

L'aspetto convenzionale dei fondamenti della Meccanica Classica^(*)

La Meccanica Classica fu ritenuta per lungo tempo – almeno fino all'avvento della Relatività e della Meccanica Quantistica - la scienza fisica più attinente alla realtà. I maggiori scienziati erano convinti che riproducesse in modo affidabile i fenomeni fisici; pensavano che fosse la scienza maggiormente legata all'esperienza per via del continuo controllo sperimentale che si compiva. Tutti i concetti della Meccanica nascevano, venivano dedotti, in un certo senso resi astratti, da essa ma allo stesso tempo dovevano essere continuamente controllati; vi era dunque un circolo virtuoso che partiva e ritornava continuamente all'esperienza.

Le idee fondamentali della Meccanica, quali l'accelerazione di un corpo, la sua massa o ad esempio la forza esercitata su di esso, erano addirittura pensate come una facile astrazione dai dati sensibili e furono considerati come non problematici fino alla seconda metà dell'ottocento. In quel periodo alcuni scienziati e filosofi si resero conto di una serie di assunzioni inconsapevoli nelle definizioni fondamentali e cercarono di chiarirne il significato e l'origine.

Un esempio semplice che può essere portato al riguardo è la nascita delle geometrie non euclidee e il seguente dibattito che ne derivò. Fino a metà ottocento ogni concetto della fisica assumeva come vera l'unica geometria conosciuta, quella di Euclide oramai da alcuni millenni, ma i lavori di Lobacewskij e Riemann aprirono un dibattito sulla correttezza di quella scelta; per quale motivo infatti si sceglieva la geometria di Euclide per descrivere il mondo e non quelle iperboliche o ellittiche? In fondo esse presentavano la medesima correttezza formale e riuscivano – forse in modo più complicato – a descrivere i dati geometrici della nostra realtà. La scelta della geometria - che fino ad allora era rimasta quasi una scelta inconsapevole - diveniva ora problematica e rappresentava quindi una valutazione da compiere prima di cimentarsi nella costruzione di una teoria fisica. Con le parole di Poincaré la geometria (ed in uguale modo i concetti di spazio e tempo assoluti) non è una condizione che si impone alla meccanica. Queste cose non preesistono alla meccanica più di quanto una lingua non preesista logicamente alle verità che vengono espresse in quella lingua.

Una volta messo in risalto brevemente che nella definizione dei fondamenti di una teoria vi sono delle assunzioni – fra l'altro teoriche – che devono essere compiute in modo consapevole o inconsapevole, rimane da risolvere il problema se i concetti che si formulano possano essere verificati dall'esperienza, cioè se si possa in qualche modo escogitare esperimenti che li contraddicano. La risposta forse più originale al riguardo ci è fornita da Poincaré nell'analisi dei concetti fondamentali della meccanica. Egli mostra che i fondamenti della scienza presa a modello sono convenzionali in quanto non è possibile proporre un'esperienza che possa contraddirli; è sempre possibile infatti aggiungere ipotesi o considerazioni a partire da una struttura teorica esistente in modo da spiegare il fenomeno controverso o l'esperimento cruciale - proprio come la teoria tolemaica era in grado di descrivere il moto apparente dei pianeti con le sfere

(*) *La Scienza e l'ipotesi*. H. Poincaré

di vetro di Tolomeo. Se i fondamenti di una teoria sono convenzionali, come ci suggerisce Poincaré, perché abbandonare una teoria e costruirne una alternativa? Per quale motivo gli scienziati abbandonarono l'opera millenaria di Tolomeo e scelsero le nuove idee di Copernico? Non si può dare certo una risposta semplice a queste domande, ma seguiamo il filo che ci ha indicato lo scienziato francese e forse troveremo un qualche chiarimento. Fra due teorie in competizione non possiamo certo favorirne una adducendo come criterio la sua maggiore adeguatezza empirica; tutti i fenomeni osservati possono infatti essere descritti in entrambi i casi. Supponiamo ad esempio che una delle due teorie predica un nuovo fenomeno che sia testato sperimentalmente e che il risultato di questo controllo sia positivo: la teoria utilizzata sarà sicuramente più attinente all'esperienza di quella scartata, almeno al momento attuale, e la scelta fra le due sembra cosa fatta. Ma come ci comporteremo nel momento in cui i sostenitori della teoria abbandonata riuscissero a descrivere il fenomeno predetto da quella vincente grazie all'introduzione di ipotesi aggiuntive? Ora le due teorie sarebbe di nuovo equivalenti da un punto di vista di previsioni e ci ritroveremmo dunque al punto di partenza.

Mentre l'adeguatezza empirica non è un elemento fondamentale nel confronto fra teorie in competizione abbiamo rilevato una certa importanza nella capacità previsionale di una struttura teorica. È forse l'unico aspetto determinante? Dalla breve discussione che abbiamo portato avanti la risposta non può che essere negativa. Affianchiamo dunque a questa caratteristica anche altri aspetti che si allontanano dal rapporto teoria-esperienza e che riguardano piuttosto la valutazione della struttura teorica nel suo insieme.

Riprendiamo in considerazione due teorie in competizione e ammettiamo che una abbia una maggiore capacità previsionale. Sappiamo già quale sarà il comportamento degli scienziati sostenitori della teoria 'perdente': essi svilupperanno ipotesi aggiuntive per rendere conto dei nuovi fatti sperimentali; a questo punto la capacità previsionale di una teoria diviene inefficiente nella scelta. Come ci possiamo comportare? Se valutiamo le teorie da un punto di vista strutturale dovremmo concludere che quella considerata come vincente presenta una maggiore semplicità sia strutturale (da un punto di vista logico) che di utilizzo. Sarà dunque più comodo usufruire di una teoria più facilmente abbordabile che avere a disposizione una teoria complicata formata da numerosi casi particolari da tenere a mente. In conclusione la scelta di una teoria si allontana sempre più dalla sua corrispondenza con l'esperienza e si basa piuttosto sulla capacità previsionale e sulla semplicità della struttura dei suoi principi fondanti.

Prendiamo ora in considerazione alcuni esempi che ci ha fornito lo stesso Poincaré per chiarire l'aspetto convenzionale dei fondamenti della meccanica.

Il Principio di Inerzia asserisce che un corpo non soggetto ad alcuna forza esterna mantiene il suo stato di moto rettilineo uniforme. Questo Principio presenta alcune difficoltà logiche legate alla scelta del sistema di riferimento che non prenderemo in considerazione – si noti ad esempio che un sistema inerziale è legato alla stessa definizione del Principio e, non avendolo ancora definito, stabilire che cosa sia un sistema inerziale risulta una palese contraddizione. Di solito si ritiene che il Principio sia verificato nell'esperienza e si porta ad esempio l'esperimento della rotaia ad aria compressa, dove un carrello, una volta spinto, mantiene la velocità fino al termine della corsa. Ma forse in questa esperienza il carrello è soggetto ad alcuna forza come richiede il Principio oppure è soggetto ad una risultante nulla? È forse possibile escogitare un esperimento in cui un sistema sia completamente isolato dal resto del mondo in modo tale che non subisca alcuna interazione? O forse questo sistema può essere pensato solo come l'intero universo e immaginare il suo moto in riferimento a qualcosa d'altro è un ragionamento assurdo? Queste semplici domande dovrebbero mostrare che il Principio di Inerzia, almeno come lo abbiamo formulato, è una astrazione che in alcun modo può essere verificato sperimentalmente; certo si possono controllare le sue conseguenze come dimostra l'esperienza del carrello, ma non

si può compiere un esperimento in cui si isoli un sistema fisico dal resto dell'universo. Che sia una astrazione ci deriva anche dall'osservazione di come Galileo vi giunse: egli considera un corpo in caduta lungo un piano inclinato che raggiunge una certa velocità al termine della discesa. Se il corpo prosegue la sua corsa lungo un piano dove non vi sia attrito e non vi siano forze agenti su di esso, esso manterrà la sua velocità in modo indefinito.

È necessario dunque fornire una nuova definizione di Principio di Inerzia e conviene spostarsi dal terreno dell'esperienza al campo della matematica per darne una formulazione più generale. Asserire che un corpo non soggetto a forze si muove di moto rettilineo uniforme è un caso particolare dell'assunto più generale che l'accelerazione di un corpo dipende dalla posizione e dalla velocità sua e dei corpi vicini (*Principio di Inerzia generale*): in termini matematici si afferma che le equazioni che descrivono lo stato di moto del corpo sono di secondo grado nel tempo. Avremmo potuto fare altre assunzioni.

1. le equazioni che descrivono lo stato di moto di un sistema sono di primo grado nel tempo e nelle posizioni. Lo stato di moto dipende solamente dalle posizioni dei corpi vicini e dalla propria. Il principio di inerzia che se ne deduce equivale ad affermare che un corpo non soggetto a forze esterne mantiene costante la sua posizione.
2. Le equazioni che descrivono lo stato di moto del sistema sono di terzo grado; esso dunque dipende non solo dalle posizioni, dalle velocità ma anche dalle accelerazioni dei corpi. Il principio di Inerzia richiede in questo caso la costanza dell'accelerazione in assenza di forze esterne.

Ora bisogna chiedersi quale di questi tre principi sia quello corretto. Indubbiamente il principio generale formulato da Poincaré confermato dai dati astronomici, come ci dimostra ad esempio il moto dei pianeti intorno al sole che è retto da equazioni di secondo grado (teoria della gravitazione universale di Newton). Potremmo però sbagliarci e considerare un caso particolare che un evento futuro potrebbe contraddire. Al riguardo lo scienziato francese propone un utile esempio che chiarisce la situazione. Consideriamo un sistema solare come il nostro dove i pianeti, di massa trascurabile, si muovono su orbite circolari complanari. In un tale sistema solare ci troveremmo nel caso (1) dove il moto dei pianeti è retto da equazioni di primo grado. Gli scienziati di quel mondo enuncerebbero un Principio di Inerzia che asserirebbe la costanza della posizione in assenza di forze esterne. Ma sarebbero nel giusto? Evidentemente no, basterebbe infatti il verificarsi di un evento eccezionale come l'avvicinarsi di un corpo di grande massa per mettere in difficoltà l'intera teoria: per esempio si creerebbero al suo passaggio perturbazioni quali la deformazione non circolare delle orbite planetarie. Gli scienziati di fronte a questi fatti nuovi penserebbero giustamente che la nuova inclinazione delle orbite e la loro eccentricità sia causata dal passaggio del corpo intergalattico e rimarrebbero fiduciosi nel sostenere che tutte le orbite ritornerebbero alla loro configurazione originale una volta che il corpo si sia allontanato. Quando questo non si verificherà gli scienziati si troverebbero in difficoltà e sarebbero costretti o ad abbandonare la legge (1) oppure a formulare nuove 'ipotesi ad hoc' che rendano conto dei fatti osservati.

Questo esempio ci induce a pensare che l'ipotesi del Principio generale di Poincaré sia corretta ma anche che una sua eventuale incongruità con l'esperienza ci porterebbe a comportarci come gli scienziati della finzione descritta. Ci troviamo dunque nella condizione che l'esperienza non può contraddire i Principi che abbiamo formulato, ma al contrario può solo portare prove a favore, o in altri termini, l'esperienza è da spunto, da guida, per l'attività teorica ma non può contraddirla. Che cosa possiamo ora dire sulla seconda legge della dinamica? È anche essa una legge sperimentale oppure ha un'altra valenza? La legge lega tre grandezze quali l'accelerazione, la massa e la forza. Per essere una legge sperimentale

dovremmo essere in grado di misurare le tre grandezze che compaiono nella formula, ma al momento non le abbiamo neppure definite. Se consideriamo ad esempio la massa, notiamo che data dal prodotto del volume per la densità, ma che cosa è la densità? Essa è legata alla stessa massa e al volume. Ci troviamo di fronte ad un circolo vizioso e dobbiamo dunque seguire una via alternativa. Ancora più oscura è la definizione di forza: essa è mutuata dall'idea di sforzo – ad esempio quando spostiamo un oggetto – ma è chiaro che una tale considerazione rimane del tutto insoddisfacente da un punto di vista del rigore matematico. La definizione di una grandezza fisica è corretta solo quando fornisce una modalità di misurazione. Proviamo allora a fornire un metodo per confrontare due forze: generalmente si dice che due forze sono uguali se, applicate alla medesima massa, causano il medesimo effetto. Questa è una definizione imprecisa perché sperimentalmente nessuno ci garantisce che nello spostare una forza da un punto ad un altro essa mantenga le sue caratteristiche (vedremo al riguardo un semplice esempio). Consideriamo allora due forze che per comodità riteniamo dirette verso l'alto; prendiamo poi un peso P e lo applichiamo alla prima in modo tale che si raggiunga l'equilibrio. In seguito stacciamo il corpo dalla prima forza e lo posizioniamo sulla seconda e osserviamo se l'equilibrio è raggiunto anche in questo caso; se ciò accade si dice che le due forze sono uguali. Abbiamo descritto brevemente la classica esperienza del dinamometro. Ma una tale misurazione risulta effettivamente corretta e sufficientemente chiara come si addice ad una grandezza fisica? Evidentemente no, in quanto intervengono alcune assunzioni che devono essere messe in evidenza. In primo luogo si noti che non è assicurato che lo spostamento conservi le proprietà di un corpo, infatti il peso – proprietà fondamentale di P – non viene mantenuto nel passaggio da una forza all'altra. Inoltre abbiamo assunto in modo implicito la validità del principio di azione e reazione (terza legge della dinamica), in quanto l'equilibrio raggiunto dalle due forze rappresenta una reazione all'azione del peso P . Si è raggiunta dunque la definizione di forza fornendo una metodologia per misurarla e assumendo in modo esplicito che valga la *terza legge della dinamica* (ora non più una legge sperimentale ma una semplice definizione) e che il peso per piccoli spostamenti si conservi.

Le difficoltà nel definire il concetto di forza permangono e rimaniamo per ora con una legge (la seconda della dinamica) che presenta più l'aspetto di una definizione che di altro. Ma non è tutto, infatti ora sappiamo cosa sia una forza ma ci rimane oscuro il concetto di massa. Potremmo allora utilizzare questa legge per costruirne una definizione appropriata: guardiamo come operare.

La seconda legge di Newton ci consente di confrontare più forze che operano sulla stessa massa – infatti il termine massivo, essendo sempre il medesimo, scompare durante i calcoli – ma possiamo ora utilizzare le forze per determinare il rapporto di due masse in interazione. Consideriamo dunque due corpi A e B in interazione; il corpo A esercita un'azione sul corpo B ma allo stesso tempo per la terza legge della dinamica si ha che l'azione di B su A eguaglia quella di A su B . In termini matematici si dice che il prodotto della massa per l'accelerazione del primo corpo è uguale alla massa per l'accelerazione del secondo. In questo modo misurando le accelerazioni reciproche si riesce a determinare il rapporto fra le masse dei corpi A e B . Questa definizione utilizza sia il secondo che il terzo principio della dinamica e raffronta semplicemente due masse. Ma ancora una volta ci troviamo in una semplificazione di quanto accade nell'esperienza in quanto i due corpi A e B non sono isolati dal resto dell'universo; così l'accelerazione che subisce A non solo dovuta a B ma anche al corpo C , a quello D e così via. Individuare ora quale sia il contributo dei vari termini all'accelerazione di A diviene complesso; la situazione si semplifica se ammettiamo che le varie azioni su A si sommano per dare l'accelerazione del corpo, ma questo non è detto che si verifichi sempre, anche se la natura sembra comportarsi in questa maniera.

Ci troviamo dunque ancora in una situazione di difficoltà: le leggi della dinamica che rite-

nevamo direttamente collegate all'esperienza assomigliano piuttosto a delle definizioni anche se esse sembrano in buona approssimazione confermate dagli esperimenti; questo non toglie che un eventuale nuovo fenomeno le possa contraddire, ma se ciò accadesse l'unica cosa che ci insegnerebbe é che esse sono vere per la maggior parte dei casi e non per tutti, ma questo lo sapevamo già.

Per concludere infine la discussione sull'aspetto convenzionale dei principi e sull'importanza della semplicità nella descrizione fisica, consideriamo la classica discussione sulla rotazione terrestre riprendendo una finzione di Poincaré. Immaginiamo dunque un sistema solare e una terra perfettamente identici al nostro mondo con l'unica differenza che il cielo sia perennemente coperto di nubi. Gli scienziati di quel pianeta non avranno dunque la possibilità di osservare il moto degli astri, anzi non ne conosceranno neppure l'esistenza e per essi, almeno inizialmente, la terra sarà completamente immobile. Supponiamo inoltre che la fisica da loro sviluppata sia fondata sui due principi che abbiamo affrontato (il principio generale di inerzia e quello dell'accelerazione – la seconda legge di Newton). Le forze fondamentali della loro struttura teorica, quelle ritenute 'vere', dipenderanno dalla posizione e dalla velocità come suggeriscono alcuni fenomeni osservati sulla superficie terrestre (la forza centrifuga e la forza di Coriolis). Se essi però riuscissero a costruire un sistema isolato si troverebbero in notevole difficoltà in quanto la legge della conservazione della velocità del baricentro – legge che deriva direttamente dai loro principi – non sarebbe verificata. Ma a ben vedere, questo intoppo non li bloccherebbe più di tanto ed essi escogiterebbero la presenza di un fluido imponderabile il cui comportamento fisico giustifichi l'evidenza sperimentale. Gli scienziati di quel mondo continuerebbero dunque ad aggiungere 'ipotesi ad hoc' per spiegare nuovi fatti sperimentali, fino a quando sulla scena non si presenta un novello Copernico. A questo punto il giovane scienziato abbandona la vecchia teoria fino ad allora accettata, e sostiene un'ipotesi che rende la teoria rivoluzionaria e strutturalmente semplice: egli ritiene infatti più comodo ammettere la rotazione della terra e considera le forze ritenute fondamentali come forze fittizie dovute al moto terrestre. Il Copernico di quel mondo si troverebbe anch'esso in difficoltà nel sostenere le sue ipotesi in quanto non avrebbe alcun mezzo pratico per giustificare la sua assunzione – infatti i dati astronomici sono per ora preclusi – e la sua difesa poggierebbe in massima parte sulla semplicità della teoria.

Questo esempio mostra in modo chiaro e conciso che l'esperienza ci é da guida nella costruzione teorica ma in fin dei conti non può mai contraddirla; se infatti troviamo un fenomeno naturale che é in contrasto con i principi della nostra visione del mondo possiamo sempre utilizzare ipotesi aggiuntive per salvare la teoria. Operando in questo modo ci troviamo però con un edificio complesso difficile da utilizzare nelle previsioni sperimentali, conviene dunque costruire una nuova teoria 'più semplice' e 'più generale' che inglobi i fenomeni fisici della precedente.