

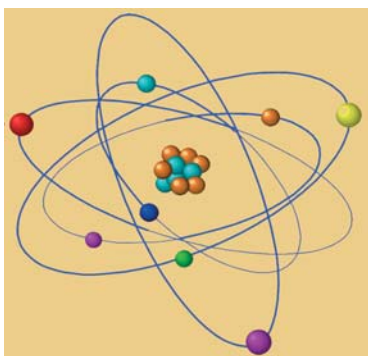
Ci vollero circa 19 secoli all'umanità per uscire dalle primitive teorie di Tolomeo ed aprirsi ai moderni principi della scienza di Copernico e Galileo - Ma tanti dubbi resistono.

In occasione del prossimo Festival della Scienza, in programma a Genova a fine ottobre, facciamo un'eccezione alle nostre "linee guida" (che prevedono articoli contenuti in 5-6 pagine al massimo) e pubblichiamo questo lungo e approfondito contributo, anche se riguarda solo da lontano l'ingegneria

La fisica moderna inizia la sua storia negli ultimi anni del Cinquecento con gli studi, gli esperimenti e l'opera divulgativa di Galileo. Insieme alla creazione delle basi dello studio del moto dei corpi si è affermato il principio di relatività del moto. Questo principio, detto di relatività classica, è il principio di Galileo.

FISICA, UN LUNGO VIAGGIO DA ARISTOTELE AD EINSTEIN

Nei tre secoli successivi la scienza ha avuto finalmente uno sviluppo grandioso scoprendo innumerevoli leggi ritenute, allora, perfette ed immutabili. Ma tra la fine dell'Ottocento



e i primi anni del Novecento, con gli studi di Fitzgerald, Lorentz, Poincaré, Einstein ed altri, apparve evidente che le leggi della fisica classica non sono applicabili ai sistemi che comprendono velocità non trascurabili rispetto alla velocità della luce. E nel 1905 Einstein espone

la teoria speciale della relatività riferita ai sistemi in moto rettilineo uniforme. Successivamente, sempre per merito di Einstein, giunse una ulteriore generalizzazione con la teoria della relatività generale che comprende anche i moti accelerati e la gravitazione.

Prima di affrontare questi temi, però, è necessario considerare, seppur in modo molto sintetico, l'evoluzione storica dei concetti di base della fisica prima di Galileo.

Per Aristotele, molto apprezzato anche nel Medioevo e definito da Dante "maestro di color che sanno", il moto

rettilineo uniforme si otteneva soltanto applicando ad un corpo una forza costante (e noi naturalmente sappiamo che ciò è errato), mentre lo stato di quiete esisteva solo con forze esterne nulle. Quindi, per gli aristotelici, c'era una differenza sostanziale tra stato di quiete e moto rettilineo uniforme. Inoltre il moto era sostanzialmente assoluto. Infatti, si supponeva che la Terra, immobile, fosse proprio il centro dell'universo e tutti i moti dovevano essere riferiti ad essa. Questa descrizione dell'universo è detta geocentrica ed è in accordo con quanto scritto nella Bibbia.

Tolomeo, nel secondo secolo d.C., completò la descrizione del sistema geocentrico, e la sua opera, giunta in Europa attraverso la traduzione araba con il nome di Almagesto, rimase in uso fino a quattro secoli fa.

Dall'epoca di Aristotele, infatti, occorsero circa 19 secoli all'umanità per uscire da questi equivoci, tratti da deduzioni filosofiche, sostenuti dal potere religioso come dogmi e basati solo sull'aspetto apparente

degli eventi.

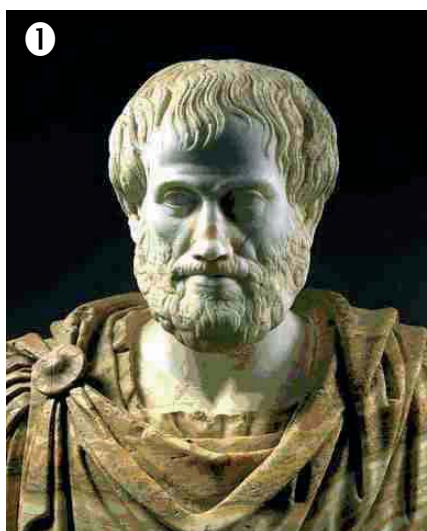
Nel 1530 Copernico scrisse il "Comentariolus", un manoscritto in cui espose brevemente il sistema eliocentrico, con i pianeti, Terra compresa, che ruotano intorno al Sole; che era già stato proposto da alcuni antichi greci: Filolao, Aristarco e altri, caduti poi nel silenzio o messi a tacere forzatamente.

LE SCOPERTE GALILEIANE

La reazione alla sua opera non si fece attendere e, dato che contraddiceva le Sacre Scritture, arrivarono immediatamente i fulmini di Lutero e di Calvino; mentre i cattolici sul momento non lo contrastarono, così Copernico, che era un prete cattolico polacco, poté continuare le ricerche nel suo osservatorio astronomico e nel 1543 accettò di far stampare il libro "De revolutionibus orbium coelestium", in cui sostiene e descrive più ampiamente il sistema eliocentrico.

Nel 1593, finalmente, Galileo espose la legge d'inerzia, che afferma: un corpo si muove con moto rettilineo uniforme quando su di esso non agiscono forze esterne, o quando la somma delle forze è nulla. E non quando su di esso agisce una forza costante, come si riteneva fino a quell'epoca.

Questa, in realtà, è l'espressione molto chiara e concisa formulata da Newton alcuni decenni dopo. Comunque questo fondamentale principio venne scoperto da Galileo.



leo e, anni dopo, fu esposto anche da Cartesio (Descartes). E in seguito da Newton.

Galileo scoprì anche che il moto rettilineo e uniforme di un sistema di oggetti, o di un laboratorio, non influisce sui processi meccanici che avvengono in esso. Ora noi sappiamo che non influisce nemmeno sugli altri processi: chimici, elettromagnetici, ecc. Da ciò risulta che tutti i sistemi di riferimento in stato di quiete o in moto rettilineo uniforme sono equivalenti. Tali sistemi sono detti inerziali o galileiani, appunto in onore del loro scopritore.

IL RAGIONAMENTO RAZIONALE

Oltre a questo, l'opera complessiva di Galileo è importantissima: egli inventò e divulgò il metodo del ragionamento scientifico razionale, portando la scienza ad un approccio completamente nuovo con la natura basato sui risultati degli esperimenti e delle osservazioni, e completato con applicazioni matematiche. Mentre prima la scienza, che era sostanzialmente quella di Aristotele, era impostata su deduzioni filosofiche e attribuiva agli oggetti e alle sostanze strane qualità, comprese quelle nobiliari.

Ad esempio, Copernico, prima dell'intervento di Galileo, scrive che il Sole si trova al centro perché è un signore risplendente; mentre Newton, dopo Galileo, scrive che il Sole si trova al centro perché ha una massa molto maggiore di quella dei pianeti.

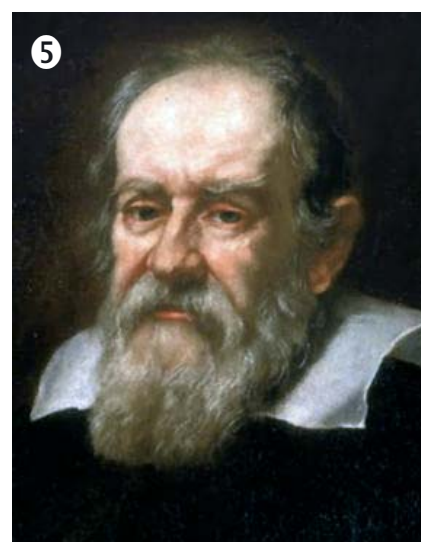
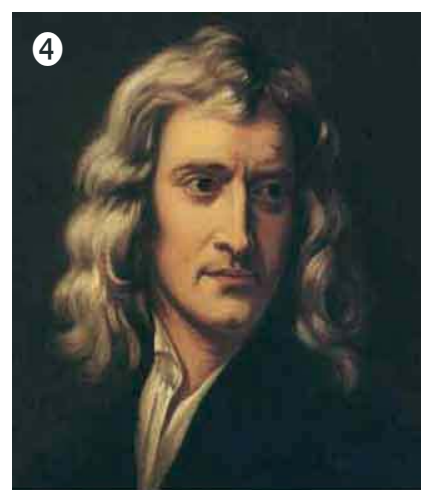
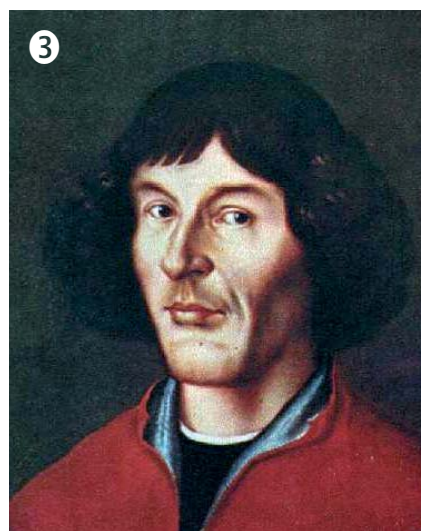
Occorre anche dire che all'epoca di Galileo erano già disponibili strumenti di mi-



sura di lunghezze, di pesi e del tempo abbastanza precisi, che mancavano, specialmente gli orologi, nei secoli precedenti e, ovviamente, all'epoca di Aristotele. Galileo fu anche il primo ad utilizzare il telescopio in astronomia, apportandovi personalmente dei miglioramenti e facendo le prime importanti scoperte che, in queste poche pagine, non possiamo descrivere. Egli fu anche un grande divulgatore, scrisse numerose opere, tra queste uno dei più grandi capolavori scientifici di tutti i tempi, il "Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo", con cui demolì per sempre le teorie di Aristotele e Tolomeo e contribuì all'affermazione del sistema copernicano. E tutti conosciamo le traversie che dovette subire.

Con questo nuovo metodo di studio, e con il principio d'inerzia, nacque la meccanica classica.

La nuova strada aperta da Galileo fu presto percorsa da altri grandi, Newton su tutti. Il nuovo metodo venne esteso anche alle altre scienze e iniziò una serie incessante di scoperte in tutte le discipline scientifiche. Riprendiamo ora il moto dei corpi. Già con la caduta dell'ipotesi dell'immobilità e della centralità della Terra era posto il problema della molteplicità delle velocità e delle traiettorie di uno stesso corpo, relativamente a più riferimenti. Ad esempio il moto della Luna rispetto alla Terra ha una velocità e una traiettoria e, rispetto al Sole, un'altra velocità e un'altra traiettoria,



Galleria di studiosi che, nell'antichità o in secoli più vicini a noi, hanno dato un contributo fondamentale agli studi della fisica: 1) Aristotele; 2) Tolomeo; 3) Nicolò Copernico; 4) Isac Newton; 5) Galileo Galilei.



che sono anch'esse vere. Dall'impossibilità di avere un corpo, un mezzo, o un osservatore assoluto di riferimento, consegue il carattere relativo delle velocità e, direttamente, anche la relatività fisica dell'energia cinetica, dato che essa è funzione del quadrato della velocità secondo la nota formula: $E = 1/2 mv^2$, e dipende quindi dall'osservatore. D'altra parte era già ben chiaro, anche prima di Galileo, che una carrozza in corsa ha una valenza energetica completamente diversa, se l'osservatore è un passeggero che viaggia sopra di essa, o se invece si trova sulla strada. Quindi ogni velocità, traiettoria ed energia cinetica non deve essere intesa in senso assoluto, ma solamente in senso relativo all'osservatore.

Per lo studio del moto di un corpo è necessario conoscere le relazioni spazio temporali tra quel corpo e il corpo di riferimento, o, più genericamente, tra il corpo e l'osservatore, intendendo anche un osservatore astratto, puramente concettuale, non vincolato ad alcun corpo, ma solamente a dei punti nello spazio. A questo scopo si definisce un sistema di coordinate di riferimento solidale con l'osservatore, e la posizione dell'oggetto in moto è definita da tre coordinate spaziali. Poi è necessario possedere un orologio per collegare la variazione di posizione dell'oggetto in moto con il trascorrere del tempo e, a questo punto, il moto è completamente determinato con rigore matematico.

Non avendo più un corpo centrale ritenuto fermo, per definire un sistema di riferimento assoluto rimaneva solo la possibilità di vincolarlo all'etere universale, il mezzo immobile che si riteneva riempisse tutto lo spazio, e che in varie forme è stato accettato dai maggiori fisici, Newton, Maxwell, Lorentz e Michelson compresi.

MA L'ETERE ESISTE DAVVERO?

Tuttavia, malgrado i numerosi tentativi, a tutt'oggi non si è ancora riusciti ad osservare "il moto relativo all'etere" o, semplicemente, relativo allo spazio, per chi crede che lo spazio sia vuoto. Non solo, non si è nemmeno riusciti a esporre un modello di etere accettabile, se non quello proposto da Einstein dopo il 1916. Ma, a quell'epoca, l'etere era già stato abbandonato, soprattutto per una discutibile interpretazione del famoso esperimento di Michelson-Morley e per i precedenti lavori dello stesso Einstein, che poi ebbe il coraggio di contraddire se stesso riproponendo nuovamente l'etere, però senza successo presso la comunità scientifica che presto dimenticò quest'ultima sua idea, come è meglio descritto nella penultima pagina di questo lavoro.

A questo punto, mancando un riferimento assoluto, tutti i sistemi di riferimento in moto rettilineo uniforme sono equivalenti. Ma, ad essere precisi, occorre notare che in tutto il

sistema solare i moti ritenuti rettilinei e uniformi, in realtà, sono solo approssimazioni di traiettorie curve, seppur con raggio grandissimo.

Non è difficile vedere che un sistema di riferimento collegato alla Terra non è inerziale. La Terra infatti si muove relativamente al Sole secondo una curva chiusa, un'ellisse con piccola eccentricità, inoltre è dotata di moto di rotazione attorno ad un proprio asse.

Però, per la maggior parte dei problemi di fisica, un sistema di riferimento del genere può essere considerato inerziale con sufficiente grado di precisione. Infatti la rotazione annuale intorno al Sole avviene su di una curva con raggio medio di circa 150 milioni di chilometri e per intervalli di tempo brevi la traslazione può essere approssimata con dei tratti rettilinei. E la rotazione attorno all'asse polare ha una piccola velocità angolare, un angolo giro nelle 24 ore.

L'effetto della rotazione della Terra attorno al proprio asse è percepibile solamente per alcuni fenomeni: il

pendolo di Foucault, la deviazione delle perturbazioni atmosferiche e delle correnti marine, l'erosione prevalente di una delle due rive dei fiumi che si muovono in direzione Nord-Sud. Mentre la rivoluzione intorno al Sole, evidenzia la non inerzialità del nostro naturale sistema di riferimento quando si deve studiare il moto degli altri pianeti. Per questo scopo il sistema di riferimento Gea non è idoneo: il moto dei pianeti deve essere riferito al sistema di riferimento Sole. In altre parole, è evidente che ha ragione Copernico e che ha torto Tolomeo.

LA FORZA DI GRAVITA'

Sappiamo che i corpi celesti sono legati dalla forza di gravità e la meccanica classica dà per scontata l'ipotesi della istantaneità delle azioni gravitazionali, anche se non è chiaramente espressa o dichiarata.

In effetti, nessuna azione può essere realizzata senza materia, o sostanza di un mezzo, o interazione di particelle; essa deve propagarsi nello spazio e nel tempo, quindi non può essere istantanea.

Per la fisica moderna l'azione tra corpi nel vuoto, gravitazionale, elettromagnetica, ecc, viene schematizzata (ma non spiegata) con un campo vettoriale e si trasmette da punto a punto con velocità finita: la velocità della luce. Il campo dipende dallo stato del mezzo, o dello spazio, e ha praticamente sostituito l'etere per chi sostiene che lo spazio è vuoto (anche se non lo vogliono ammettere).

Per quanto riguarda il tempo, occorre considerare se l'osservatore riceve l'informazione di un determinato evento che avviene ad una certa distanza, istantaneamente, oppure con un certo ritardo dipen-

dente dalla distanza stessa. Vale a dire se si può approssimare la velocità della luce come infinita, oppure no.

Galileo cercò di misurare la velocità della luce, ma non essendo dotato di mezzi adeguati, concluse che la sua velocità o è infinita, o è grandissima, intendendo con questo che è milioni di volte maggiore della velocità dei corpi studiati. Con queste ipotesi, il tempo che impiega l'immagine di un oggetto a raggiungere l'osservatore è assolutamente trascurabile, se la distanza tra oggetto ed osservatore non è grandissima. Ne risulta che due osservatori posti in punti diversi, riceveranno l'immagine dello stesso oggetto, quando esso passa per un determinato punto, nello stesso istante. Quindi, si può pensare ad un tempo assoluto per

Il moto rettilineo, in realtà, nel nostro sistema solare non esiste, perchè tutto orbita intorno al sole - L'importanza del tempo che trascorre tra un evento e la percezione della relativa immagine.

tutti i punti dello spazio in esame e per tutti gli osservatori. Noi sappiamo quant'è il valore di c (indicando con c la velocità della luce), e sappiamo che se stiamo studiando dei moti con velocità non trascurabili rispetto a c , o con distanze molto grandi, allora non possiamo più giovarci del tempo assoluto.

Pensiamo, ad esempio, ad un oggetto che viaggia con velocità uguale ad un decimo di c e ad un osservatore; quando l'oggetto passa per un punto P , che poniamo distante un chilometro dall'osservatore, quest'ultimo non riceve istantaneamente l'informazione che esso si trova in quel punto, ma con un ritardo di $1/300000$ di secondo, durante il quale l'oggetto ha già percorso altri cento metri. Quindi, nell'istante in cui l'osservatore crede che l'oggetto si trovi in P , in realtà si trova già cento metri più avanti.

Se nel sistema è presente un altro osservatore, con distanza diversa dal punto P , egli riceverà l'informazione che



l'oggetto transita per il punto P in un istante diverso dal precedente.

Lo stesso effetto si verifica quando le distanze sono molto grandi. Ad esempio, se osserviamo la stella Sirio, distante circa cinque anni luce dalla Terra, noi siamo portati a pensare che in quel momento si trovi proprio nel punto in cui la vediamo, ma in realtà occupava quella posizione cinque anni fa e ora è un po' scostata. Il discorso vale anche per le altre stelle che sono ancora più distanti. Alcune di queste sono già collassate, però noi continuiamo a vederle come quando erano in vita, e le immagini del loro collasso giungeranno sulla Terra tra molti anni.

RINUNCIARE AL TEMPO ASSOLUTO

Quindi, quando abbiamo un solo osservatore che dal suo punto di vista cerca di esaminare tutto lo spazio che può vedere, se le distanze o le velocità sono molto grandi, allora si deve rinunciare al tempo assoluto.

È poi importante definire cosa avviene nel passaggio da un sistema ad un altro. In termini matematici questo problema viene detto: trasformazione delle coordinate. Si tratta di trovare le equazioni che legano le coordinate di un punto in

due sistemi di coordinate K e K', costituiti da due terne di assi ortogonali, solidali con i due osservatori. Supponiamo inoltre, per maggior chiarezza, di orientare i due assi x e x' lungo la direzione del moto relativo del sistema K' rispetto al sistema K, che avviene con velocità v. Si ha che, uno stesso punto P, nel sistema K' ha le coordinate x', y', z', e nel sistema K ha coordinate x, y, z. Poniamo t = 0 l'istante in cui le due terne coincidono.

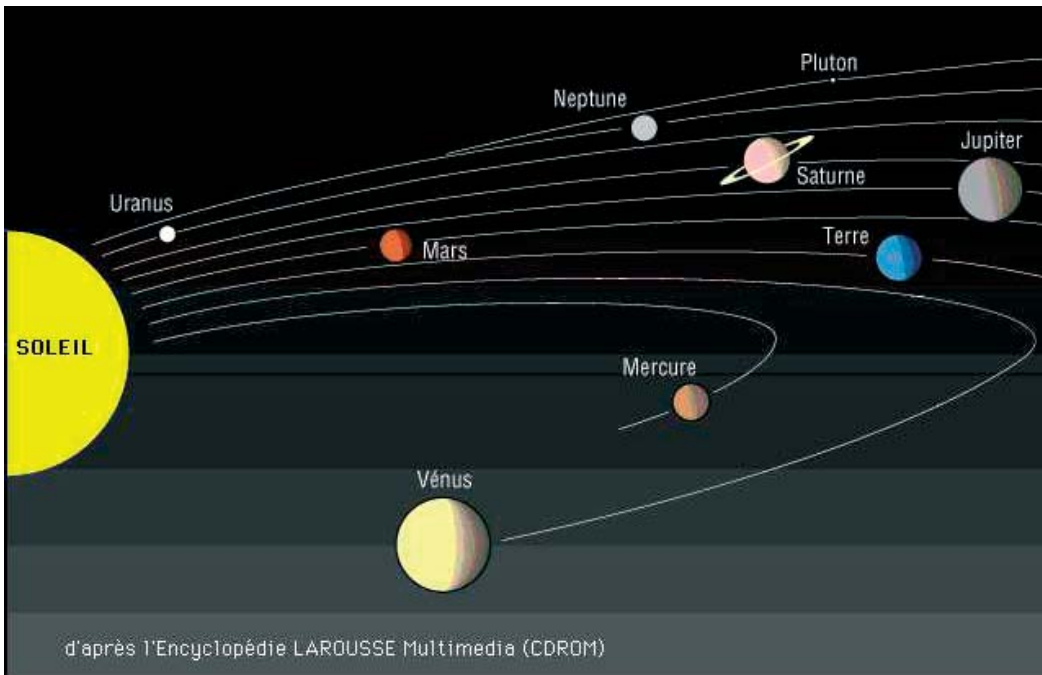
Le equazioni di trasformazione delle coordinate tra i due sistemi sono dette trasformate di Galileo:

$$x' = x - v \cdot t \qquad y' = y \qquad z' = z$$

Per i sistemi galileiani si suppone (si dà per scontato) che il tempo trascorra in modo identico in tutti i sistemi di riferimento, in altre parole il ritmo degli orologi non dipende dalla loro velocità. Inoltre gli avvenimenti vengono percepiti in modo istantaneo in tutti i punti dello spazio, quindi si ammette l'esistenza di un tempo assoluto t = t'. Un'altra ipotesi fondamentale è che la lunghezza dell'unità di misura, del regolo con cui vengono rilevate tutte le lunghezze, non vari con lo stato di moto, cioè: l = l' (vedremo in seguito che queste ultime ipotesi non sono sempre vere, anche se può sembrare poco intuitivo).

Come abbiamo già detto, risulta che le velocità dei corpi, le loro traiettorie e le energie cinetiche sono relative al sistema di riferimento scelto. Tuttavia, nei sistemi galileiani, altre grandezze non cambiano: le masse, le forze, le accelerazioni, l'energia potenziale, sono assolutamente identiche in tutti i sistemi di riferimento inerziali. Esse sono dette invarianti rispetto alla trasformazione di Galileo, e cosa molto importante, anche le leggi della meccanica non dipendono

dalla scelta del sistema di riferimento. Abbiamo appena visto che, quando la velocità degli oggetti è trascurabile rispetto a c, si dà per scontato che la massa, le lunghezze e il ritmo degli orologi non cambino con la velocità. Con ritmo degli orologi, si intende qualunque movimento periodico utilizzabile per misurare il tempo, dal pendolo alle oscillazioni degli atomi. Queste ipotesi erano ritenute evidenti e incrollabili fino alla fine dell'Ottocento, e molte persone sono convinte che lo siano ancora oggi, ma, in realtà, rappresentano solo l'apparenza delle cose.



d'après l'Encyclopédie LAROUSSE Multimedia (CDROM)

Il nostro sistema solare si muove a circa 100 km al secondo rispetto alle "stelle fisse".

un sistema di riferimento alle coordinate dello stesso punto rispetto ad un altro sistema di riferimento. Per oggetti che hanno velocità molto minore della velocità della luce e con distanze non troppo grandi, si usano le trasformazioni di Galileo, e questo è il campo della meccanica classica. Mentre per gli oggetti che hanno velocità non trascurabile rispetto a c si devono usare le trasformazioni di Lorentz; questo invece è il campo della moderna teoria della relatività.

Consideriamo dapprima il primo tipo di moto. Dati due osservatori in moto reciproco costante, definiamo

dalla scelta del sistema di riferimento. Abbiamo appena visto che, quando la velocità degli oggetti è trascurabile rispetto a c, si dà per scontato che la massa, le lunghezze e il ritmo degli orologi non cambino con la velocità. Con ritmo degli orologi, si intende qualunque movimento periodico utilizzabile per misurare il tempo, dal pendolo alle oscillazioni degli atomi. Queste ipotesi erano ritenute evidenti e incrollabili fino alla fine dell'Ottocento, e molte persone sono convinte che lo siano ancora oggi, ma, in realtà, rappresentano solo l'apparenza delle cose.

In seguito all'esperimento di Michelson – Morley si è dedotto, per la prima volta, che le lunghezze non rimangono immutate quando le velocità non sono troppo piccole rispetto a c .

In queste condizioni gli eventi dimostrano quanto segue:

1) l'orologio in moto con velocità v , ha un ritmo più lento dell'orologio in quiete, secondo la formula:

$$\Delta t' = \Delta t / \sqrt{1 - B^2},$$
 indicando con B il rapporto v/c .

Questo fatto è detto dilatazione del tempo, ma, forse, sarebbe più giusto dire: rallentamento del tempo.

2) la lunghezza dell'asse parallelo alla direzione del moto si contrae secondo la formula:

$$l' = l \sqrt{1 - B^2}.$$
 Questo fenomeno è detto: contrazione dei regoli in moto.

3) la massa di un corpo in moto aumenta con la velocità: $m = m_0 / \sqrt{1 - B^2}$ con m_0 massa a riposo o in quiete del corpo.

La carica elettrica invece rimane costante e indipendente da v .

Le formule 1, 2, 3 sono dette di Lorentz, anche se la seconda è di Fitzgerald e venne espressa, per prima, proprio in seguito all'esperimento di Michelson - Morley.

Dalle tre formule, e in modo più evidente dalla n° 3, risulta che gli oggetti non possono raggiungere la velocità della

luce, perché il radicale al denominatore tenderebbe a zero e la massa m all'infinito.

Nei primi anni del Novecento molti fisici rimasero scettici di fronte alle tre formule di Lorentz e, per molto tempo, il mondo della scienza si divise tra chi giudicava questi fatti

La matematica dimostra che gli oggetti non potranno mai raggiungere la velocità della luce - Le tre formule di Lorentz sono state verificate sperimentalmente e sono oggi alla base della tecnica nucleare.

come apparenti o errati, e chi invece credeva in essi. Questo fino alla loro verifica sperimentale.

IL RICONOSCIMENTO DEI FISICI

Le prime conferme sperimentali arrivarono già nel primo decennio del Novecento per la formula 3 e in seguito furono confermate anche le prime due, tanto che da molti anni questi eventi sono riconosciuti come veri e reali da tutti i fisici del mondo, tranne qualcuno che rimane ancora incredulo. Ogni giorno vengono verificati negli acceleratori di particelle e sono anche alla base della tecnica nucleare.

La filosofia e altre scienze umanistiche possono commentare in modo diverso uno stesso enunciato, secondo le differenti correnti di pensiero. La fisica e le altre discipline



scientifiche e tecniche, invece, devono interpretare ogni formula in un unico modo, esattamente per quello che la formula afferma.

Quindi, l'osservatore in moto con velocità v non trascurabile rispetto a c , nei confronti dell'osservatore in quiete, ha



Lo spazio interstellare è vuoto o è "riempito" dall'etere? Per avere risposte ai quesiti della fisica si spera anche negli studi fatti con i satelliti (qui sopra una suggestiva immagine della Terra e della Luna, con lo Stretto di Gibilterra in primo piano).

un orologio con un ritmo più lento, una massa maggiore e un metro che è contratto se è orientato nella direzione del moto, mentre rimane invariato se è disposto perpendicolarmente alla stessa velocità.

È evidente, però, che queste variazioni sono apprezzabili solo per velocità elevatissime, perché la radice quadra contenuta nelle formule diventa significativamente diversa dall'unità solo per valori di v dell'ordine delle centinaia o

migliaia di chilometri al secondo, e non certamente per le velocità che raggiungiamo con i nostri mezzi di trasporto, aerei compresi.

Anche se tutto ciò può sembrare strano, lo è soltanto dal punto di vista dei pregiudizi ormai radicatisi nel ritenere

come verità assolute le rappresentazioni della fisica classica, derivanti dalla nostra esperienza umana limitata a velocità molto piccole. E abbiamo già visto che non dobbiamo fidarci delle apparenze. Ad esempio, la Terra può sembrare ferma, ed è stata ritenuta tale fino all'epoca di Copernico e Galileo, mentre in realtà viaggia, con tutti noi sopra, a 30 Km al secondo intorno al Sole, e a circa 100 Km al secondo rispetto alle "stelle fisse" insieme a tutto il sistema solare che, inoltre, segue la rotazione della Via Lattea con una velocità tangenziale vicina ai 200 Km/s.

Abbiamo detto che per prima venne proposta la formula n° 2 relativa alla contrazione delle lunghezze con la velocità. Fu esposta dall'Irlandese Fitzgerald e subito dopo, per via indipendente dall'olandese Lorentz, per spiegare l'insuccesso dell'esperimento di Michelson-Morley. Allora, ultimi anni dell'Ottocento, venne considerata un'ipotesi di comodo, poco credibile, se non addirittura falsa. E le congetture sull'esito negativo dell'esperimento continuarono senza tenerne conto.

Nei decenni successivi, quando risultò che invece è assolutamente vera e reale, sarebbe stato necessario riconsiderare completamente le conclusioni che seguirono l'esperimento. Ma ciò non è stato fatto, se non in modo marginale.

Le tre formule di Lorentz esprimono la grande differenza che c'è tra i sistemi galileiani, con velocità che rientrano nella percezione umana,

e i sistemi con velocità non trascurabili rispetto a c .

Insieme all'ipotesi quantistica di Planck, hanno determinato una vera rivoluzione nelle basi della scienza, avvenuta nei primi anni del Novecento. Tanto che la scienza si trovò di fronte ad un vero e proprio trapasso, dalla fisica classica, alla fisica moderna.

Negli anni successivi è stato accertato che ogni particella presenta contemporaneamente proprietà ondulatorie e

proprietà corpuscolari, mentre prima era ritenuta un semplice corpuscolo.

A questo punto, se consideriamo anche la legge di connessione reciproca tra l'energia e la massa della particella, espressa dalla famosa formula $E = m \cdot c^2$, e il legame tra la particella e il campo che la circonda, allora si deve concludere che la natura stessa delle particelle, del campo, della materia e dell'energia nel suo insieme, in realtà appartengono ad un quadro immensamente più grande della rappresentazione riduttiva e semplicistica legata alle nostre attuali conoscenze.

E che anche le più piccole particelle: elettroni, quark, neutrini, ecc, con tutte le loro differenti proprietà fisiche, dimostrano di essere oggetti complessi e inesauribili.

Quindi abbiamo ben poche ragioni per rimanere increduli di fronte alle tre formule di Lorentz.

D'altra parte, abbiamo già assistito alla rivoluzione copernicana e alla rivoluzione di Galileo che provocò l'abbandono definitivo delle teorie fisiche di Aristotele e aprì la strada a Newton e agli altri grandi.

Rimane chiaro che, a differenza dei sistemi di Tolomeo e di Aristotele, la fisica classica non è tramontata.

Essa rimane valida per i sistemi in cui la velocità degli oggetti è molto minore di c ; infatti, in queste condizioni nelle formule di Lorentz il termine B tende a zero, la radice quadrata tende a uno, e ritorniamo alle trasformazioni di Galileo:

$$t' = t; \quad l' = l; \quad m = m_0.$$

E, finalmente, arriviamo all'intervento di Einstein.

Nel 1905 Einstein espose la teoria della relatività ristretta, valida solo per i sistemi in moto rettilineo uniforme.

Un contributo fondamentale per questo lavoro, anche se non ufficialmente riconosciuto, venne dalla sua prima moglie, Mileva Maric, bravissima matematica, che in compenso veniva maltrattata ed emarginata dal marito.

Alle basi della teoria ci sono due principi:

a) tutte le leggi della fisica (e non soltanto le leggi della meccanica) sono identiche in tutti sistemi di riferimento inerziali.

b) la velocità della luce è indipendente dal moto della sorgente e dal moto dell'osservatore.

Il primo principio è un'estensione di quanto già detto da Galileo nel Seicento.

Il secondo deriva direttamente dalla dilatazione del tempo e dalla contrazione dei regoli in moto, espressi dalle formule 1) e 2) di Lorentz, ed era già stato proposto da Poincaré. Einstein ricavò dalla legge di Lorentz n° 3 la celebre formula: $E = m \cdot c^2$, la quale afferma che a energia corrisponde massa e, reciprocamente, a massa corrisponde energia; che è fondamentale per le reazioni nucleari.

Per questi sistemi, con v non trascurabile rispetto a c , si deve necessariamente rinunciare alle trasformazioni di Galileo. Per essi valgono le trasformazioni di Lorentz:

$$\begin{aligned} x' &= (x - v \cdot t) / \sqrt{1 - B^2} & y' &= y \\ z' &= z & t' &= (t - v \cdot x / c^2) / \sqrt{1 - B^2} \end{aligned}$$

Dato che, come si vede dall'ultima formula e come abbiamo già detto prima, il tempo dipende dalle coordinate spaziali, venne introdotto il termine "spazio-tempo" o "continuo spazio-temporale".

Su alcuni trattati, e in alcune trasmissioni televisive, la teoria della relatività viene spesso presentata senza fare cenno alle formule di Lorentz. Qui si ritiene invece che esse siano

A differenza delle concezioni di Aristotele e Tolomeo la fisica classica non è tramontata e resta valida per sistemi in cui la velocità degli oggetti è lontana da quella della luce - Le novità di Einstein (o di chi per lui).

indispensabili per una valida comprensione, come le sette note per lo studio della musica.

Infatti è evidente che esse sono proprio alla base di questa teoria, sia dal punto di vista fisico, che da quello matematico. D'altro lato, la teoria stessa, nella sua completezza, è un'ulteriore conferma della validità delle tre formule, che si aggiunge alle verifiche sperimentali già dette.

Deve essere altrettanto chiaro, però, che anche le rappresentazioni della teoria della relatività non sono una verità assoluta. Esse, come la meccanica classica, esprimono una verità approssimata, ma con un grado di approssimazione migliore di quello espresso dalla meccanica classica.

L'OROLOGIO CHE RALLENTA

Ad esempio, abbiamo visto che la massa, la lunghezza e il ritmo degli orologi dipendono dalla velocità relativa tra oggetto e osservatore, senza la possibilità di poter disporre di un riferimento assoluto. Quindi, quando si incontrano due osservatori A e B, succede che l'osservatore A giudica se stesso fermo e B in moto, e l'osservatore B fa altrettanto nei confronti di A. E questo porta al famoso paradosso dei gemelli, che viene risolto dalla teoria della relatività generale con spiegazioni che, però, non sono accettate da tutti.

Lorentz, ad esempio, continuò a credere nell'esistenza dell'etere e in un riferimento spaziale assoluto solidale con esso, e nel tempo assoluto indipendente dall'osservatore, anche se impossibili da trovare con i mezzi attuali.

I due principi a e b possono essere rilette come segue: tutte le leggi della fisica, compresa la costanza della velocità della luce, sono valide e invarianti per tutti i laboratori in moto rettilineo e uniforme con qualunque valore di velocità (minore di c).

E questo discende dall'impossibilità sperimentale di definire la velocità assoluta del laboratorio e, più precisamente, dall'insuccesso dell'esperimento di Michelson-Morley e dei numerosi altri che seguirono. Altrimenti, se mediante un esperimento si potesse rilevare un cambiamento di una grandezza o di una legge fisica per effetto del moto ret-



tilineo e uniforme del laboratorio, allora non sarebbe più valido questo principio. Alcuni, invece, sostengono il contrario, e cioè che il fallimento di questi esperimenti derivi dal primo principio di relatività. Ma la verità è che è stato il risultato negativo di tutti gli esperimenti finalizzati a trovare la velocità assoluta che ha determinato il primo principio, e non l'opposto.

Occorre anche aggiungere, come precisa bene Feynman, ad esempio in "Sei pezzi meno facili", che l'osservatore non deve guardare fuori del laboratorio. Altrimenti ci sono alcuni fenomeni che possono dare delle indicazioni sul moto del laboratorio, come l'aberrazione della luce delle stelle e l'effetto Doppler.

Per quest'ultimo fenomeno fisico si ha che la luce della stella verso la quale l'osservatore si muove viene ricevuta con una frequenza più alta, e la luce della stella dalla quale l'osservatore si allontana, con una frequenza più bassa. Mentre l'aberrazione della luce influisce



Un osservatorio astronomico: ancora oggi lo studio delle stelle ci può rivelare molte cose utili.

punto dello spazio).

Einstein, allora, considerando che l'attribuzione di proprietà fisiche al nulla dello spazio vuoto è una evidente forzatura, propose di ritornare all'etere, da lui abbandonato, ma non rifiutato completamente, nel 1905. E dopo il 1916 presentò almeno tre nuovi modelli di etere, come è ben documentato, con gli atti dello stesso Einstein, nel libro "Einstein e l'etere" ed. Dedalo, autore L. Kostro. Per cui venne accusato da alcuni colleghi di contraddirsi continuamente.

Ma il fatto di mettere in discussione le proprie opinioni di anni precedenti può essere inteso, invece, come un atto di onestà e di coerenza con la ricerca della verità.

Occorre notare che, anche prima del 1905, era sufficiente considerare le equazioni di Maxwell dei campi elettromagnetici, per vedere subito che anch'esse attribuiscono allo spazio "vuoto" delle proprietà fisiche, come gli stessi campi H ed E , la corrente di spostamento e le costanti μ e ϵ .

E anche la velocità della luce è, a tutti gli effetti, una proprietà fisica dello spazio. Maxwell, infatti, era un convintissimo sostenitore dell'etere e non ha mai avuto nessun dubbio sulla sua esistenza, pur vivendo in un'epoca in cui i sostenitori del vuoto erano già numerosi.

tori del vuoto erano già numerosi.

Einstein naturalmente conosceva le equazioni di Maxwell, ma forse non riteneva sufficientemente convincenti le proprietà del campo elettromagnetico e cambiò idea solamente quando introdusse la curvatura dello spazio.

La forza di gravità, nella nuova teoria di Einstein, non agisce istantaneamente tra corpo e corpo, ma con la velocità della luce, e anche questo rappresenta un passo in avanti rispetto alla meccanica classica.

IL PRINCIPIO DI EQUIVALENZA

Riguardo ai moti accelerati, Einstein postulò il seguente principio di equivalenza: In un laboratorio chiuso è impossibile distinguere gli effetti di un campo gravitazionale dagli effetti dovuti a un'accelerazione impressa al proprio laboratorio rispetto alle "stelle fisse".

Per spiegare questo principio pensiamo al nostro laboratorio nello spazio, lontano dall'influenza gravitazionale di qualsiasi corpo esterno; ora lo sottoponiamo alla forza di un razzo che gli imprime un'accelerazione.

Questa accelerazione farà sorgere delle forze tra il pavimento del laboratorio e i corpi interni, proprio come succede quando abbiamo il laboratorio sottoposto a un campo gravitazionale generato da un corpo esterno molto grande, con il laboratorio fermo rispetto ad esso.

Nell'osservazione delle stelle si deve valutare anche l'effetto Doppler, derivante dal movimento relativo tra corpo celeste e osservatore - Lo spazio interagisce con la materia: allora non è vuoto. O no?

sull'angolo di orientamento del telescopio per osservare una stella lontana, appunto in funzione della velocità dell'osservatore.

Confrontando questi dati con quelli raccolti da altri osservatori in moto e valutando anche le velocità relative, si potrebbe stabilire la velocità assoluta. Ma questi sono solo esperimenti concettuali abbastanza difficili da realizzare. Mentre se l'osservatore guarda esclusivamente all'interno del proprio laboratorio, allora non nota nessun evento che possa fornire un'indicazione sulla sua velocità (costante), e rimane valido il primo principio di relatività.

La teoria della relatività generale tratta del moto accelerato e della gravitazione, e venne pubblicata da Einstein nel 1915.

La gravitazione è proposta come una proprietà dello spazio: per effetto della presenza delle masse lo spazio si incurva, e i corpi, con la loro massa, risentono di questa curvatura. Il risultato è la nota forza attrattiva tra i corpi.

L'aspetto più importante di questa teoria è che lo spazio dimostra di possedere proprietà fisiche che lo rendono capace di interagire con la materia, e che non possono appartenere al vuoto, inteso come spazio con nulla dentro, dato che il "nulla" non si può incurvare o, più genericamente, non può cambiare stato (non possiamo aver un nulla diverso da com'era prima, o da un altro nulla in un altro

IL LUNGO VIAGGIO DELLA FISICA

Ma questo, a dire il vero, è già contenuto nella fisica classica. Perciò la parte innovativa della relatività generale rimane la parte gravitazionale, con la curvatura dello spazio.

Le principali conferme della relatività generale si ebbero dallo studio dell'avanzamento del perielio di Mercurio e dalla curvatura dei raggi luminosi provenienti dalle stelle per effetto della gravità del Sole. Comunque, dopo più di un secolo, alcune parti della teoria della relatività sono ancora discusse ai nostri giorni.

IL MERITO DI EINSTEIN

Molte persone sono sorprese dal fatto che Einstein non abbia ricevuto il premio Nobel per la teoria della relatività, bensì, solo in seguito, per aver dimostrato l'esistenza dei "quanti di luce", successivamente chiamati fotoni. Anche se è noto che già Newton sostenne l'aspetto corpuscolare della luce, ma con i mezzi della sua epoca non riuscì a provarne l'esistenza.

Noi, però, sappiamo che i contributi primari, originali, della teoria della relatività sono di Galileo per quanto riguarda la relatività classica, e per la parte moderna, di Fitzgerald, Lorentz, Poincaré e Mileva Maric.

Ad Einstein va il merito di aver completato questa teoria,

di averla integrata con la relatività generale e di aver proposto la più fantastica e più famosa formula della storia della Scienza: $E = mc^2$, che ha aperto nuovi scenari ed è ancora in gran parte da approfondire, perché indica chiaramente che nella fisica moderna manca il tramite, o il mezzo, in cui energia e massa si corrispondono e in cui si possono trasformare l'una nell'altra (e che non è certo il nulla del vuoto).

Almeno ad Einstein è da attribuire il merito di averla dimostrata e divulgata nel 1905, perché, anche in questo caso, sembra che la paternità non sia proprio sua, ma di altri, e principalmente dell'italiano Olindo De Pretto che presentò un articolo contenente la formula al Reale Istituto Veneto di Scienze, Lettere e Arti di Schio nel novembre del 1903, e che venne pubblicato il 2 febbraio 1904.

Si deve aggiungere, purtroppo, che la formula indicò anche la strada per la costruzione delle terrificanti bombe atomiche lanciate sulle città di Hiroshima e Nagasaki, dagli Americani.

E a consigliare la costruzione di queste bombe, con una famosa lettera, fu anche lo stesso Einstein.

Giovanni Ruffino