

L'IRREVERSIBILITA' NELL'UNIVERSO

Gli eventi e la freccia del tempo

*"Nulla si crea,
nulla si distrugge,
tutto si trasforma."*

(A. Lavoisier)

Una condizione che si può invertire viene indicata normalmente come reversibile, se invece gli eventi non possono avvenire seguendo il senso contrario si ha l'irreversibilità. Nell'universo che ci circonda, costituito da atomi e particelle, avvengono numerosi cambiamenti, come l'immutabile susseguirsi del giorno e della notte, il passaggio delle comete, la nascita e la morte delle stelle, ecc., perciò può essere effettivamente utile cercare di scoprire il carattere degli eventi, considerare le relazioni esistenti tra le cose nel tempo per trarre una spiegazione. E' possibile assistere al ripristino delle condizioni iniziali, come se il tempo andasse all'indietro? Nell'Universo ciò che accade è reversibile? I cambiamenti del cielo e della Terra secondo gli antichi Greci erano ciclici ed immutabili, la Terra restava sempre al centro dell'Universo ed era circondata da sfere cristalline che trasportavano incessantemente i corpi celesti. Nel Medioevo si credeva ancora che al di là della volta celeste immutabile ci fosse il nulla. Bisogna attendere le nuove idee della rivoluzione copernicana per avere una modificazione radicale del modo di concepire l'Universo. Tuttavia, solo nel XVIII secolo si incominciò a pensare l'Universo come uno spazio quasi vuoto ove si muovevano numerose galassie, distribuite a caso, che riempivano soltanto poco spazio. Il cielo notturno ci può dimostrare che l'Universo è vuoto, freddo e contiene pochi oggetti caldi e brillanti: le stelle. Le stelle, come il nostro Sole, emettono luce e questa non ritorna più indietro; quando finisce il combustibile lo spazio cosmico si raffredda e diventa buio. Il fatto stesso che il cielo notturno è così scuro ci rivela che le stelle non emettono la loro energia luminosa dall'eternità, altrimenti la radiazione avrebbe riempito completamente l'intero Universo, perciò quello che osserviamo oggi non è esistito da sempre. L'energia nucleare delle stelle è limitata e si trasforma senza mai scomparire, questo afferma il principio di conservazione dell'energia. Le varie forme di energia si trasformano sempre le une nelle altre, ma l'energia totale resta costante nel tempo. La formulazione di questo principio risale al XIX secolo e si deve a Mayer. Il trasferimento energetico ci insegna che l'Universo evolve, che c'è stato un inizio e ci sarà una fine, e che ci deve essere una

direzione per la freccia del tempo cosmologico, tesa dal passato al futuro. Il secondo principio della termodinamica specifica poi che il calore passa spontaneamente solo dai corpi caldi ai corpi più freddi e che i processi inversi non possono avvenire mai. Se, ad esempio, immergiamo un cubetto di ghiaccio in una tazza di tè, esso si riscalderebbe sciogliendosi ed il caldo si trasmetterebbe all'acqua che si mescola con il tè. Questo processo è irreversibile, perché, non può accadere mai l'inverso. Quando due galassie collidono, si deformano gradualmente, ma non si rimettono più nelle stesse condizioni di partenza. Dopo aver irradiato tutta la sua energia, una stella non può più riacquistarla, c'è una tendenza naturale che trasforma l'energia, un tempo che scorre e che vieta che si abbia un ritorno alla situazione iniziale. A prima vista si direbbe che questi eventi non riguardino la termodinamica, che studia le trasformazioni del calore in lavoro e viceversa, però l'urto implica la trasformazione dell'energia cinetica in energia termica. Mentre in meccanica i fenomeni sono reversibili, in termodinamica l'inversione temporale è vietata dal secondo principio. Nel 1865 Clausius introdusse una nuova grandezza fisica e la chiamò entropia (dal greco "variazione"), proprio per discutere la reversibilità dei processi. L'entropia misura l'informazione che si ha di un sistema, il grado di disordine che si raggiunge. Quando l'entropia aumenta, l'ordine viene a mancare e si va verso il caos. Le leggi della statistica e della termodinamica sono capaci di descrivere il comportamento dei corpi celesti, perciò meritano più attenzione di quanta ne ricevano normalmente. Quando si studia il moto dei corpi celesti classicamente, seguendo le regole di Newton, si può inserire bene il primo principio della termodinamica (che equivale al principio di conservazione dell'energia), perché, l'energia totale rimane costante durante il moto. Il secondo principio della termodinamica invece impedisce di realizzare le inversioni temporali ed entra in conflitto con la reversibilità dei processi meccanici, i quali non prevedono la dissipazione. Quando si fa bruciare del metano, ad esempio, si ottiene una trasformazione che porta l'energia da una forma utile ad un'altra meno utilizzabile, perciò si ha una degradazione della qualità dell'energia. Questo è il vero problema delle crisi energetiche di cui si parla tanto oggi nel mondo, per il pericolo dell'esaurimento delle fonti. Nell'Universo ciò produce un aumento dell'entropia in modo irreversibile nel tempo. Negli anni '70 si intraprese uno studio sui sistemi fuori dall'equilibrio, che modificavano in maniera consistente la loro distribuzione nello spazio, per confrontare l'evoluzione temporale. Se il sistema si trova in equilibrio, l'entropia rimane inalterata e costante nel tempo, però ciò che osserviamo realmente è una diminuzione locale dell'entropia dell'Universo, a causa della nascita della vita sulla Terra. I processi che avvengono in natura spontaneamente tendono a far diminuire le disomogeneità nell'Universo,

questo è il principio di Curie. Se, per esempio, mettiamo un po' d'inchiostro rosso in un bicchiere d'acqua, dopo un certo tempo tutta l'acqua diventerà di un rosa uniforme. Questo processo è irreversibile e porta ad uno stato di disordine maggiore, giacché, l'inchiostro non potrà più ritornare tutto nel punto di partenza per formare una sola goccia. Tra la vita e la materia inanimata si è venuta a creare invece una specie di contraddizione nel tempo: la vita porta all'ordine e alla simmetria, mentre gli altri processi creano il disordine. La diminuzione di entropia introdotta dall'uomo, dalle piante e dagli animali sulla Terra viene poi largamente compensata dall'enorme aumento di entropia prodotto dall'attività del Sole. Nel sistema solare si osserva globalmente un crescente aumento dell'entropia. Se l'Universo si trovasse sempre alla stessa temperatura, non ci sarebbe un flusso termico da un corpo all'altro e la vita non potrebbe esistere. Nell'800 diversi scienziati evidenziarono la possibilità di avere un Universo che va a finire nel caos uniforme, però nessuno esaminò approfonditamente, come nel '900, le fluttuazioni, cioè le condizioni fuori dall'equilibrio che portarono la nascita di tutto quello che osserviamo adesso. Ci sono varie opinioni sulla natura dell'entropia, ciò nondimeno manca una dimostrazione completamente soddisfacente per il dilemma dell'irreversibilità. L'entropia e l'irreversibilità vengono presentate essenzialmente come concetti statistici e fenomenologici privi di una controparte microscopica, di conseguenza occorrono delle informazioni teoretiche più chiare sulla distinzione creata invariabilmente fra le leggi in questione. Il dilemma dell'irreversibilità spunta fuori come una manifestazione inerente alle interazioni del sistema, dalle strutture isolate ai meccanismi che nascono e svaniscono tra le particelle. La dispersione e l'assorbimento delle particelle microscopiche sembrano introdurre un concetto nuovo, al limite della meccanica quantistica convenzionale: l'irreversibilità, che adesso forse costituisce una prospettiva diversa. In meccanica quantistica le fluttuazioni avvengono anche nel vuoto, sono assai piccole, tuttavia diventano avvertibili con la creazione e la distruzione delle particelle. Per poter valutare coerentemente l'effetto dell'irreversibilità si deve conoscere la sua origine sotto un aspetto globale, però la fisica classica non prevede la visione unitaria. In questo contesto interviene parzialmente il principio di causalità, infatti in ogni sistema gli eventi evolvono nel tempo seguendo puntualmente uno schema concettuale ordinato: prima si ha una causa e poi il sistema mostra una reazione, generando un effetto. La conseguenza matematica diretta del principio di causalità è che le azioni future non possono intervenire in nessun modo sugli eventi passati, perciò il tempo dovrebbe diventare direzionale. In realtà la causa e l'effetto non assumono ogni volta un ruolo definitivo, cosicché, non si può stabilire con certezza il prima ed il dopo. L'entropia, comunque, non muta affatto in

condizioni di vero equilibrio, questo è un fatto sicuro. L'irreversibilità si osserva anche se il movimento è ordinato, non è necessaria una perturbazione, rispetto al cambiamento di verso del tempo l'energia complessiva del sistema resta invariante. La conservazione dell'energia è stata sempre una proprietà di riferimento importante per la fisica, sia in meccanica che in termodinamica, quantunque le due branche si siano sviluppate indipendentemente. L'irreversibilità non ha trovato molto posto nella fisica del passato, è un concetto complicato, richiama alla memoria qualcosa difficilmente riproducibile, che la statistica non può prevedere con successo. L'intera comunità scientifica ha ignorato il problema per secoli, principalmente perché, mancava una metodologia specifica. In pratica, il dilemma sulla natura dei fenomeni governati dall'irreversibilità rimane tuttora un problema da risolvere. Inoltre, durante l'evoluzione temporale si possono incontrare tre tipi di condizioni: instabili, metastabili, o stabili. L'entropia si rivela come una proprietà intrinseca della materia, l'irreversibilità emerge dalle condizioni dinamiche durante l'evoluzione temporale. Nel corso di un fenomeno naturale l'inversione spontanea non è impossibile, bensì estremamente improbabile. Le ricerche condotte sulle galassie lontane hanno mostrato che tutte le galassie si stanno allontanando reciprocamente, perciò l'universo si sta espandendo man mano che il tempo scorre. Quando due ricercatori della Bell Telephone scoprirono casualmente la radiazione di fondo, rilevabile in ogni direzione del cosmo con i radiotelescopi, la teoria del Big Bang ebbe la meglio sulla teoria dello stato stazionario. All'inizio l'Universo dovrebbe essere stato concentrato in un volume piccolo, poi, dopo lo scoppio, l'espansione lo avrebbe fatto raffreddare. Questo fatto può essere provato anche in laboratorio. Se consideriamo l'espansione di una massa qualunque di gas nel vuoto, ogni molecola dopo l'espansione sarà più lontana dalle altre e si assisterà ad un calo della temperatura. L'espansione dell'Universo ha raffreddato la radiazione primordiale del Big Bang e ha fatto occupare uno spazio maggiore alla stessa quantità di materia. Dato che l'Universo si espande, esiste anche una direzione per la freccia del tempo, diretta dalla nascita verso la morte in modo irreversibile. Forse c'è qualcosa di strano in tutto questo, perché, con le particelle microscopiche l'irreversibilità temporale non viene rispettata. Cosa cambia se consideriamo le particelle microscopiche al posto delle galassie? Le leggi che spiegano i fenomeni microscopici danno la reversibilità temporale e la costanza dell'entropia. Ogni reazione può procedere quindi sia in avanti che all'indietro nel tempo, secondo le leggi della meccanica newtoniana e della meccanica quantistica, ma ciò lo vieta il secondo principio della termodinamica. Nella termodinamica dell'Universo ci sono quindi essenzialmente due aspetti fondamentali della meccanica quantistica che

intervengono. Il primo è la simmetria temporale, che riguarda le interazioni. Il secondo consiste nell'impossibilità di avere contemporaneamente sia la misura della posizione, sia quella della velocità di una particella (principio d'indeterminazione). L'indeterminazione dipende dal modo di reagire dell'Universo fisico, non dall'abilità dello sperimentatore. Secondo la teoria esposta da Prigogine negli ultimi anni, il secondo principio della termodinamica resta sempre valido a tutte le scale, dall'infinitamente piccolo all'infinitamente grande, perciò esiste sempre una direzione della freccia del tempo, anche se non sembra emergere. Si ha quindi l'impossibilità teorica di invertire la freccia del tempo durante i fenomeni naturali, l'irreversibilità sembra che debba regnare nell'Universo per sempre. Così, il disordine aumenta in modo incessante e si crea un parallelismo suggestivo tra il crescere dell'entropia ed il verso del tempo.

Prof. Angelo Meduri