

60. Aroldo DE TIVOLI. — Vita ed entropia.

Riassunto. — Dopo un rapido cenno alle ragioni, che presumibilmente ostacolano una generale intesa, sulla validità del principio dell'aumento di Entropia nei fenomeni della Vita, si presenta il concetto di Entropia, con l'ausilio di esempi ed analoghi, per fissare l'idea che si tratta di una grandezza Fisica, perfettamente determinata e misurabile in Calorie e gradi.

Dopo aver ricordato il concetto di probabilità, si definisce l'Entropia statisticamente, mettendo in evidenza un equivoco, in cui sembra cadano vari autori. Si conclude asserendo, che la condizione della validità del detto Principio è necessaria, ma non sufficiente alla spiegazione dei fenomeni organizzativi.

Résumé. — Après avoir rappelé que la question concernant la validité du principe de l'accroissement de l'Entropie revient souvent sur le tapis, on illustre ce principe en faisant usage d'exemples et d'analogies et en soulignant le caractère de l'Entropie comme grandeur physique bien définie, qui est mesurée par calories et par degrés et est seulement à rapporter aux transformations thermodynamiques. Afin de mieux fixer les idées pour les non physiciens, il convient ici de considérer l'Entropie comme la mesure de l'énergie inutilisable dans une transformation thermodynamique, dans un système isolé.

Avant de parler de la définition statistique, on rappelle que le concept de Probabilité ne peut être séparé de celui de fréquence relative, et qu'il faut par conséquent considérer comme un non-sens l'affirmation que dans les phénomènes de la vie se présenteraient avec une très haute fréquence des phénomènes improbables, qui sont, de ce fait, infréquents. Une pareille contradiction, qui est inacceptable, nous prévient qu'il faut prendre garde contre une équivoque évidente, qui peut-être joue un rôle important pour déterminer certaines divergences d'opinions entre ceux qui affirment et ceux qui nient la généralité du principe dont il est question dans les phénomènes biologiques.

Après avoir mis en évidence que le critérium du passage de systèmes ordonnés à des systèmes désordonnés, identifié avec celui de l'accroissement de l'Entropie, est la cause d'autres équivoques, on fait remarquer que l'organisation ne doit pas être confondue avec l'ordre et d'autant plus ne peut être exprimée en unités physiques.

On finit par reconnaître toute entière la validité du principe de l'accroissement de l'Entropie, et par conséquent sa validité dans les phénomènes biologiques, celle-ci étant une condition nécessaire, mais non pas suffisante, pour rendre raison des systèmes organisés.

Summary. — After recalling how often the question concerning the validity of the principle of increase of Entropy comes up for discussion, the Author represents this principle with the aid of examples and analogies, and points out the character of Entropy as a well defined physical quantity, which is measured by calories and degrees and is referable only to thermodynamic transformations. In order that non-physicists may get a proper idea of Entropy, it is convenient here to consider it in its proper light, namely, as the measure of unavailable energy in a thermodynamic transformation, in an isolated system.

Bevor dealing with the statistical definition, it is recalled that the concept of Probability cannot be separated from that of relative frequency, and therefore, it should be considered as a nonsense to affirm that in the phenomena of life there might appear as happening with a very high frequency such improbable phenomena as just because of this improbability cannot be but infrequent. A similar contradiction, which is by no means acceptable, admonishes us to guard against an evident misunderstanding, which plays perhaps an important part in causing certain divergences of opinion between those who affirm and those who deny the generality of the principle in question in biological phenomena.

After emphasizing that the criterium of the passage from orderly to disorderly systems, identified with that of the increase of Entropy, is the source of further misunderstandings, it is pointed out that organization should not be confused with order, so much the less expressed in physical units.

It is concluded by acknowledging the full validity of the principle of increase of Entropy, and therefore, also its validity in biological phenomena as a necessary, but not sufficient condition to allow of organized systems being accounted for.

Zusammenfassung. — Nachdem es daran erinnert wird, dass die Frage der Gültigkeit des Prinzips der Entropiezunahme oft wieder zur Diskussion gelangt, wird dieses Prinzip durch Beispiele und Analogien erläutert, wobei der Charakter der Entropie als eine genau definierte physikalische Grösse dargestellt wird, welche nach Kalorien und Graden gemessen wird und nur auf die thermodynamischen Verwandlungen zu beziehen ist. Um die Ideen für Nichtphysiker besser zu fixieren, ist es hier angebracht, die Entropie als das Mass der nicht benutzbaren Energie in einer thermodynamischen Verwandlung, in einem isolierten System zu betrachten.

Bevor die statistische Definition besprochen wird, wird es daran erinnert, dass der Begriff von Wahrscheinlichkeit von demjenigen einer relativen Frequenz nicht getrennt werden kann, sodass es als Unsinn

anzusehen ist, wenn man behauptet, dass unter den Lebensphänomenen unwahrscheinliche Phänomene mit sehr hoher Frequenz vorkommen können, während sie gerade wegen dieser Unwahrscheinlichkeit nicht häufig sind. Dieser unannehmbare Widerspruch warnt uns vor einem nicht zu verkennenden Missverständnis, welches vielleicht eine wichtige Rolle bei der Erzeugung gewisser Meinungsverschiedenheiten zwischen denen, die den allgemeinen Charakter des genannten Prinzips in den biologischen Phänomenen, und denen, die einen solchen Charakter verneinen, spielt.

Es wird dann hervorgehoben, dass das Kriterium des Uebergangs von ordentlichen zu unordentlichen Zuständen, mit demjenigen der Entropiezunahme identifiziert, die Ursache weiterer Missverständnisse ist, worauf man bemerkt, dass die Organisierung in keinem Fall mit der Ordnung verwechselt, und desto weniger in physikalischen Einheiten ausgedrückt werden kann.

Zum Schluss wird die Gültigkeit des Prinzips der Entropiezunahme und demzufolge die Gültigkeit desselben bei den biologischen Phänomenen, als notwendige, aber nicht genügende Bedingung um sich über die organisierten Systeme Rechenschaft zu geben, völligst anerkannt.

Da quando Clausius introdusse il concetto di Entropia seguito dalla enunciazione del principio che afferma il suo continuo aumento nelle trasformazioni reali, è frequente il caso che autori talvolta di primissimo piano, riaprano la discussione sulla validità di quel principio nel mondo della Vita, oppure, più o meno larvatamente, vi facciano allusione.

La frequenza con cui la questione torna sul tappeto, dice dell'importanza che ad essa si attribuisce, mentre l'alta autorità dei partecipanti alla discussione fa sorgere il sospetto che alla sua base si celi qualche grosso equivoco o sul principio stesso o sulla natura dei casi in cui lo si considera applicabile. Ciò sembra avvalorato dal fatto che mentre in generale i Fisici, i Chimici, i Tecnici, insomma tutti coloro che avendo la massima familiarità col concetto di Entropia, perchè lo usano per così dire professionalmente non hanno dubbi sulla sua generalità, questi sembrano insorgere, di preferenza, in quei cultori che ricorrono occasionalmente al principio stesso.

Che vi possano essere delle divergenze di vedute, sul terreno delle « osservabili » è comprensibile soltanto per elementi mal definiti giacenti sulla terra di nessuno che separa il noto, dal non ancora noto, ma quando si parla di entità fisiche ben definite, la cosa sembra molto incomprendibile.

Nel caso in questione, le più semplici ipotesi che si affacciano alla mente, per rendersi conto di certe divergenze di vedute, sembra che si

possano ridurre alle seguenti: o chi ha idee chiare, su ciò che s'intende per Entropia, non ne ha altrettanto chiare sui fenomeni biologici, ovvero chi ha idee sufficientemente chiare sui fenomeni biologici, ha una concezione troppo individuale di ciò che i Fisici intendono per Entropia; ovvero delle reali difficoltà concettuali costituiscono ostacolo insormontabile alla verifica dell'applicabilità di quel principio ai fenomeni della Vita; ovvero infine particolari concezioni Filosofiche predispongono ad alcune anisotropie psichiche, per cui il pensiero tende a lasciare le direttive suggerite dalla obbiettività scientifica, per indugiarsi su direzioni privilegiate, strumenti ideali per l'instaurazione di pericolosi equivoci.

Quest'ultima ipotesi sembra meritare un certo credito; intanto perchè in tesi generalissima, appare quanto mai umano che effetti del genere possano aver luogo, poi perchè lo suggeriscono particolari espressioni usate da alcuni autori, che pur essendo correttissime, sembrano particolarmente idonee a favorire gli equivoci, infine la natura le inclinazioni di molti, nel cogliere a volo ogni occasione di equivoco, per sospingere il pensiero nella direzione che sembra preferita. Sicchè, non vi è dubbio, la letteratura lo prova, ci sono delle divergenze di vedute a proposito di questo principio; il pomo della discordia è la sua validità nel mondo della Vita. C'è chi considera che quel principio presieda, orienti, il decorso dei fenomeni tanto nel mondo organico, come in quello inorganico, senza differenza alcuna, c'è chi addirittura pensa che in quest'ultimo, il principio stesso intervenga, almeno sotto certi aspetti, in modo secondario; c'è altri infine che lo ritengono addirittura violato, non solo come non agente, ma sostituito da altro operante in senso inverso.

La delicatezza della questione è tale, che non sorprende che la discussione tenda a sottrarsi al rigore del procedimento scientifico. Se quando, s'iniziarono gli studi sulle azioni Coulombiane, qualche tendenza filosofica avesse intravisto qualcosa di temibile per le proprie concezioni sulle azioni gravitazionali, temendole violate da quelle Coulombiane (per esempio quando due corpi elettrizzati dello stesso segno si respingono) è ovvio che sarebbe insorta: se invece da quelle avesse sperato qualcosa, non avrebbe avuto grandi difficoltà ad ammettere che probabilmente nuovi elementi erano in giuoco, capaci di mascherare gli effetti Newtoniani, senza violarli.

Sembra inoltre indubbio che molti soggetti presentino una certa idiosincrasia per l'idea di Entropia, tanto che non solo è rilevante il numero di coloro che confessano apertamente di averne avute sempre idee abbastanza confuse, ma addirittura alcuni trattatisti, nel presentarla, non esitano a dire esplicitamente, che essa è la « bestia nera » per il neofita della Termodinamica.

Sembra che null'altro di meglio vi sia, che tentare di chiarire l'idea di Entropia! quelle relative alla sua validità si chiariranno allora automaticamente.

Siccome i Fisici, su quest'elemento, non hanno dubbi od incertezze, mentre in altri settori del pensiero, come ho detto, si notano delle rimarchevoli originalità, sembra prudente attenersi, quanto più è possibile, all'interpretazione dei Fisici, tentando stabilire una unicità di linguaggio, indispensabile per intendersi. Segue da ciò che non miro nè alle sottili disquisizioni teoriche, nè tanto meno a quelle Filosofiche, bensì a presentare, con analoghi ed esempi, idee già affermate senza timore di critiche per la forma che uso e che è suggerita dal particolare scopo che persegue.

Questa esposizione è il risultato di esperienza acquisita, in occasione di numerose conversazioni e discussioni a cui ho preso parte; lo schema che segue si è dimostrato abbastanza efficace, se non per eliminare le divergenze, dove erano più vivaci, almeno per ridurle notevolmente.

E' nella speranza che il risultato di quest'esperienza possa interessare a qualcuno, che mi permetto qui di riportarlo.

Comincio con un analogo meccanico che naturalmente, come tale non vale per dimostrare qualcosa, bensì solo come artificio di accostamento alla bestia nera cioè all'idea di Entropia.

Per sollevare un grave del peso P , all'altezza H , dobbiamo spendere un'energia $E = P.H$; se il grave vien fatto ricadere idealmente, sino al livello primitivo, l'energia che se ne può ricavare, utilizzabile come lavoro meccanico, evidentemente è ancora E . Ma se la caduta vien limitata, per esempio sino all'altezza h , una frazione E' dell'energia, inizialmente in giuoco, resterà inutilizzabile; questa frazione, sarà naturalmente tanto maggiore quanto più grande sarà il rapporto h/H , cioè si avrà:

$$E' = E.h/H$$

Se ripetiamo il ragionamento, per un certo numero di gravi di peso $P_1, P_2, P_3, \dots$ rispettivamente sollevati alle altezze $H_1, H_2, H_3, \dots$ nelle successive ricadute, tutte limitate al livello h , si avrà un accumularsi di energia inutilizzabile E'' , che se le rispettive energie spese in ogni sollevamento erano $e_1, e_2, e_3, \dots$ sarà:

$$E'' = e_1 \frac{h}{H_1} + e_2 \frac{h}{H_2} + e_3 \frac{h}{H_3}$$

Non interessando la scala della misura dell'energia così resasi indisponibile si può dividere la precedente somma per il fattore comune h a tutti gli addendi e definire così una grandezza.

$$S = \frac{e_1}{H_1} + \frac{e_2}{H_2} + \frac{e_3}{H_3} + \dots$$

che esprime, in una scala convenzionale, l'energia resasi indisponibile in quella successione di cadute. Superfluo far notare, come per essere tutti gli addendi maggiori di zero, la somma andrà continuamente crescendo, man mano che procede la caduta dei gravi. Soltanto nel caso di $h = H$, la somma resterà costantemente nulla, sicchè S , può o restare nulla o crescere continuamente.

Dicendo che la grandezza S , deve crescere durante la caduta dei gravi, non si esclude naturalmente che qualche addendo della somma possa anche diminuire, per un elemento, il dire che decresce l'energia indisponibile significa dire che aumenta quella sua disponibile; eventualità comprensibilissima, nulla essendovi in contrario, che una parte del sistema, possa cedere parte della propria energia ad un'altra.

Si noti bene che quell'energia resasi indisponibile, naturalmente non è andata distrutta, è ancora là, sotto forma potenziale ma inutilizzabile, in quel sistema in cui la caduta è stata limitata nel modo detto. Anzi se il sistema non fosse isolato e dall'esterno si potesse intervenire togliendo la limitazione della caduta, quell'energia tornerebbe ad essere utilizzabile e anzi in queste condizioni sarebbe addirittura possibile rifornire energia dall'esterno anche in misura maggiore di quella resasi indisponibile e così « simulare » il caso, non solo del difetto della crescita dell'energia indisponibile, ma addirittura della sua diminuzione. Ma supporre che le cose vadano come se... l'energia indisponibile fosse diminuita, non è come se realmente lo fosse.

Quest'analogo meccanico, criticabile finchè si vuole, è indubbiamente utile per avviare ad un altro caso particolare, che, per essere di natura termodinamica, costituisce un'altra accostata al concetto di « entropia » e della sua continua crescita nelle trasformazioni termodinamiche.

Pensiamo ora ad una macchina termica; le idee di quantità di calore q e di temperatura assolute T e t si riconnettano a quelle che nell'analogo meccanico erano peso e livelli H ed h .

Del vapore alla temperatura T è fornito da un sorgente; se tale temperatura passa ad un valore minore t , tramite una macchina, una parte dell'energia posseduta dal vapore, potrà trasformarsi in energia meccanica utilizzabile, mentre una parte di essa resta allo stato di energia termica, restando inutilizzabile agli effetti della sua trasformabilità in lavoro meccanico.

L'analogo meccanico, suggerisce come la misura dell'energia così resa indisponibile, per la limitazione della caduta termica, possa essere misurata da una frazione di quella disponibile, tanto più grande quanto più

grande è il rapporto t/T , e come quindi, se l'energia termica erogata dalla sorgente era Q , quella resasi indisponibile sia $Q' = Q \cdot t/T$.

Similmente a quanto detto a proposito dell'analogo meccanico, dove l'operazione pensabile fosse costituita da una successione di operazioni elementari, nelle quali la sorgente, avesse erogato quantità di calore $q_1, q_2, q_3, \dots$ rispettivamente alla temperatura $T_1, T_2, T_3, \dots$ queste dopo essersi ridotte alla temperatura costante t (per esempio dell'ambiente) costituirebbero un'energia inutilizzabile Q' somma di quelle indisponibili elementari.

$$Q' = q_1 \frac{t}{T_1} + q_2 \frac{t}{T_2} + q_3 \frac{t}{T_3}$$

dividendo per il fattore comune t , al solito, si definisce una grandezza

$$S = \frac{q_1}{T_1} + \frac{q_2}{T_2} + \dots$$

che misura, in scala arbitraria, l'energia resasi indisponibile nel processo. Ad S si può cominciare sin da ora ad assegnare il nome di « entropia ».

Superfluo ripetere quanto si è già detto per l'analogo meccanico, per concludere come S cioè l'entropia, durante un processo reale, debba crescere, considerata relativamente a tutto il sistema, supposto isolato.

Resta chiaramente inteso, da questa presentazione del concetto di entropia, che questa entità Fisica ha senso solo quando la sua grandezza sia esprimibile in unità di quantità di calore (calorie) divise per unità di misura di temperatura (gradi). Dove ciò non apparisse evidente, si deve essere estremamente cauti nell'usare questo termine ;il trascurare questo elemento. può aprir la via ai più pazzeschi equivoci.

Incidentalmente, può essere fatto osservare, che il principio mentre sancisce l'idea della crescita di S , nulla dice del suo passo nel tempo, e quindi non deve meravigliare nessuno se questa grandezza crescesse meno rapidamente di quanto si potrebbe supporre. Per esempio consideriamo il sistema Sole-Terra supposto isolato dal resto dell'Universo. Se la Terra fosse un corpo perfettamente nero, cioè con coefficiente d'assorbimento eguale ad uno ,tutta l'energia ricevuta dal Sole degraderebbe subito in calore e l'energia indisponibile crescerebbe subito sino al massimo. Siccome la Terra invece, non ha tale coeff. di assorbimento, ed ha un mantello di aria, e dell'acqua che può evaporare alla superficie, parte dell'energia ricevuta anzichè divenire subito inutilizzabile, si trasforma in energia potenziale, mediante correnti ascendenti. L'energia relativa, diverrà in seguito indisponibile, quando dopo le riavvenute condensazioni e precipitazioni, restituirà le acque ai più bassi livelli possibili. Sicchè

un sistema ritardatore della crescita di S è pensabile in infiniti modi e verificabile sperimentalmente. In questo senso tutti i viventi, possono essere considerati dei sistemi ritardatori, ma ciò nulla dice che sia contrario al principio della crescita di S .

A questo proposito è utile forse sottolineare come qualche autore, si esprime talvolta in forma, che pur essendo correttissima, può far sorgere in qualcuno degli strani sospetti. Il vivente è un ritardatore di S , di più è capace di ricaricarsi automaticamente di energia, dall'esterno, come se... quella che per il suo funzionamento si rende indisponibile, si ricondizionasse; ma nulla di eccezionale vi è in ciò, naturalmente. Un orologio, via via che funziona, si scarica e rende inutilizzabile parte dell'energia che s'immagazzinò all'atto della carica. Quando lo si ricarica, non si fa retrocedere quell'energia che si era degradata, bensì lo si rifornisce di altra, per cui le cose è vero vanno come se fosse avvenuto quel miracolo, ma così in realtà non è. Sicchè quegli autori che dicono che il vivente si nutre di S negativa, nulla intendono dire in conflitto col principio dell'aumento di S , soltanto si esprimono in modo che a qualcuno può far nascere dei sospetti.

Sorge a questo punto spontanea la domanda: se così semplici sono le cose, da dove nasce la materia di discussione sulla validità del principio dell'aumento di S nei fenomeni della vita?

Molto deriva dal fatto, che spesso per entropia s'intende qual cosa ben più generale di quello, che intendono i Fisici; qualcosa di cui l'entropia non è che un caso particolare; ma per mostrar ciò, debbo prima permettermi una breve digressione.

Il termine « probabile » e le espressioni « molto o poco probabile », sono del linguaggio ordinario e le usiamo, o meglio dovremmo usarle, soltanto dove riscontriamo sicuramente qualcosa di casuale, cioè di qualcosa che può presentarsi o non presentarsi. Nella sua forma più semplice, la probabilità, l'estrapoliamo dal passato; un evento che si presentò con una certa frequenza, in certe condizioni, quando queste si ripresentino, arguiamo che quello si ripresenterà con la stessa frequenza; questa frequenza prevista, la diciamo « probabilità ».

Non sembra per nulla inutile sottolineare questa più che stretta correlazione tra frequenza e probabilità, sino al punto da dichiarare di aver idee abbastanza confuse su ciò che significherebbe « probabilità » di un evento in una prova, se non la si considerasse come la valutazione fatta a « priori » della frequenza che si prevede constatabile a « posteriori » in numerosissime prove. Soltanto così considerandola come la frazione del numero delle prove, che in media, si crede che occorrerebbe ese-

guire perchè quell'evento si presentasse una volta, si riesce a dare una certa consistenza all'idea di probabilità di un evento in una prova.

I trattatisti, come ognun sa, definiscono le probabilità, come un'idea astratta, misurata dal rapporto tra il numero dei casi favorevoli alla comparsa di un fatto ed il numero dei casi possibili. Ma questo rapporto che come tale sottostà a tutte le proprietà degli altri rapporti, riceve un « soprannome » proprio per differenziarlo da tutti gli altri anonimi o differentemente nominati (come per es., velocità, densità, capacità elettrica, ecc.) per ricordare proprio la sua natura e la sua possibilità di indicare frequenze prevedibili (Legge empirica del Caso).

Tutti sanno perfettamente che il Calcolo delle Probabilità, consentirà poi di procedere in condizioni ben più complesse, di quelle che possano essere le semplici e dirette estrapolazioni dal passato al futuro, perchè renderà possibile la previsione delle frequenze, anche quando saranno note soltanto le condizioni a cui sottostanno gli elementi che possono determinare il presentarsi di un evento, ma ciò non toglie all'idea di Probabilità il suo carattere di frequenza prevedibile.

Sembrerà strano che io mi permetta di ricordare nozioni così note a tutti, ma una certa esperienza me lo fa reputare prudente; non è per nulla eccezionale che si senta dire improbabile qualcosa di non casuale, o poco probabile perchè tale lo sarebbe stato in condizioni differenti da quelle considerate od infine perchè appaia molto misterioso il meccanismo secondo cui ci si presenta.

La ragione, poi, di questa breve digressione sulla probabilità risiede nella necessità di ricordare che se un sistema è mutevole nel suo insieme, da configurazioni meno probabili esso tende a passare a quelle più probabili, cioè quelle che nel passato si presentarono più frequentemente. Supporre che le cose possano andare diversamente significherebbe pensare, che, ferme restando le condizioni, le cose dovessero andare, nel futuro, diversamente da come andarono nel passato e ciò renderebbe vana ogni ricerca scientifica. Inoltre non si dimentichi, che se vale quello stretto addentellato che ho detto, tra frequenza e probabilità, ammettere che, in date condizioni si presenti frequentemente ciò che è improbabile, significherebbe ammettere, che in quelle condizioni si presenti frequentemente quello che si presenta infrequentemente; contraddizione, che nessuno può tollerare, evidentemente. Quando qualcosa di simile dovesse sembrare in atto, non resterebbe evidentemente che ritenere alcuna delle condizioni, supposte costanti, in realtà variata. Per esempio, le mosche che restano impigliate in un'ordinaria carta moschicida, non hanno mai presentato alcuna regolarità di distribuzione, ma dove a nostra insaputa, venisse allestita una di tali carte, con la pasta adesiva non più distribuita uniformemente, bensì secondo un artistico disegno, a torto proclameremmo

improbabilissimo quell'alto senso estetico dimostrato, dalle mosche suicide, prima di aver rigorosamente accertato che le condizioni dell'esperienza siano realmente state le stesse di quelle eseguite con le ordinarie carte moschicide. Dove il fatto si ripetesse sistematicamente, diverrebbe assurdo dirlo improbabile; per la perdita della sua casualità diverrebbe doveroso il tentativo della ricerca per cui divenne probabilissimo, anzi sistematico qualcosa che nelle ordinarie condizioni era immensamente improbabile. Più d'una volta si è sentito considerare come qualcosa di improbabile la regolarità degli edifici cristallini e molto più frequentemente quella dell'organizzazione dei viventi; eppure in questi (fluttuazioni a parte, piccole variazioni di peso, dimensioni, colore, ecc.) nei limiti di approssimazione delle loro definizioni che cosa vi si riscontra di casuale? Se da un uovo di gallina, ben fecondato, deposto ed incubato, potessero nascere casualmente, pulcini, coccodrilli od altre cose stranissime, certamente avrebbe senso chiedersi della probabilità della nascita di un pulcino, ma chi ha nozione di qualcosa di simile?

E' forse opportuno far subito cenno del fatto, che come si suol dire da configurazioni di minor probabilità si passa a quelle di maggior probabilità, così si suol dire che da configurazioni ordinate in generale si passa a quelle disordinate. E' ovvio che nessuno pensa che ciò sia dovuto all'intervento di un diavolino dispettoso, che si compiace di mettere disordine dove c'era l'ordine bensì al fatto che in generale, dove manchino di agire particolari elementi ordinatori, come nel caso della cristallizzazione e nell'esempio delle speciali carte moschicide, siccome il numero delle configurazioni che riusciamo a riconoscere come ordinate è piccolo rispetto a quelle possibili, per definizione, la probabilità della comparsa di una di quelle poche configurazioni ordinate è piccola, mentre di una di quelle disordinate è grande.

Mentre l'osservazione del passaggio da configurazioni di piccole probabilità a quelle di maggior probabilità è inevitabile, quella del passaggio da ordine a disordine è molto sospetto; è troppo soggettivo il riconoscimento dell'ordine, e molto spesso può darsi che esso vi sia e che ci sfugga.

Quante sostanze sono state ritenute sino a ieri amorfe e moderni mezzi d'indagine, ci hanno dimostrato essere cristalline, cioè costituite di elementi ben ordinati? Tutto ciò sconsiglia di usare per quanto possibile i termini « ordine » e « disordine » o per lo meno di usarli con tutte le possibili precauzioni a scanso di equivoci.

Dopo aver ricordato come nelle « trasformazioni » termodinamiche e soltanto in quelle, abbia senso dire di entropia e come in esse l'entropia tenda a crescere, come in ogni e qualunque caso da stati di minor probabilità, nei sistemi variabili, sia evidente la tendenza al passaggio a quelli

più probabili, o, come qualcuno dice, da sistemi ordinati a quelli disordinati sembra molto opportuno metter subito in guardia sul fatto che questi tre modi di dire, in generale, non sono per nulla equivalenti, sebbene così spesso vengano ritenuti tali introducendo così forse l'elemento più efficace alla istituzione di quegli equivoci che alimentano la disputa sulla validità del principio dell'aumento dell'entropia nei fenomeni della vita.

Come è noto il Boltzman nel 1870 mostrò che se ha luogo una trasformazione termodinamica ed è calcolabile la probabilità P' dello stato iniziale e quella P'' di quello finale, la variazione di entropia $S' - S''$ nella trasformazione è prevedibile per mezzo della relazione.

$$(I) \quad S' - S'' = K (\text{Log} P' - \text{Log} P'')$$

Dove K è una costante.

Comincio con l'osservare che il primo membro della (I) rappresenta una differenza tra due valori di entropia, mentre il secondo, dove mancasse la costante K (che rimette le cose a posto quantitativamente e dimensionalmente) sarebbe la differenza tra due numeri puri, due logaritmi, sicchè la (I) sarebbe in difetto senza quel K . La parte variabile dei due membri è di natura differente e ciò comincia ad ingenerare qualche sospetto, sulla integrale validità di quell'espressione e quindi incoraggia a vedere se non sia il caso di provvedere a qualche limitazione precauzionale. Questa sembra consistere nel porre bene in evidenza la condizione che quelle due probabilità P' e P'' , debbano essere soltanto riferite a due stati, perfettamente definibili termodinamicamente. Si può pensare di calcolare le probabilità di una qualunque coppia di eventi possibili si può prendere di esse i logaritmi e farne, poi, la differenza e questa si può moltiplicare per K ma che cosa mai potrà giustificare che il risultato si dica entropia? Nulla vieta che si misuri la lunghezza di una strada, si divida il numero che la misura per quello che misura g , si estraiga la radice quadrata ed il tutto si moltiplichi per 2π , ma qual senso ha il dire che quel risultato è la misura del periodo di quella strada?

L'entropia è quella grandezza fisica espressa in calorie, gradi e null'altro, come caso particolarissimo ristretto al campo termodinamico, la grandezza che misura le variazioni è calcolabile con la relazione di Boltzman. Dove si volesse dire di entropia, in altri casi, si dovrebbe prima di tutto rigorosamente dimostrarne la legittimità, mai lasciarsi illudere da una semplice apparenza. La terminologia ha un'importanza tutt'altro che disprezzabile. Il matrimonio è un contratto tra due persone, come l'acquisto di un camion implica un contratto tra due persone, forse un giurista tra i due contratti può rilevare chi sa quante mai analogie, ma è prudente indugiarsi in conversazioni, in cui si dicesse di matrimoni

tra acquirenti e camion? A quali pericolosi dirottamenti del pensiero, una simile terminologia potrebbe dar luogo?

Debbo insistere su questo argomento perchè è indispensabile schiarir bene le idee sull'addentellato tra entropia e probabilità.

E' noto il Paradosso del Diavolino di Maxwell. Due ambienti A e B sono separati da un setto, in cui è praticato un forellino. Inizialmente, in A vi è un gas ad una certa temperatura e pressione, in B vi è il vuoto; il gas fluendo da A in B può produrre lavoro meccanico, sicchè c'è della energia utilizzabile. Man mano che il gas fluisce da A in B, l'energia che si rende indisponibile cresce finchè raggiunge il suo massimo (massima entropia) quando nei due ambienti regnerà la stessa temperatura e pressione. Allora sarà raggiunto l'equilibrio statistico, per cui in ogni secondo, tanto molecole migrano da A in B quanto da B in A.

Se nei due ambienti il gas si trova ora nelle stesse condizioni, significa che le velocità medie delle molecole contenute nei due ambienti, sono eguali, ma ciò non toglie che alcune abbiano velocità maggiori di quella media, altre inferiori. Si supponga ora di dotare il forellino di uno sportello movibile senza attrito e di disporre di un Diavolino, che prontissimo l'apra quando vede una molecola celere che da A sta per precipitarsi attraverso il forellino, oppure una lenta che da B sta per precitarsi in verso opposto. L'arricchimento delle molecole celeri, così realizzato in B e l'impoverimento in A, creeranno una differenza, per cui dell'energia prima inutilizzabile è tornata ad essere utilizzabile, sicchè il Diavolino ha fatto retrocedere l'entropia; ha compiuto il miracolo di smentire il principio che afferma dover quella sempre crescere. Il primo membro della (1) sicchè è divenuto negativo in questo caso, più che ideale, fantastico. Ed al secondo membro che cosa è capitato? Questo non ha cambiato segno, tutto ha continuato a decorrere dallo stato meno probabile a quello più probabile perchè il Diavolino ha reso probabile ciò che non lo era.

Tutto ciò potrebbe costituire come una dimostrazione per assurdo, dell'inesistenza dei Diavolini capaci di compiere simili giuochetti, ma ciò esigerebbe che fosse prima provata la generalità della (1) qualunque fosse la natura dell'evento della cui probabilità si parla, il che certamente non è.

La probabilità va bene in caso di assenza di Diavolini, per dire di come vari l'entropia se questa deve essere quella tale grandezza fisica misurata in calorie e gradi. Un altro esempio potrà persuadere meglio: due amici passeggiano l'uno a fianco dell'altro, cioè in formazione probabilissima; il tutto implica un certo aumento di entropia. Ora l'uno salta sulle spalle dell'altro, l'evento è improbabile, si è passati da una configurazione probabile ad una improbabile; si può con ciò supporre che l'entropia diminuisca in questa strana deambulazione? Al contrario c'è da

supporla aumentata, più di quanto lo sarebbe per quella ordinaria; il rendimento del sistema a funzionamento così insolito non può far ritenere altro che un ulteriore aumento di entropia.

Riepilogando quanto sin qui ho detto, sembra si possa stabilire:

1) che l'entropia è una grandezza fisica inequivocabilmente definita e misurata in funzione di quantità di calore e temperatura (esplicitamente od implicitamente);

2) che è possibile definirla, con considerazioni probabilistiche dove queste siano correlabili a trasformazioni termodinamiche;

3) che nessun fatto osservato autorizza a ritenere che nei fenomeni della vita l'entropia possa diminuire.

Sebbene tutto ciò sia abbastanza chiaro, bisogna riconoscere che si debbano concedere delle circostanze attenuanti a chi ha ancora dei dubbi. Hanno la loro parte di responsabilità gli equivoci di cui ho fatto cenno, nonchè alcuni fatti importantissimi ed ancora inspiegati del fenomeno biologico; tali fatti, se non giustificano il ricorso a concezioni anti-entropiche, potrebbero indurre ad evocarne di a-entropiche, intendendo con ciò quelle che si riferiscono ad elementi o a stati non definibili interamente in termini termodinamici.

E su ciò sembra che tutti potrebbero convenire, almeno alla luce di quanto sino ad oggi noto.

Qui occorre aprire un'altra breve parentesi. Sebbene sia pericoloso, come ho già detto, ricorrere a termini infidi, come ordine e disordine, con qualche precauzione se ne può pur dire, almeno provvisoriamente per prospettare un'idea.

Dove non interviene la vita, ogni fenomeno è accompagnato da aumento d'entropia e passaggio da configurazioni ordinate a quelle disordinate anche dove, apparentemente potrebbe sembrare il contrario ⁽¹⁾. Dove invece compare la vita, mentre l'aumento dell'entropia è indubbio, i fenomeni organizzativi danno luogo a sistemi che non si possono dire disordinati, sebbene il materiale con cui furono edificati, lo fosse; sicchè chi vede in questi due comportamenti fisico e biologico delle differenze, deve essere in parte compreso se non tanto in ciò che dice, in ciò che intenderebbe dire. Ma risiede in ciò il conflitto col principio dell'aumento di entropia? Forse un altro equivoco, qui si sta per insinuare, quello derivante dal confondere ordine, con organizzazione. I termini non vogliono mai dir nulla, siamo noi a voler dire qualcosa con essi, ebbene se si cerca di capire quando usiamo

⁽¹⁾ Per esempio se sorprende l'ordine dell'edificio cristallino non si deve dimenticare che esso è accompagnato da tanto disordine che sfugge, quale quello dovuto alla diffusione del vapore o all'irraggiamento del calore che rese possibile la cristallizzazione.

il termine « ordine » e quello di « organizzazione », sembra si giunga alla conclusione, che l'uso ha sanzionato, che per ordine si deve intendere una semplice distribuzione di punti, linee ed oggetti qualcosa di statico che in generale, può essere addirittura fotografato o rappresentato con opportune trasformazioni in qualcosa di fotografabile. Il sistema « organizzato » invece, non può essere che cinematografato; una fotografia infatti a chi non lo conosca, o non conosca cosa analoga, non permette di descriverlo per la semplice ragione che l'idea di organo è strettamente connessa alla funzione che deve compiere e che sempre si svolge nel tempo. Di più « organo » e « funzione » che questo compie, sembra siano come due variabili legate tra di loro in guisa che l'una definisce l'altra e viceversa. L'occhio è l'organo che presiede alla visione, viceversa la visione è la funzione esplicata dall'occhio.

Una fune appesa ad un albero, può esser fatale ad un maldestro operatore, ma chi la direbbe l'organo con cui i distratti possono impiccarsi? Ebbene la stessa fune, appesa allo stesso ramo, dello stesso albero, dal boia del paese, diviene l'organo con cui il quel paese si eseguono le sentenze capitali.

Se si riconosce all'ordine, la definizione operativa che risulta dalla determinazione delle posizioni relative degli elementi di cui è costituito ed all'organo la definizione operativa della funzione che esplica, non può sorprendere che i due elementi, in generale, non possano essere equivocati, e quindi si affaccia l'idea che mentre passaggio da ordine a disordine ed aumento di entropia, possono, con le dovute cautele, essere considerati elementi corrispondenti, non è detto che aumento di entropia, ed organizzazione lo possano essere, per lo meno nello stesso modo.

Se si considera l'organismo e l'organizzazione, come costituiti a loro volta da organi, la differenza naturalmente si accentua tra questi e i sistemi semplicemente ordinati.

Orbene se così stanno le cose, se con questi termini realmente si vuol intendere quello che ora ho detto, come correlare entropia ed organizzazione, se quest'elemento, in alcun modo è definibile operativamente in termini termodinamici? E se ciò non appare possibile, che senso può avere il tentare di definire il processo organizzativo per mezzo della variazione dell'entropia, se questa dipendesse solo dalle « trasformazioni » che furono necessarie all'organizzazione, ma che non valgono a definirla?

Se per semplicità e per liberarci da possibili pregiudizi, ci riferiamo anche soltanto all'organizzazione meccanica, fuori del mondo della vita, si nota come a pari aumenti di entropia si possono avere differentissime organizzazioni, che eguali organizzazioni possono essere ottenute con differentissimi aumenti di entropia, ma addirittura eguali o differenti *disorganizzazioni*, possono condurre ad eguali o differenti aumenti d'entropia.

Forse una rappresentazione grafica può soccorrere utilmente per ribadire quest'idea. Data una semiretta comunque orientata, a partire dall'origine si può segnarvi una scala logaritmica, su cui fissato un punto, per indicare l'entropia di uno stato iniziale di una trasformazione, un altro punto spostato nel verso dei valori positivi, ne rappresenterà lo stato finale. Se con una convenzione pensabile facilmente, si immagina di misurare l'organizzazione (per esempio col logaritmo della probabilità che quel sistema si sia organizzato casualmente) le varie possibili organizzazioni, possono venir rappresentate con rette inclinate rispetto a quella presa per base, di argomenti proporzionati a questa grandezza. Ebbene se su ognuna di queste rette rappresentative si ripete la scala logaritmica, per la rappresentazione dell'entropia, ogni sistema organizzato avrà un punto che lo rappresenta in funzione di due variabili indipendenti; il modulo; correlabile all'entropia, e l'argomento, completamente indipendente da questa, dipendendo principalmente dalla via scelta per eseguire l'organizzazione, anche se il processo organizzativo è ideale come quello per i quali è pensabile la variazione d'entropia, indipendente dalla via seguita nella trasformazione.

Questa rappresentazione grafica, sembra valga a rinforzare l'idea, che mentre la crescita di S , dice del verso secondo cui si svolgono le «trasformazioni» termodinamiche, e soltanto quello, dove si dice di organizzazione non si dice di «verso su una direzione» bensì della direzione stessa su cui le cose si svolgeranno, nel verso indicato dalla necessità dell'aumento di entropia.

La lodevole intenzione di tentare di ridurre tutto a schemi unitari, tutto a fenomeni fisici, è perfettamente comprensibile, ma non bisogna esagerare nell'asserire tutto fattibile, finchè non è realmente fatto. Allo stato attuale, organizzazione e variazione di entropia, nella macchina e nel vivente, non sono correlabili; la profezia che certamente a ciò si dovrà giungere, su terreno scientifico, resta una profezia: può darsi che si avveri ma potrebbe darsi anche di no. Con tutta la geometria nota, non è possibile trattare un problema cinematico; quella scienza sarà di preziosissimo ausilio, i suoi dettami mai verranno violati, ma occorre introdurre il concetto di tempo, senza di quello è vano il tentativo.

Siamo qui forse in presenza di qualcosa di analogo, occorre forse scoprire qualche elemento ignoto, se scopribile? E' prudente ammetterlo, grave imprudenza escluderlo a priori per pregiudizi. La profezia non è accreditata nella procedura scientifica e la previsione teorica, richiede gli elementi necessari e finchè non vi sono è prudente attendere. Poco prima che la spettroscopia si presentasse alla ribalta del teatro delle scienze, A. Compt profetizzava l'impossibilità dell'astronomia di penetrare il mi-

stero della costituzione chimica dei corpi celesti. La sua profezia viene citata come esempio da non imitare.

Qualche considerazione probabilistica, senza pretese profetiche pur tuttavia è possibile, in generale, ma qui che dire? Quanto è folta la foresta d'incognite che ci separa dalla visione chiara del fenomeno biologico.

Qualcuno ha sperato tanto dalle brillanti ricerche sui « formatori » che indubbiamente han portato luce insperata un tempo, ma se splendentissima in misura relativa, quanto lo è in misura assoluta? Certo per chi è desideroso di conoscere la genesi e l'origine di un automobile, può essere di grande aiuto il prendere conoscenza dei modelli di legno di fonderia, ma quanto quella nozione dista ancora da quelle che diressero la progettazione e più ancora lo studio teorico dei suoi organi?

Per lo scienziato moderno non ha senso dire che di ciò che ammette definizione operativa. Nell'uomo, sensazione coscienza e pensiero, che pur non ammettono alcuna definizione operativa, permettono di conferire carattere di realtà a tutte le altre su cui giuriamo. Qual altro elemento ribelle all'inquadramento fisico potrebbe risiedere alla base della vita?

A quali traumi psichici ci ha sottoposto la Fisica Teorica Moderna? A quali forse potrebbe sottoporci la biologia Teorica? Potrebbe forse nella sua, se non ultima, almeno penultima essenza celare qualche elemento capace di espletare quella retrogradazione dell'entropia, di cui era capace il Diavolino di Maxwell? Nulla lo suggerisce, ma nulla autorizza ad escluderlo, a priori.
