

ISTITUTO DI MATEMATICA
DEL POLITECNICO DI MILANO

Pubblicazione N. 159

BRUNO FINZI

Alberto Einstein

Estratto dai *"Rendiconti dell'Istituto Lombardo di Scienze e Lettere"*
Vol. LXXXVIII - 1955

MILANO
Anno 1955

ISTITUTO LOMBARDO DI SCIENZE E LETTERE
Estratto dai *Rendiconti*, Parte Gen. e Atti Uff. — Vol. LXXXVIII — 1955.

ALBERTO EINSTEIN

Commemorazione del m. e. BRUNO FINZI



ULRICO HOEPLI
Libraio dell'Istituto Lombardo di Scienze e Lettere

MILANO
1955

ALBERTO EINSTEIN

Commemorazione del m. c. BRUNO FINZI

(Adunanza del 26 maggio 1955)

L'Istituto Lombardo ha avuto l'onore d'annoverare fra i suoi Soci Alberto Einstein, il più celebre degli scienziati contemporanei, l'uomo che diede ai suoi simili una nuova visione del mondo fisico.

Nel 1946, all'età di 67 anni, Einstein scrisse un'autobiografia, ma in essa nulla dice delle vicende della sua vita: nè della sua infanzia, a Monaco prima, a Milano poi, nè dei suoi studi al Politecnico di Zurigo; nulla dice del suo impiego all'Ufficio Brevetti di Berna, del suo primo matrimonio, della sua carriera di professore all'Università di Zurigo, all'Università di Praga e al Politecnico di Zurigo, della sua assunzione all'Accademia di Prussia a Berlino; nulla dice del suo secondo matrimonio, delle persecuzioni razziali e del suo trasferimento in America a Princeton, dove visse serenamente dal 1933. Egli ci parla soltanto dell'evoluzione del suo pensiero: da quando adolescente meditava su come vedrebbe la luce chi ne inseguisse un raggio, fino alla istituzione della teoria della relatività ristretta, da quando fantasticava su come vedrebbe il mondo chi precipitasse quale grave in libera caduta, fino alla istituzione della teoria della relatività generale e della gravitazione, fino alle ricerche per costruire una teoria unitaria della gravitazione e dell'elettricità.

E' naturale che sia così, perchè per Einstein le vicende della vita non contavano e nulla era veramente importante per lui, se non la comprensione dei fenomeni naturali e delle leggi che li governano. Egli diceva di sè: « Non ho mai appartenuto con tutto il cuore a un paese, o a uno stato, alla mia cerchia d'amici, o anche alla mia stessa famiglia ». Era un pensatore solitario: sono, diceva scherzosamente, « un cavallo fatto per il tiro a uno, non per le pariglie o a tiri a quattro ». Reputò sua fortuna non aver incontrato un vero fisico fino all'età di trent'anni. Nessuno potè così autorevolmente scoraggiarlo, prima che

le sue idee, tanto nuove e originali d'apparire rivoluzionarie, avessero raggiunto tale forza e profondità da risultare inattaccabili. Nulla del resto poterono su di lui le critiche di alcuni scienziati e il consenso ammirato di altri, la derisione e l'esaltazione degli ignoranti; nulla poterono i molti che lo fraintesero, applaudendolo o riprovandolo per ciò che non aveva detto; nulla poterono gloria ed onori che mai aveva cercato: tutto ciò lo lasciava completamente indifferente.

* * *

Per comprendere Einstein è essenziale conoscere la sua posizione filosofica, perchè, più che un fisico, egli si reputava un filosofo. Ed è essenziale fissare i tratti caratteristici del suo pensiero.

Egli considerava tutti i concetti fisici come libere costruzioni della mente umana, e la scienza stessa come una libera invenzione. Credeva in una realtà fuori di noi, ma intesa come essenza trascendente. Scrisse: «Se l'essenza della religiosità sta nel credere che ciò che è impenetrabile per noi esiste realmente, manifestandosi nella più alta saggezza e nella più radiosa bellezza che le nostre povere facoltà rudimentali possano intuire, allora io appartengo alla schiera degli uomini profondamente religiosi».

I tratti del pensiero einsteiniano, che nel loro insieme ne costituiscono la caratteristica inconfondibile, mi sembrano i cinque seguenti:

- 1°) portare su di un piano universale quei concetti che trascendono il campo particolare in cui vennero originariamente stabiliti;
- 2°) ragionare attraverso ad esperienze ideali, come tipicamente quelle che si usano in termodinamica;
- 3°) portare alle estreme conseguenze le proposizioni alle quali logicamente si perviene, senza preoccuparsi se cadono così idee preconcette suggerite dal senso comune (anche se non proprio dal buon senso);
- 4°) restare incontaminato dall'istruzione, che troppe volte ahimè paralizza la capacità di riflettere;
- 5°) prescindere dall'erudizione, dei dati di fatto inutili, dagli sviluppi matematici ingombranti, dai particolari superflui, per ancorarsi saldamente a ciò che è veramente essenziale.

* * *

Cercherò ora di esporre in forma sintetica quanto reputo di fondamentale importanza nello sviluppo del pensiero einsteiniano durante il

mezzo secolo che va dal 1905, anno nel quale nacque la teoria della relatività, al 1955, anno della morte del suo autore.

Negli «Annalen der Physik» del 1905 furono pubblicate ben quattro Memorie fondamentali del ventiseienne Alberto Einstein, dottore in Fisica, impiegato con modeste mansioni all'Ufficio Brevetti di Berna.

Non erano queste le sue prime pubblicazioni scientifiche, perchè altre, riguardanti la termodinamica, le avevano precedute fra il 1901 e il 1904, ma il mondo scientifico ne fu scosso come da un'esplosione, perchè quelle quattro Memorie contenevano più cose che non ordinariamente quattro grossi volumi della rivista di Fisica che le accoglieva, la maggiore esistente al mondo. Certamente però Einstein quelle Memorie le aveva lungamente meditate negli anni precedenti, fra una pratica burocratica e l'altra. Come Hans Sachs, il calzolaio maestro cantore di Norimberga, aveva composto i suoi carmi scandendone il ritmo col martello sulla suola delle scarpe, così lui aveva composto le sue Memorie fra la contestazione di un brevetto all'inventore di una nuova serratura e la paziente discussione con uno scopritore del moto perpetuo. Soltanto per caso le sue ricerche erano maturate in così breve intervallo di tempo.

Nel mese di febbraio fu pubblicata la Memoria sui *quantità di luce*.

Planck aveva nel 1900 mostrato come, nell'assorbimento e nell'emissione dell'energia raggiante da parte della materia, gli scambi energetici avvenissero per «quantità» proporzionali alla frequenza della radiazione. Einstein, com'è proprio della sua mentalità, eleva questo principio particolare a principio universale, per cui la radiazione stessa risulta costituita da «fotoni», da «quantità di luce», la cui energia è proporzionale alla frequenza. Istituisce così una teoria generale che getta un ponte fra la teoria ondulatoria della luce e la teoria corpuscolare.

Con questa Memoria fondamentale Einstein recò un contributo decisivo alla teoria dei quanta, che da allora domina nella fisica, e nei riguardi dell'ottica la sua opera è paragonabile a quella di Newton, assertore della teoria corpuscolare, di Huyghes, assertore della teoria ondulatoria, di Fresnel, al quale la teoria ondulatoria deve la sua vittoria, di Maxwell, creatore della teoria elettromagnetica della luce.

Grazie a questi contributi essenziali fu attribuito ad Einstein nel 1922 il premio Nobel per la Fisica. Non per la teoria della relatività, perchè questa fu reputata (forse non a torto) concezione più fisico-matematica e filosofica, che non strettamente fisica, e, com'è noto, non c'è

premio Nobel nè per la Matematica, nè per le altre scienze puramente speculative.

Nel mese di marzo apparve la Nota sui *movimenti di particelle sospese in un fluido*, atti a rivelare l'agitazione termica delle molecole di questo: i movimenti che, all'insaputa di Einstein, Brown aveva notato al microscopio quasi ottant'anni prima. Questa Nota costituisce un vero gioiello, anche se, per il suo argomento particolare, non ebbe nello sviluppo della scienza l'importanza che ebbero le pubblicazioni sui quanti di luce e sulla teoria della relatività.

Nel mese di giugno fu pubblicata col titolo « Sull'elettrodinamica dei corpi in moto » la prima Memoria fondamentale sulla teoria della relatività, quella che istituisce la cosiddetta *teoria particolare o ristretta*. A questa Memoria fece seguito nel mese di settembre una brevissima ma essenziale Nota, dove viene dimostrata l'*equivalenza fra massa ed energia*. E' ormai un luogo comune affermare che tale equivalenza ha condotto alla più grande e terribile scoperta che mai sia stata compiuta, dopo quella del fuoco.

* * *

Galileo aveva enunciato un fondamentale *principio di relatività*: tutte le leggi meccaniche non variano passando da un osservatore ad un altro in moto traslatorio rettilineo uniforme di fronte al primo; e questo principio è pienamente conforme all'esperienza. Era poi naturale tradurre in formule il passaggio da un osservatore all'altro rispettando i seguenti due postulati: i due osservatori possono valersi del medesimo tempo; attribuiscono la medesima misura alla distanza fra due punti. I due postulati esprimono in sostanza i seguenti giudizi: il tempo è assoluto, lo spazio è assoluto; sono cioè entrambi indipendenti dall'osservatore.

Valendosi del principio galileiano di relatività e dei due postulati affermantici che lo spazio e il tempo sono entrambi assoluti, si è costruita la meccanica classica.

Le leggi ottiche ed elettromagnetiche, ottenute attraverso esperienze ben più raffinate di quelle meccaniche, non risultano, a differenza delle leggi meccaniche classiche, invarianti di fronte al passaggio da un osservatore ad un altro in moto traslatorio rettilineo uniforme rispetto al primo, quando tale passaggio venga eseguito riguardando spazio e tempo come assoluti. Tuttavia le esperienze, anche le più precise, mostrano che tale invarianza ha luogo, che vige cioè anche una relatività ottica ed elettromagnetica, e che per di più resta invariata la velocità

della luce, che interviene sia nelle leggi ottiche che in quelle elettromagnetiche.

Alle varie ipotesi particolari escogitate per rimediare a tale disaccordo, Einstein contrappose un rimedio radicale: assumere come dato di fatto incontrovertibile, imposto dall'esperienza, l'invarianza di *tutte* le leggi fisiche, meccaniche, ottiche, elettromagnetiche, di fronte al passaggio da un osservatore ad un altro in reciproco moto traslatorio rettilineo uniforme, soltanto che il passaggio da un osservatore ad un altro non è dedotto dalle due ipotesi che vogliono assoluto lo spazio e assoluto il tempo, ma dalla constatazione *sperimentale* che è la stessa per i due osservatori considerati la propagazione della luce e la sua velocità.

Tutto ciò era perfettamente logico e pienamente consono alle esperienze più raffinate, ma portava a conseguenze cinematiche concettualmente rivoluzionarie per chi era ancorato al senso comune: allo spazio assoluto e al tempo assoluto della cinematica classica, si sostituiva, come unico assoluto, la propagazione della luce; veniva meno il concetto assoluto di contemporaneità fra due eventi in luoghi diversi; le velocità non si componevano secondo la familiare regola del parallelogrammo, e anzi per composizione mai si poteva superare la velocità della luce. Questa velocità veniva così a costituire una velocità limite, e appunto perciò invariabile nel passaggio dal primo osservatore al secondo. Praticamente però, per velocità modeste, l'ordinaria cinematica manteneva la sua validità.

Nella fisica fondata sul principio di relatività (detta « ristretta », perchè si riferisce soltanto al passaggio da un osservatore ad un altro in moto traslatorio rettilineo uniforme rispetto al primo) le leggi ottiche ed elettromagnetiche restano quelle ben note, insite in sostanza nelle equazioni di Maxwell. Ma non così le leggi meccaniche, perchè quelle classiche di Newton, se pur consone al principio di relatività ristretta, presupponevano uno spazio e un tempo assoluti, e non una propagazione assoluta della luce. Le leggi della meccanica relativistica ristretta, ottenute da Einstein, sono quantitativamente pochissimo diverse da quelle classiche newtoniane, quando sono in gioco velocità piccole di fronte a quella enorme della luce, ma non così quando si considerano velocità paragonabili a quella della luce.

Le leggi della meccanica einsteiniana si riassumono, come le leggi della meccanica classica, nel principio newtoniano della quantità di moto, « l'incremento di quantità di moto di un corpuscolo eguaglia l'impulso delle forze », soltanto che la massa, per cui si deve moltiplicare la velocità del corpuscolo per ottenere la quantità di moto, non è

indipendente dalla velocità, come avviene in meccanica classica, ma cresce con questa, tendendo all'infinito quando la velocità del corpuscolo tende alla velocità della luce.

Da questa legge fondamentale della meccanica einsteiniana discende, con un tratto di penna, che l'energia cinetica del corpuscolo eguaglia il prodotto della sua massa (variabile) per il quadrato della velocità della luce, e quindi che tutte le forme di energia possono trasformarsi in massa e la massa in tutte le forme d'energia. Massa ed energia sono concettualmente la stessa cosa: ogni piccola massa rappresenta un'enorme energia, ogni energia possiede una piccola massa.

L'esperienza, che aveva suggerito i postulati della meccanica einsteiniana, e che attraverso le ordinarie osservazioni non poteva decidere nè a suo favore, nè a favore della meccanica classica, doveva nel successivo mezzo secolo decidere a favore della meccanica einsteiniana, quando sono in gioco velocità paragonabili a quella della luce: ne confermò così, senza possibilità d'equivoco, *tutte* le conseguenze, anche le più terribili.

* * *

Dal 1908 la teoria della relatività poté valersi di un'idea geniale suggerita da Minkowski: il fatto che l'unico assoluto cinematico era la propagazione della luce, poteva interpretarsi affermando che, se non erano assoluti separatamente lo spazio e il tempo, lo era invece il loro insieme, il continuo formato da tutti gli eventi elementari, da tutti i movimenti: lo *spazio-tempo*. Esso è un continuo quadridimensionale, perchè ogni evento elementare, che costituisce un suo punto, esige una determinazione spaziale, che impegna tre coordinate, e una temporale. Ad ogni sua linea corrisponde poi il movimento di un corpuscolo. In esso spazio e tempo perdono la loro essenza per fondersi in un tutto unico, ma non per confondersi, perchè sempre una coordinata temporale può distinguersi da una coordinata spaziale.

Per intuire che cosa sia lo spazio-tempo non c'è bisogno di ricorrere a generalizzazioni matematiche dell'ordinario spazio tridimensionale, basta vivere in esso, contemplarvi con semplicità mentale gli infiniti «dove» e gli infiniti «quando», indissolubilmente legati fra loro e a ciò che vi avviene, basta ravvisarvi la naturale sede di tutte le immagini, di tutte le sensazioni, di tutti i fenomeni che la nostra mente neppur può concepire da esso avulsi.

Per sviluppare la teoria della relatività ristretta bastò attribuire

allo spazio-tempo struttura pseudoeuclidea, e in esso trovarono rappresentazione mirabilmente semplice e sintetica tutti gli enti fisici. In un unico ente si fusero tutte le manifestazioni energetiche delle masse in movimento, in un unico ente il campo elettrico e il campo magnetico, in un unico ente le cariche elettriche e le correnti, in un unico ente tutte le molteplici manifestazioni dell'energia elettromagnetica. Questi enti ubbidivano poi a poche leggi che, formulate nello spazio-tempo, risultavano estremamente semplici ed espressive. Tutto ciò non poteva essere dovuto ad un caso estremamente fortunato: indicava che veramente la sede dei fenomeni fisici non era separatamente lo spazio e il tempo, ma l'insieme dei due, lo spazio-tempo.

A questo punto Einstein pensò: se veramente lo spazio-tempo è la sede dei fenomeni fisici, le leggi che li governano debbono risultare invarianti di fronte ad un *generico* cambiamento del riferimento spazio-temporale, e non soltanto di fronte alle trasformazioni, considerate dalla relatività ristretta, che traducono il passaggio da un osservatore ad un altro in moto traslatorio rettilineo uniforme rispetto al primo: se le leggi sono vere per un particolare riferimento, lo debbono pure essere per ogni altro, così da soddisfare a un *principio di relatività generale*.

Istituire la teoria della relatività generale, rendendo quindi inutile, per formulare le leggi, ogni riferimento privilegiato, sempre d'incerta definizione, rendendo quindi inutili, per individuare gli eventi, le misure eseguite con metri e orologi, quali sono richieste dalla relatività ristretta, per sostituirle con semplici *concordanze*, è stato il compito di Einstein fra il 1908 e il 1916. Compito difficile, tanto difficile che financo Planck ne dissuase Einstein, ritenendo che esso esorbitasse dalle umane possibilità. Ma Einstein, con tenacia e potenza di pensiero formidabili, riuscì a superare ogni ostacolo, giungendo a *formulare leggi assolute, senza presupporre alcun riferimento assoluto*.

Gli fu ausilio prezioso il calcolo differenziale assoluto creato da Gregorio Ricci Curbastro e dal suo grande discepolo, Tullio Levi-Civita, perchè questo algoritmo permette di formulare le leggi fisiche in modo che esse mantengano la loro validità qualunque sia il riferimento, e costituisce perciò lo strumento principe della teoria della relatività.

Il Ricci chiamava il suo calcolo «Calcolo differenziale assoluto», e non è affatto contraddittorio che l'algoritmo di cui si vale la teoria della relatività sia detto «assoluto». «Relatività», perchè nella formulazione delle leggi ci si vale soltanto di parametri relativi ad un osservatore generico; «assoluto», perchè queste leggi sono vere per ogni osservatore, e quindi — come leggi — sono assolute.

* * *

Nello spazio-tempo *l'inerzia* trova un'interpretazione geometrica molto persuasiva.

In assenza d'ogni azione fisica, il movimento di un corpuscolo è dato semplicemente da una retta dello spazio-tempo pseudoeuclideo. Questo elemento geometrico non dipende affatto dal riferimento. E' sempre possibile scegliere un riferimento, detto «inerziale», per cui a questa retta corrisponde un moto rettilineo uniforme, ma non così in un generico altro riferimento. Rispetto ad un riferimento non inerziale si manifestano le varie forze di trascinamento, centrifughe, centrifughe composte, ecc., che ben conosce chi viene sballottato da un veicolo in corsa. Orbene, queste forze trovano anch'esse semplice e sorprendente interpretazione geometrica in certi coefficienti, dipendenti dal riferimento, che permettono di collegare gli intorni contigui di due eventi.

Così tutte le nebbie che da Leonardo in poi s'erano addensate attorno all'inerzia e al riferimento inerziale (il famoso corpo «alfa» dei nostri nonni) venivano improvvisamente dissipate.

Altri fatti imprevedibili venivano però scoperti: rispetto ad un osservatore non inerziale, a differenza di quel che avviene per un osservatore inerziale, lo spazio geometrico tridimensionale non si presenta come euclideo, ma risulta curvo; la velocità della luce non risulta costante, ma genericamente variabile da posto a posto e da istante ad istante.

* * *

A questo punto si inserisce un concetto profondo, che Einstein andava maturando nel suo spirito sin dall'adolescenza.

Il peso, rispetto a chi precipita quale grave in libera caduta, vien meno, perchè l'equilibra la forza d'inerzia. Allora, ne inferisce genialmente Einstein, come mi è stato possibile spiegare in termini geometrici l'inerzia, mi sarà nel medesimo modo possibile dare una spiegazione del misterioso fenomeno della *gravitazione*.

Lo spazio-tempo capace di spiegare con la sua geometria generici fenomeni gravitazionali è però *curvo*; ed esso è incurvato proprio dalle masse e dalle energie che esercitano così la loro azione gravitazionale. In tal modo si viene a creare una seducente *solidarietà* fra spazio-tempo e fenomeni che in esso si svolgono.

Una analoga solidarietà, limitata però soltanto allo spazio geome-

trico, era stata vagamente intuita da Clifford e da Riemann, e precisata in modo formale, negli sviluppi successivi della meccanica analitica di Lagrange, da Jacobi per dare un'interpretazione geometrica al principio della minima azione.

Ecco in che senso la teoria einsteiniana *spiega* i fenomeni gravitazionali.

Il sole con la sua massa incurva lo spazio-tempo, così come fa della superficie dell'acqua stagnante una bolla d'aria quando vi affiora. Il moto per inerzia di un corpuscolo, la terra ad esempio, che sarebbe dato da una retta dello spazio-tempo, se questo non fosse incurvato dal sole, è dato da una «geodetica» dello spazio-tempo, da una linea cioè che, pur non essendo una retta, funge da retta nello spazio-tempo curvo. Corrispondentemente il moto della terra in presenza del sole è moto di rivoluzione attorno al sole stesso.

Ma come precisare la solidarietà fra fenomeni e curvatura dello spazio-tempo? Tale solidarietà si precisa attraverso le celebri *equazioni gravitazionali*. Niente credo aiuti di più a penetrare nel pensiero di Einstein, se non enunciare il semplice principio dal quale egli le trasse: in presenza di masse, ma esternamente ad esse, lo spazio-tempo è sì curvo, ma in media lo è il meno possibile.

Nella teoria einsteiniana inerzia e gravitazione si fondono mirabilmente, e tutte le quantità fisiche ad esse attinenti trovano semplice ed espressiva interpretazione geometrica; tutte le leggi fisiche che vi si riferiscono si riducono poi ad identità geometriche. Così le forze gravitazionali ed inerziali vengono rappresentate dai coefficienti di collegamento fra gli intorni contigui di due eventi; così tutti i campi potenziali si riassumono nell'unico campo che dà tutta la geometria dello spazio-tempo; così tutte le energie s'interpretano come curvature. Brevemente: *inerzia e gravitazione s'immedesimano nella geometria dello spazio-tempo*.

La teoria della relatività generale fa capo ad uno spazio-tempo curvo, che geometricamente rientra negli spazi studiati da Riemann. Esso comporta naturalmente la non euclideanità dello spazio geometrico tridimensionale e la variabilità della velocità della luce, rispetto ad un generico osservatore.

La teoria relativistica della gravitazione spiegò lo spostarsi del perielio dei pianeti, tanto più sensibile quanto più intenso è il campo gravitazionale, fatto questo per il quale la teoria newtoniana non aveva saputo trovare giustificazione adeguata. Previde altresì lo spostarsi

verso il rosso delle righe spettrali per azione di forti campi gravitazionali, nonchè la deflessione dei raggi luminosi che passano in prossimità di masse materiali.

Entrambe queste previsioni furono confermate da successive osservazioni astronomiche, e la conferma della seconda previsione avvenne la prima volta in occasione dell'eclisse solare del 1919. L'impressione destata, quando Lord Rayleigh l'annunciò in una Seduta della Royal Society di Londra, fu enorme e la fama di Einstein andò ben al di là del ristretto ambito scientifico.

* * *

Nel 1917 Einstein affrontò un problema seducente: il problema di determinare la *geometria media di tutto lo spazio-tempo*, quando si supponga che in esso la massa e l'energia vi siano uniformemente e isotropicamente distribuite. Egli ottenne una soluzione stazionaria delle sue equazioni gravitazionali, nella quale esiste un riferimento per cui vi è indipendenza dal tempo, mentre la velocità della luce risulta invariabile. Lo spazio geometrico dell'universo ha allora curvatura costante positiva e risulta quindi finito, ma illimitato, proprio come avviene nell'ambito degli spazi bidimensionali (invece che tridimensionali) per la superficie di una sfera.

Gli studi in questo indirizzo proseguirono verso soluzioni non stazionarie, nelle quali l'universo si espande continuamente, a partire da un remoto istante iniziale, nel quale tutta la materia e tutta l'energia dovevano essere concentrate in una esigua regione. In un *universo in espansione* le luci provenienti dalle lontane nebulose extragalattiche debbono arrossarsi durante il loro lungo cammino, e tanto maggiore è lo spostamento verso il rosso delle righe spettrali, quanto maggiore è la distanza da noi delle nebulose da cui provengono. Questo spostamento verso il rosso è veramente conforme all'osservazione astronomica, e costituisce il cosiddetto « effetto Hubble ».

* * *

Nello spazio-tempo curvo (« *riemanniano* »), che costituisce, secondo la teoria della relatività, il modello geometrico dei fenomeni gravitazionali, i fenomeni elettromagnetici ben s'inquadrano, perchè qui essi trovano semplice ed adeguata rappresentazione, perchè semplici ed espressive risultano le leggi che li governano e perchè queste leggi

soddisfano al principio di relatività generale. Tuttavia questi fenomeni non trovano una spiegazione di carattere geometrico, perchè lo spazio-tempo riemanniano ha tutta la sua geometria impegnata a spiegare la gravitazione.

Appena completata la teoria della gravitazione, Einstein pose questa domanda: è possibile fare dello spazio-tempo un modello atto a spiegare sia i fenomeni gravitazionali che quelli elettromagnetici, e cioè, in sostanza, tutti i fenomeni fisici attualmente noti nel macrocosmo? E' possibile costruire una *teoria relativistica unitaria* che soddisfi al nostro spirito anelante all'unità?

Sì, ciò è possibile, ma valendosi di un continuo quadridimensionale *non riemanniano*, come quello del primo tentativo di Weyl, risalente al 1919, oppure valendosi di uno spazio riemanniano pentadimensionale, come nella teoria di Kaluza del 1921.

Einstein dedicò a questo affascinante, ma difficilissimo problema, che finora ha affaticato le menti di varie decine di studiosi, gli ultimi 35 anni della sua vita. Dopo molteplici tentativi, entusiasmi, abbandoni, riprese, pervenne nel 1953 alla sua ultima soluzione del problema; ma certamente, alla vigilia della morte, il problema unitario l'assillava ancora.

Nell'ultima teoria unitaria einsteiniana lo spazio-tempo è un continuo quadridimensionale non riemanniano, perchè i coefficienti che danno la connessione fra gli intorno contigui di due eventi non sono quelli di uno spazio riemanniano, e però questo continuo gode di tutte le proprietà essenziali di cui gode uno spazio riemanniano, meno una: tutta la sua geometria è data come negli spazi di Riemann da un *unico campo*, e però, mentre negli spazi di Riemann questo campo gode di una particolare simmetria, tale simmetria viene meno per il continuo considerato. Conseguentemente esso, oltre a incurvarsi, si torce, ma s'incurva e si torce, in media, meno che può.

Le equazioni a cui ubbidisce l'unico campo che riassume in sé tutta la fisica e tutta la geometria dello spazio-tempo sono tratte dal semplicissimo principio che ho enunciato, e generalizzano le equazioni della teoria semplicemente gravitazionale.

Soltanto scrivendole, analizzandole, interpretandole potrei farvi intuire la grandiosità e la profondità di questa estrema sintesi einsteiniana, e forse potreste risalire da esse alla gigantesca personalità del loro autore, al palpito del suo cuore, all'ansito della sua umana fatica, al tormento che mai gli diede pace.

Quale previsione di *nuovi fatti* accertabili sperimentalmente ci è venuta dalla recente teoria unitaria einsteiniana? Nulla finora, perchè questi fatti nuovi non possono riguardare che i legami fra elettricità e gravitazione, e tali legami sono molto deboli e reconditi, e difficilissimi quindi da porre in evidenza in modo accessibile al controllo sperimentale.

Ma non è soltanto qui che va ricercato il valore della teoria unitaria. Il suo valore e il suo significato sono di carattere essenzialmente speculativo e, perchè no, estetico. Molto avrà dato l'ultima sintesi einsteiniana se essa ci permetterà un giorno di comprendere il misterioso legame che *deve* intercedere fra gravitazione ed elettricità. Molto avrà dato se ci rivelerà la più profonda essenza del *macrocosmo* sintetizzato in un unico modello geometrico.

* * *

Il suo autore ha scritto però che da una teoria unitaria veramente adeguata debbono potersi trarre anche tutte le leggi del *microcosmo*, anche quindi le leggi che implicano la quantizzazione dell'energia e dell'azione.

E' ciò possibile senza invocare il carattere statistico recentemente assunto dalla teoria dei quanta, senza far capo ad un essenziale principio d'indeterminazione? La maggior parte dei fisici teorici contemporanei pensa di no, ma non così Einstein, che scrisse: «Mi rifiuto di credere che Iddio giochi ai dadi con l'universo».

La personale influenza di Einstein nello sviluppo della teoria dei quanta è stata in questi ultimi anni quasi nulla, benchè a questa teoria egli abbia recato in passato contributi numerosi, taluni dei quali hanno importanza fondamentale: a lui si deve infatti, oltre alla teoria dei quanta di luce e dell'effetto fotoelettrico, la statistica delle monadi di radiazione (la statistica di Bose-Einstein), la teoria quantistica del calore specifico, ecc.; senza pensare poi all'indiretta, ma dominante, influenza che la teoria della relatività ebbe sulla meccanica ondulatoria, quando Dirac la rese consona ai principi relativistici.

Ma non era soltanto per avversione alle concezioni probabilistiche che Einstein si rifiutò di seguire i fisici teorici, quando essi, sotto l'assillo di spiegare sempre nuovi fatti sperimentali, formulavano ipotesi contingenti, suggerite dall'esperienza e dalla fantasia, le elaboravano matematicamente e ne riproponevano le conseguenze all'esperienza. Questo indirizzo era troppo lontano dal suo spirito, troppo lontano

dalla sua concezione unitaria e quasi mistica del mondo. Egli non abbandonava la via seguita dai più per paura di trarre le estreme conseguenze della rivoluzione quantica che egli stesso aveva contribuito a scatenare; e neppure l'abbandonava per paura di far crollare idee radicate da millenni nella mente umana, perchè egli ben aveva avuto il coraggio di sottoporre a critica implacabile i concetti fondamentali di spazio e di tempo, perchè egli aveva fatto della quantizzazione un fatto universale, perchè la sua opera aveva (a ragione o a torto) segnato lo inizio del neopositivismo.

Egli non poteva seguire il moderno indirizzo dei fisici atomici teorici, perchè egli amava la *legge*, più che i fatti, perchè egli era essenzialmente un fisico matematico, un filosofo che voleva dedurre le apparenze del mondo fisico da pochi principi, magari da uno solo; un fisico matematico con una personalità originalissima, senza precedenti, formidabile, ma spiritualmente consona a quella di Newton, colui che istituì la meccanica classica e la teoria dell'attrazione universale, a quella di Lagrange, colui che trasse tutte le leggi dell'equilibrio e del movimento da un unico principio, il principio dei lavori virtuali, a quella di Maxwell, colui che espresse in sintesi l'essenza fenomenologica del campo elettromagnetico e della luce. A lui giungeva ancora la estrema eco del mito pitagorico, a lui che cercava nella geometria l'essenza del mondo fisico, perchè, come Platone, era convinto che *sempre Iddio geometrizza: Θεός δὲ γεωμετρεῖ*.

* * *

Il 18 aprile di quest'anno si concluse la sua vita terrena. Vita di meditazioni geniali e profonde, ma anche di duro, indefesso lavoro: ci restano infatti di lui ben 350 pubblicazioni scientifiche, ed altre 150 pubblicazioni di varia natura.

L'improvvisa notizia della sua scomparsa corse per tutto il mondo e lasciò gli uomini attoniti. Essi intuivano che cosa avevano perduto e ponevano il suo spirito accanto a quello dei grandi che l'avevano preceduto nel cammino della scienza: Galileo, Newton, Maxwell.

Essi intuivano che l'opera di Alberto Einstein esaltava lo spirito di tutti loro, perchè, se pur grandissima, aveva nel modo più evidente le caratteristiche salienti delle opere umane.

Le teorie einsteiniane sono chiaramente costruzioni del nostro pensiero, della nostra logica, della nostra matematica, e nel nostro pensiero e per il nostro pensiero hanno significato. Il loro valore sta soltanto in piccola parte nei nuovi fatti che esse hanno permesso di

prevedere; sta invece in gran parte nella loro generalità, nell'armonia che vi domina, nell'estrema semplicità e profondità dei concetti a cui s'informano.

Esse non rappresentano affatto verità eterne, e neppure un affastellamento di fatti incontrovertibili, ma soltanto quanto di meglio è stato escogitato da un uomo per aiutare i suoi simili a non smarrirsi nella contemplazione degli innumerevoli differenti fatti fisici. Domani altre teorie (e saranno le benvenute!) sostituiranno le teorie einsteiniane, così come queste hanno sostituito le teorie newtoniane. Soltanto se le varie teorie convergessero verso una teoria «limite», questa forse potrebbe dirsi «vera». Ma la storia della scienza non mostra che di tale convergenza vi sia traccia.

Le teorie fisiche, come i sistemi filosofici, nascono, si evolvono, muoiono; palpitano di vita come il cuore degli uomini, come le loro opere d'arte.

Il valore delle teorie einsteiniane è essenzialmente di carattere logico, filosofico, estetico; sta nell'anelito che mosse il loro autore verso l'assoluto, l'universale, l'unitario. Fu l'anelito verso l'unità che spinse Einstein, nella relatività ristretta, a dare i medesimi caratteri alle leggi meccaniche e a quelle elettromagnetiche; e da tale unificazione sgorgò l'equivalenza fra massa ed energia. Fu l'anelito verso l'universale che lo portò ai quanti di luce. Fu l'inesausta sete d'unità a spingerlo, anche nei suoi tardi anni, alla ricerca di un unico campo che riassumesse spazio, tempo, inerzia, gravitazione, elettricità.

L'importanza dell'opera di Alberto Einstein sta soprattutto nella influenza dominante che essa ha avuto per mezzo secolo su di noi suoi contemporanei e che si prolungherà certamente per molto tempo ancora. E' l'influenza umana che i grandi del pensiero esercitano sugli altri uomini, è l'influenza che anche in passato hanno esercitato i grandi artisti, i grandi filosofi, i grandi scienziati. E' l'influenza che inconsciamente subiscono anche coloro che non sanno, e che forse vale a giustificare il larghissimo diffondersi della fama di Einstein.

L'influenza che Einstein ha esercitato su di noi, più che nel contenuto specifico delle sue teorie, più che nei fatti, anche grandiosi, che ne sono discesi, sta nell'averci egli dato un nuovo modo di analizzare i concetti della scienza, un coraggio ed una libertà di critica che prima di lui non avevamo, nell'averci dato una nuova visione del mondo fisico, nell'aver trasfuso in noi, con le sue sintesi sempre più ampie, il senso di profonda religiosità con la quale egli contemplava la divina armonia presente in ogni fenomeno e in ogni legge.