it)

