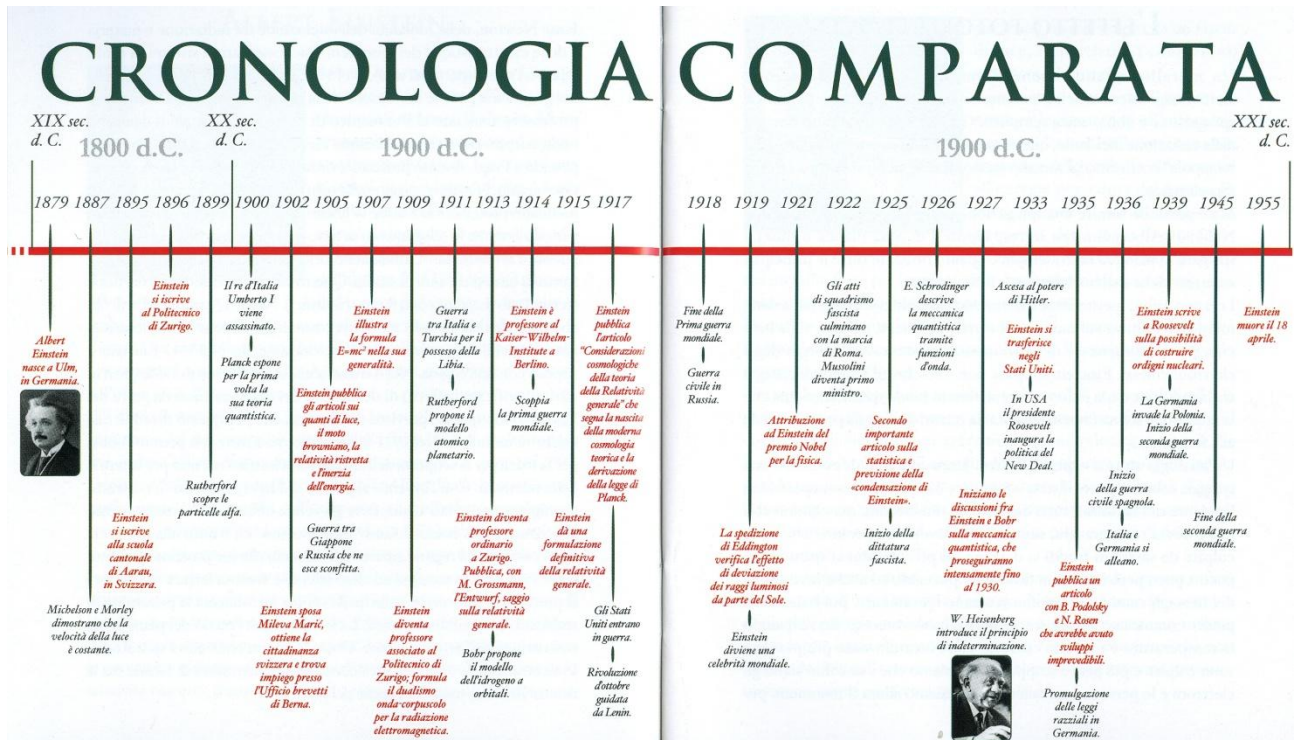


Albert Einstein

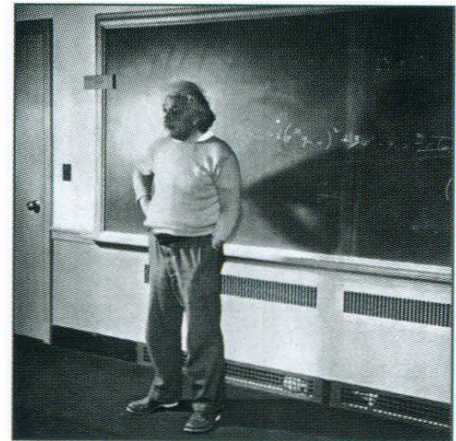
Relativamente a spazio e tempo



Albert Einstein nacque a Ulm, in Germania, il 14 marzo 1879 da genitori ebrei non praticanti. Il piccolo Albert era per istinto un solitario ed imparò a parlare molto tardi. L'incontro con la scuola fu da subito difficile: Albert, infatti, trovava le sue consolazioni a casa, dove la madre lo avviò allo studio del violino e lo zio Jacob a quello dell'algebra. Nel 1894 lasciò il ginnasio Albert Einstein di Monaco per seguire la famiglia in Italia. Si trasferì poi in Svizzera e nel 1896 si iscrisse al Politecnico di Zurigo. Qui maturò la sua scelta: si dedicarsi alla fisica piuttosto che alla matematica. Laureatosi nel 1900 non riuscì, però, a diventare ricercatore al Politecnico. Prese la cittadinanza svizzera per assumere un impiego all'Ufficio Brevetti di Berna. Il modesto lavoro gli consentì di dedicare gran parte del suo tempo allo studio della fisica. Già da molto tempo frequentava Mileva Marie, che collaborò ai suoi studi. La sposò nel 1902. Durante il 1905 considerato l'annus mirabilis Albert Einstein pubblicò tre studi teorici. Il primo studio, sull'interpretazione dell'effetto fotoelettrico, conteneva un'ipotesi rivoluzionaria sulla natura della luce; egli affermò che in determinate circostanze la radiazione elettromagnetica ha una natura corpuscolare, ipotizzando che l'energia trasportata da ogni particella, denominata fotone, fosse proporzionale alla frequenza della radiazione. Il secondo studio forniva una spiegazione al fenomeno del moto browniano. Il terzo e più importante studio recava il titolo Elettrodinamica dei corpi in movimento: conteneva la prima esposizione completa della teoria della relatività ristretta, frutto di un attento studio della meccanica classica di

Isaac Newton, delle modalità dell'interazione fra radiazione e materia e delle caratteristiche dei fenomeni fisici osservati in sistemi in moto relativo l'uno rispetto all'altro. Nel 1907 illustrò la formula $E=mc^2$ nella sua generalità; pose le basi fisiche della relatività generale; diventò poi professore associato al Politecnico di Zurigo e lì formulò il dualismo onda-corpuscolo per la radiazione elettromagnetica. Dopo un breve periodo a Praga, diventò professore ordinario a Zurigo. Pubblicò, con M. Grossmann, l'Entwurf, saggio sulla relatività generale. Venne in seguito nominato professore al Kaiser-Wilhelm-Institute a Berlino. Nello stesso periodo avvenne lo scioglimento di

fatto del primo matrimonio. Nel 1916 pubblicò la memoria: "I fondamenti della teoria della Relatività generale", frutto di oltre dieci anni di studio. Questo lavoro fu considerato dal fisico stesso il suo maggior contributo scientifico. Nel 1917 pubblicò l'articolo che segnò la nascita della moderna cosmologia teorica: Considerazioni cosmologiche della teoria della Relatività generale. Nel 1919 Einstein si risposò con una cugina. Nello stesso anno la spedizione di Eddington in Africa verificava l'effetto di deviazione dei raggi luminosi da parte del Sole secondo quanto previsto da Einstein che per questo divenne una celebrità mondiale. Nel 1921 fu attribuito ad Einstein il premio Nobel per la fisica per la scoperta dell'effetto fotoelettrico ma non per la teoria della relatività. Con l'avvento al potere di Hitler, Einstein fu costretto a emigrare negli Stati Uniti, dove gli venne offerta una cattedra presso l'Institute for Advanced Study di Princeton. Di fronte alla minaccia rappresentata dal regime nazista egli rinunciò alle sue posizioni pacifiste e nel 1939 scrisse assieme ad altri fisici una famosa lettera indirizzata al presidente Roosevelt, nella quale veniva sottolineata la possibilità di realizzare una bomba atomica. La lettera segnò l'inizio dei piani per la costruzione dell'arma nucleare. Dopo la guerra continuò i suoi studi a Princeton. Gli fu offerta la presidenza del neonato stato di Israele ma la rifiutò. Einstein morì il 18 aprile del 1955.



L'effetto fotoelettrico

Un metallo, quando viene illuminato con una radiazione elettromagnetica sufficientemente energetica, emette elettroni. La spiegazione è abbastanza semplice. Gli elettroni assorbono energia dalla radiazione incidente, questo permette loro di poter sfuggire dalla "trappola" costituita dal metallo stesso. Il fenomeno si chiama effetto fotoelettrico.

Ma è possibile fornire una spiegazione più esauriente e quantitativa? Nel 1905 Albert Einstein riprese l'ipotesi di Max Planck e riuscì a spiegare in maniera tanto semplice quanto brillante tutte le principali caratteristiche fisiche dell'effetto fotoelettrico.

Le osservazioni sperimentali mostravano che l'intensità della radiazione incidente influiva sul numero di elettroni emessi ma non sulla loro energia: all'aumentare della frequenza aumentava l'energia degli elettroni emessi. Einstein suppose non solo che gli scambi di energia tra la radiazione e la materia avvenissero in modo quantistico, ma che la radiazione stessa fosse composta da quanti di energia proporzionale alla frequenza.

Un'analogia aiuta a capire l'effetto. Immaginiamo di essere su una spiaggia colma di gente distesa a prendere il sole. Dalla nostra posizione lanciamo dei sassolini, tutti delle stesse dimensioni, ma ognuno con una diversa temperatura, sempre più elevata. Le persone che sono colpite da sassolini freddi si destano un po', ma non si spostano; a poco a poco però i sassolini diventano più caldi, ed anche la reazione dei bersagli cambia: dapprima si alzano lentamente, poi balzano in piedi e cominciano a scappare, sempre più velocemente, fino a quando la temperatura è tale che corrono via. Naturalmente più persone sono colpite e più gente scappa. Se pensiamo che i sassolini siano gli elettroni e le persone i metalli comprendiamo allora il fenomeno per cui alcuni metalli colpiti da un fascio di luce, in particolari condizioni, emettono elettroni.

A suo tempo si notò che il fenomeno non era legato tanto all'intensità, quanto al "colore" della luce, ossia alla frequenza delle onde. In altri termini all'energia posseduta dal fascio. In particolare al di sotto d'una certa frequenza, detta soglia di emissione, gli elettroni restavano "imprigionati" nel metallo. È un po' l'analogo della temperatura dei sassolini: se non sono abbastanza caldi la gente non si sposterà.

In questo modo, parlando di luce-sassolini, stiamo implicitamente riconoscendo natura corpuscolare alla luce! Einstein chiamò queste particelle di luce "fotoni".

Tornando all'analogia dei sassolini: se i sassolini sono molto caldi la gente scappa più velocemente, allo stesso modo se i fotoni sono più energetici gli elettroni emergeranno con una velocità maggiore. Se aumentiamo il numero di sassolini lanciati colpiremo più persone: se però la temperatura è la stessa avranno tutte la stessa velocità. Così se la luce è intensa, ossia nel fascio saranno presenti più fotoni, saranno di più gli elettroni emessi. Ma anche in questo caso, a parità di frequenza, avranno tutti la stessa velocità.

I fotoni sembrano quindi essere i pacchetti di Planck: ognuno infatti trasporta quell'unità minima d'energia. Non si può scendere sotto la soglia dell'energia minima, come non si può spezzettare un fotone. Tutte le previsioni derivate dall'ipotesi di Einstein, previsioni che non sono deducibili dalla teoria ondulatoria classica dell'elettromagnetismo, trovarono ampia conferma sperimentale.

Il moto browniano

Sempre nel 1905 Einstein trovò la spiegazione fisica ai moti browniani. Il botanico Robert Brown (1773-1858) osservò nel 1827 che il polline, disperso in acqua, si divideva in corpuscoli che si muovevano in modo molto irregolare. Tali movimenti furono per l'appunto chiamati moti browniani. Venne logicamente ipotizzato che la causa dei moti irregolari del polline fosse dovuta ai moti convettivi (moto termico) del fluido, ma in realtà la spiegazione fu pubblicata da A. Einstein nel 1905 e la scoperta di Brown non fu altro che la prima evidenza sperimentale dell'esistenza di atomi e molecole e dei loro movimenti. Einstein mise infatti in relazione i moti browniani con il movimento delle particelle del fluido. Lo stesso fisico individuò nell'osservazione sperimentale di tali moti irregolari la possibilità di ottenere informazioni sulla dimensione degli atomi. Infatti considerando una particella di polline in un certo istante, il numero delle particelle di fluido che entrano in collisione da un lato può essere maggiore del numero di particelle che provengono dall'altro lato; ecco che la particella di polline subisce degli scossoni, il che dà vita al moto irregolare a zig-zag osservato da Brown.

A cavallo di un raggio di luce

Prima dei sedici anni, Einstein incominciò a meditare a suo modo sulle cose. Studiò da autodidatta calcolo numerico e continuò a riflettere sulla natura della luce. Si domandò: se viaggiassi a cavallo di un raggio di luce (ossia all'interno di un sistema isolato che si muove alla velocità della luce) con uno specchio in mano, non riuscirei a vedere la mia immagine riflessa, perché un raggio luminoso che parte dal mio volto non sarebbe in grado di raggiungere lo specchio che si muove con la stessa velocità (quella della luce), ma in tal caso sarei in grado di affermare che il mio sistema è in moto, con una velocità uguale o superiore a quella della luce, mentre ciò contraddice il principio di relatività galileiano per il quale all'interno di un sistema isolato non si è in grado di stabilirne il moto o la quiete.

Questa riflessione fu il punto di partenza per arrivare nel 1905 alla definizione della relatività ristretta.

Il primo personaggio che aveva introdotto il concetto di relatività nell'ambito scientifico fu Galileo: nel Discorso sopra i massimi sistemi del 1638, riconosceva l'inesistenza di fenomeni "assoluti" (in particolare di moti assoluti di questi sistemi) e constatava la loro dipendenza dai sistemi di riferimento nei quali venivano osservati. La "relatività galileiana" risulterà, fino alla fine dell'800, uno dei capisaldi della fisica classica, che se ne servirà per l'interpretazione e lo studio di qualsiasi moto.

Secondo la relatività classica galileiana le velocità dipendono dal punto di vista dell'osservatore. Ad esempio, rispetto all'osservatore posto su un treno una stazione di passaggio sembra scorrere all'indietro alla stessa velocità che possiede il treno rispetto alla stazione. Analogamente, la velocità di un uomo che corra in un treno verso la motrice, per un osservatore posto nella stazione, è pari a quella dell'uomo rispetto al treno sommata a quella del treno rispetto alla stazione.

Secondo le equazioni di Maxwell c'era invece un limite superiore per i valori della velocità,

dato che nella sua teoria le onde elettromagnetiche si propagavano a velocità fissa e totalmente indipendente da come le si osservava. A quel punto per rimuovere le difficoltà insite nella nozione di velocità assoluta non restava che procedere con qualche esperimento che facesse chiarezza. Ci si aspettava in effetti che su larga scala la grande velocità della radiazione presentasse alcune differenze in funzione del moto dell'osservatore. Divenne presto chiaro quale fosse l'opportunità principale da sfruttare: occorreva innanzitutto concentrarsi sulla misurazione della luce. La luce è un'onda elettromagnetica che si propaga nello spazio a grandi distanze; uno spazio che i fisici credevano non vuoto ma riempito dall'etere, sostanza misteriosa e mai rilevata.

Attorno al 1887 Albert Michelson ed Edward Williams Morley, progettarono un esperimento che mise in crisi l'impianto teorico classico, negando definitivamente l'esistenza dell'etere. Il loro esperimento è oggi considerato uno dei più importanti dell'intera storia della fisica.

L'esperimento consisteva nel confrontare due fasci di luce che percorrevano cammini di uguale lunghezza ma diversi che, dopo essere stati inviati in direzioni perpendicolari tornavano indietro per riflessione. Se fosse esistito l'etere i due fasci sarebbero ritornati sfasati: un nuotatore impiega più tempo ad attraversare un fiume quando va contro corrente così l'etere avrebbe dovuto rallentare uno dei due fasci di luce. Ma quale fu l'esito dell'esperimento? Ebbene, Michelson (premio Nobel per la fisica nel 1907) e Morley non rilevarono alcuna interferenza. Presso il rilevato re la situazione era insomma sempre la stessa. Nel corso dei decenni la prova è stata condotta anche con strumenti molto più precisi, ma i risultati sono ancora oggi i medesimi. Tutto questo ha un significato fondamentale: l'etere non esiste! Le onde elettromagnetiche non hanno bisogno di alcun mezzo per propagarsi e viaggiano nel vuoto a una velocità insuperabile che vale 299.792 km/s e che è indipendente dalla sorgente e dall'osservatore.

Fino ad allora, i fisici si erano serviti dell'etere per spiegare la propagazione delle onde luminose attraverso lo spazio, (essendo onde trasversali, esse potevano propagarsi unicamente in un mezzo materiale solido).

Solo nel 1893, George Francis Fitzgerald propose un'interpretazione del tutto innovativa dell'esperimento di Michelson-Morley, sostenendo che la materia si contraeva nella sua direzione del moto e questa condizione aumentava con la velocità.

Pochi anni dopo Henrik Antoon Lorentz propose un'elaborazione puramente matematica che descriveva il fenomeno ipotizzato da Fitzgerald e lo integrava con l'ipotesi di un aumento di massa nel caso di particelle dotate di velocità molto elevata.

Questi studi risultarono la premessa alla Teoria della relatività ristretta di Einstein. Questa nuova concezione portò sconvolgenti conseguenze tra cui:

1. l'ipotesi di quantizzazione dell'energia, già confermata dagli studi sull'effetto fotoelettrico;
2. l'assunzione della velocità della luce come costante dell'universo (nei sistemi inerziali quelli cioè dove un osservatore si muove di moto rettilineo con velocità costante);
3. la negazione della absolutezza dello spazio e tempo e la loro dipendenza dai sistemi di riferimento.

La relatività ristretta, in questo modo, si presentò come una estensione a tutti i fenomeni fisici, del principio di relatività galileiana.

Einstein, dopo avere escluso la presenza di un sistema di riferimento fisso affermò che tutti i moti erano relativi e che non esisteva un sistema di riferimento privilegiato. Noi non percepiamo il moto della Terra intorno al Sole né che il sole descrive una traiettoria nella nostra Galassia o che la Via Lattea è attratta dall'enorme ammasso di galassie della Vergine: tutto ciò che sperimentiamo è il moto relativo di rotazione della Terra rispetto alle stelle.

Einstein scriveva che la luce si propagava nel vuoto con velocità costante, negando la possibilità che questa potesse superare il valore di 300.000 chilometri al secondo, limite massimo per tutte le velocità dell'universo.

Ma allora, se la luce viaggiava nel vuoto "sempre" a velocità costante, cosa sarebbe accaduto alle ben note leggi della meccanica classica? Tra le numerose, sorprendenti, conseguenze, Einstein avanzò l'ipotesi rivoluzionaria che lo scorrere del tempo variasse a secondo dello stato di moto (o di

quiete) dell'osservatore, dipendendo dalla velocità con la quale quest'ultimo si muoveva.

La dilatazione del tempo

Cosa intendeva dire Einstein? Il tempo misurato da un orologio in movimento scorre più "lentamente" rispetto al tempo misurato da un orologio fermo, in modo tanto più evidente quanto più velocemente l'orologio si muove. In altre parole, il tempo misurato da una persona che corre "rallenta", quanto più veloce essa corre.

Questo rallentamento dello scorrere del tempo corrisponde a una dilatazione dei tempi, ossia degli intervalli di tempo misurati, per cui due eventi, "contemporanei" per un osservatore in quiete, non lo saranno più per un osservatore che si muova rispetto al primo. Ciò fu dimostrato nel 1971 inviando quattro orologi atomici identici su altrettanti voli di linea che effettuavano due volte il giro del mondo, due volando verso ovest e due verso est. Confrontando il tempo indicato da questi orologi con quello di un orologio sincronizzato sulla Terra, si scoprì che ogni orologio in movimento aveva perduto una frazione di secondo rispetto a quello rimasto a terra in accordo con la teoria di Einstein.

La contrazione dello spazio

Altra conseguenza della teoria della relatività ristretta è che un oggetto che si muove a velocità prossima a quella della luce appare ad un osservatore in quiete, più corto rispetto alla dimensione dell'oggetto medesimo in quiete. Quest'effetto noto come la contrazione delle lunghezze è un effetto che non può essere misurato direttamente, cioè non può essere verificato, a differenza del primo effetto relativistico, la dilatazione del tempo, che può essere quantificato sperimentalmente in vari modi.

Lo spazio-tempo

Inoltre lo spazio e il tempo non devono essere più considerati separatamente ma definiscono un universo spazio-tempo a 4 dimensioni e la geometria necessaria a descrivere quest'universo non è euclidea. La velocità della luce c'è una caratteristica di come lo spazio e il tempo sono legati tra loro.

Nel caso di un'accelerazione è lo spazio-tempo a distorcersi in modo che la velocità della luce resti costante. A velocità basse le equazioni di Einstein sono semplificabili fino ad avere la forma delle equazioni di Newton che vengono tuttora utilizzate nella maggioranza dei problemi di fisica.

Un altro fattore che impedisce ai corpi di superare la barriera della velocità della luce è il fatto che la loro massa aumenta in base all'equazione $E=mc^2$. Alla velocità della luce un corpo diventerebbe infinitamente pesante, rendendo impossibile un'ulteriore accelerazione. Quindi un corpo non potrà mai raggiungere la velocità della luce, i fotoni invece, che costituiscono la luce e sono privi di massa, non risentono di questo effetto. Questa semplice formula comporta enormi sconvolgimenti nelle concezioni della fisica, essa lega in qualche modo il concetto di massa a quello di energia, crolla inoltre uno dei più solidi pilastri della fisica: il principio di conservazione della massa. La massa viene ora considerata come una forma di energia estremamente concentrata.

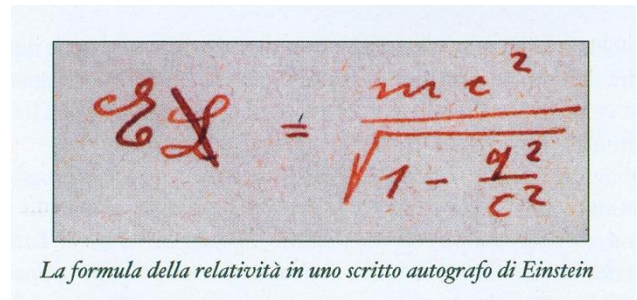
Nel mondo di tutti i giorni vengono applicati i principi della relatività quando utilizziamo un GPS: la localizzazione precisa in latitudine e longitudine deriva dai segnali emessi dai satelliti del Global Positioning System in orbita geostazionaria.

La loro velocità rispetto alla superficie terrestre è elevata, circa 14.000 km all'ora, e a questa velocità, usando le tradizionali formule imparate nelle scuole superiori, cioè senza correzioni relativistiche, il sistema GPS sbaglierebbe di molte centinaia di metri e sarebbe inutile per il posizionamento di oggetti sulla Terra. La ragione è semplice: le velocità in gioco non sono trascurabili rispetto alla velocità della luce.

La relatività generale

Tra il 1912 ed il 1916, Einstein formulò la teoria della relatività generale che, applicando i

principi della relatività ristretta ai sistemi non inerziali, portò al principio di equivalenza tra massa inerziale e massa gravitazionale e all'interpretazione di fenomeni astronomici fino ad allora inspiegabili. Einstein infatti comprese che chi si trova nello stato di caduta libera non sperimenta la gravità: è privo di peso. Ad esempio quando un aereo si impenna verso l'alto i passeggeri restano incollati al loro posto, perché sperimentano un'accelerazione più intensa, ma quando l'aereo punta in picchiata si liberano dall'attrazione gravitazionale. Einstein capì che tale accelerazione era equivalente alla forza di gravità e la gravità deriva dal fatto di trovarsi in un sistema di riferimento soggetto ad una accelerazione. Einstein la definì "l'idea più felice della sua vita". Da qui il principio fondamentale della relatività generale: il principio di equivalenza tra sistemi soggetti alla forza di gravità e quelli accelerati.



Applicando i formalismi introdotti da Riemann e dai matematici italiani Ricci e Levi-Civita, Einstein arrivò a stabilire come la materia dica allo spazio-tempo come curvarsi e nel contempo la curvatura dello spazio-tempo dica alla materia come muoversi. Le distorsioni dello spazio-tempo sono la gravità stessa, Einstein fornì così una descrizione geometrica della gravità. Il modo migliore per visualizzare la relatività consiste nell'immaginare lo spazio-tempo come un foglio di gomma mantenuto teso su un tavolo senza ripiano. I corpi dotati di massa equivalgono a sfere pesanti appoggiate sul foglio che quindi creano un avvallamento nello spazio-tempo circostante. Mettiamo una palla che rappresenta la Terra: formerà una depressione nella superficie.

Se poi lanciamo una palla più piccola a simulare un asteroide questa cadrà nella buca rotolando verso la Terra. Se la pallina si muovesse con velocità sufficiente e l'incavo della Terra fosse abbastanza profondo, il corpo manterrebbe un'orbita circolare.

Si può immaginare l'intero Universo come un gigantesco foglio di gomma: ogni pianeta e stella e galassia crea una depressione che può attrarre i corpi più piccoli che passano. Si spiega così anche l'orbita ellittica di Mercurio che ruota a causa della curvatura dello spazio-tempo intorno al Sole, fenomeno precedentemente inspiegabile. Einstein capì che a causa della curvatura dello spazio-tempo la luce sarebbe stata deviata al passaggio vicino ad un corpo massivo e predisse che la posizione di una stella osservata dietro il Sole sarebbe apparsa leggermente spostata perché nel passare vicino al Sole la sua luce si sarebbe incurvata. La prima evidenza sperimentale fu rilevata da Eddington durante un'eclisse in Africa nel 1919.

È oggi dimostrato che la luce proveniente da galassie molto lontane viene deviata quando passa vicino a una grande ammasso di galassie. Il puntino luminoso della sorgente iniziale appare deformato in un arco, dato che ricorda l'effetto di una lente, questo fenomeno prende il nome di "lente gravitazionale".

La curvatura dello spazio-tempo cambia a seconda della massa dell'oggetto. Se un oggetto è abbastanza massivo (almeno 3 volte la massa del Sole) può collassare fino a un punto dando origine ad un buco nero. I buchi neri sono previsti dalla relatività generale: regioni in cui la curvatura è così forte da intrappolare anche la luce. Nulla che vi si avvicini troppo ne può più fuggire. Sono tuttora aperti i problemi in cui entra in gioco la meccanica quantistica; non è ancora stata osservata la natura granulare della gravità e le teorie quantistiche relativistiche sono in corso di sviluppo.

L'anno dei miracoli

Che Albert Einstein sia l'icona del genio moderno è fuori discussione. Ma non tutti riescono a valutare la portata del suo lavoro, soprattutto se non conoscono l'entità dei risultati che ottenne da giovanissimo, in un solo anno.

È il 1905, quando un ragazzotto di 26 anni che lavora all'Ufficio Brevetti di Berna sottopone ai prestigiosi "*Annalen der Physik*" quattro articoli che rivoluzioneranno per sempre la nostra visione

del mondo. Quattro lavori fuori dal comune, ciascuno dei quali meriterebbe il massimo riconoscimento del premio Nobel. Einstein lo otterrà - nel 1921 - per il primo, pubblicato il 27 marzo. In quel lavoro il giovane fisico di Ulm usa l'ipotesi di Planck sui quanti di luce per risolvere il problema dell'effetto fotoelettrico, ovvero il fenomeno per cui un materiale colpito da radiazione elettromagnetica emette elettroni. È grazie a questo suo lavoro che la comunità scientifica accoglie definitivamente l'idea della natura corpuscolare della luce, spalancando le porte alla nascita della meccanica quantistica.

In luglio la rivista pubblica anche il suo contributo sulla spiegazione del moto browniano, il moto termico disordinato delle molecole presenti in un fluido, venendo a capo di un fenomeno osservato da Robert Brown nel 1827, che aveva tenuto in scacco i fisici per tre quarti di secolo. Ma forse i due colpi più impressionanti sono quelli che Einstein mette a segno sul finire dell'anno. Il 26 settembre gli "*Annalen der Physik*" pubblicano la memoria "*Zur elektrodynamik bewegter körper*", ovvero "*Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento*". È la prima formulazione della teoria speciale della relatività, o relatività ristretta, quella che porterà Einstein all'attenzione dei colleghi e, infine, alla fama. Sarà poi anche il lavoro su cui più si scatenerà la fantasia popolare e sicuramente la teoria che più stimolerà la fantasia dei divulgatori per tutto l'arco del Novecento.

Il 21 novembre, infine, la rivista berlinese pubblica un articolo che, ai giorni nostri, finirà per diventare un soggetto da magliette. Il titolo originale, "*Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?*", significa "*L'inerzia di un corpo dipende dal suo contenuto in energia?*". Arcano, il titolo, ma non c'è nessuno che non ricordi la sua straordinaria conclusione, ovvero l'equazione che sancisce l'equivalenza tra massa ed energia, quell' $E = mc^2$ che spesso si vede nei ritratti del genio tedesco.

A detta di tutti gli storici della fisica tutti questi articoli, compreso l'ultimo, che in fondo è solo una conseguenza della relatività ristretta, avrebbero meritato il Nobel.

Non sapremo mai che cosa ispirò Albert Einstein in quell'anno incredibile, ma certo la sua eredità resta un insuperabile progresso della conoscenza.