



PONTIFICIA
ACADEMIA
SCIENTIARVM

COMMENTARII

VOL. III

N. 32

NICOLA DALLAPORTA

ALCUNE NOTE DI COSMOLOGIA

EX AEDIBVS ACADEMICIS IN CIVITATE VATICANA

1990

ALCUNE NOTE DI COSMOLOGIA

NICOLA DALLAPORTA

SOMMARIO

Dopo un'introduzione che delinea lo scopo del lavoro, viene presentata una breve sintesi del quadro in cui oggi si prospetta la cosmologia, coll'intento specifico di porre in risalto i vari livelli di attendibilità o di ipoteticità delle diverse parti del quadro stesso. Lo schema del Big Bang, ovvero dell'espansione dell'universo a partire da un punto singolare, situato a circa quindici miliardi di anni addietro, basato su tre evidenze sperimentali: a) lo spostamento verso il rosso delle righe negli spettri delle galassie, proporzionale alla loro distanza; b) la presenza della radiazione « fossile » di corpo nero a 3 gradi assoluti di temperatura; c) l'abbondanza cosmica dell'elio, può considerarsi come estremamente plausibile, nell'intervallo di tempo che corre tra pochi secondi dopo l'istante di origine fino al giorno d'oggi.

Molto dubbie invece sono certe estrapolazioni di tale modello oltre a tale intervallo di tempo. Per quanto riguarda il futuro, mancano tuttora dati attendibili per decidere se l'espansione proseguirà per sempre, o se il cosmo, dopo aver raggiunto un'espansione massima, comincerà a rinchiudersi per nuovamente convergere verso un punto singolare. Nulla esclude però

che i dati mancanti si possano ricavare nel futuro, consentendo di precisare a quale dei due modelli dovremo fare riferimento. Invece, la stragrande maggioranza dei prolungamenti del quadro del Big Bang verso l'istante d'origine sono fondati su estrapolazioni di leggi fisiche oggi note, al di fuori dei campi in cui sono sperimentalmente accertate, essenzialmente in base a presupposti non scientifici, ma « ideologici », polarizzati sull'intento di attribuire un'origine « casuale » all'universo; ed ai quali ci si deve ben guardare dal prestar fede se non come ad immagini fantasiose, in quanto del tutto privi di vera obbiettività scientifica.

A conclusione dell'esposto, viene offerta una breve presentazione del Principio Antropico, il quale, qualora venisse rinforzato da sempre nuovi casi illustrativi che sembrino convalidarlo, potrà costituire il punto di partenza d'una prospettiva in grado d'integrare, come visione ad essa complementare, la corrente impostazione scientifica.

PREMESSA

Al giorno d'oggi, si può facilmente constatare come un numero di congressi e simposii, con frequenza sempre crescente, vengano dedicati a temi che tentino di porre in relazione, da un lato, fisica, cosmologia, o scienza in genere, con dall'altro, filosofia, teologia, e in senso lato metafisica. Se si pensa che, salvo rare eccezioni, questi due campi del sapere si sono sviluppati non solo indipendentemente, ma con totale distacco l'uno dall'altro, e spesso con non celata ostilità reciproca, si deve, in linea generale, non solo rallegrarsi di questi vari tentativi di comparazione, ma considerarli come sintomi di una necessità, sempre maggiormente sentita, di non volere confinare la mente umana entro una singola dimensione, e di provare a vedere se, e fino a che punto, le sue diverse aperture siano tra loro coordinabili.

Ora, quando si legge i resoconti di tali incontri, non si

può non rendersi conto come, malgrado l'encomiabilità della motivazione di fondo, espressa generalmente nella prefazione, i risultati del convegno siano ben lungi dall'avviare un ravvicinamento reale tra le due sponde: scienziati da un lato, filosofi e teologi dall'altro, continuano a servirsi di due linguaggi diversi, ognuno fisso nella propria ottica, senza che generalmente si riscontri un tentativo serio di realizzare quanto possa significare la visione dall'altra sponda rispetto a quella dalla propria.

C'è nondimeno una notevole dissimetria, tra i due gruppi che si confrontano, circa la forza persuasiva del proprio punto di vista: nel mentre gli scienziati, sulla base del grande successo degli sviluppi scientifici, non mostrano dubbi circa la superiorità della scienza rispetto ad ogni altra forma di conoscenza, filosofi e teologi, impressionati da questi stessi successi, appaiono generalmente come deboli difensori delle Verità basilari nei propri campi di lavoro. Ed è tale eccessiva sicurezza ed autosufficienza degli uni, ed il penoso senso d'inferiorità degli altri, che dà, al lettore degli Atti di tali convegni, l'esatta sensazione d'un puro adeguamento delle due parti all'atmosfera dominante del tempo, senza che la natura vera del problema del rapporto concettuale tra la scienza da un lato e la teologia dall'altro sia stato nemmeno sfiorato.

Ora, l'essenza d'un tale rapporto, ben lungi dal costituire un punto di vista incognito, che ci si deve sforzare pensosamente d'interpretare attraverso sfoggi di erudizione e metodi di analisi complicati, giace alla base, come elemento fondamentale costitutivo, di quella modalità di pensiero che va sotto il nome generico di metafisica o *philosophia perennis*, e che, anche per quelli che non lo sanno, costituisce il riferimento base su cui poggiare, quando ci si voglia fare un'idea reale e relativamente completa del cosmo, e non accontentarsi di una sua deformazione unilaterale. Essa consta del fatto che l'essere di qualunque oggetto, o corpo, o organismo vivente, può essere sempre considerato sotto due punti di vista complementari ma non riducibili l'uno all'altro, che Aristotele

chiamava « ule » ed « ousia », gli scolastici medievali « materia » e « forma », e che qui, dato che questi termini sono poi stati usati con accezioni molto diverse, renderemo con « sostanza » ed « essenza »; essendo la sostanza il substrato passivo, che giace alla base di tutte le formazioni nell'universo, come, in una statua, il marmo nel quale è scolpita; l'essenza invece è l'« idea », o il « progetto », che plasma e differenzia i vari oggetti, o corpi, od organismi viventi l'uno dall'altro, dando ad ognuno di essi una forma determinata, com'è la figura che lo scultore ha voluto estrarre dal marmo. Ne segue che la presa di conoscenza d'una qualunque entità del mondo può essere sempre affrontata sotto questi due punti di vista: quello sostanziale, che tende a collegare le varie cose che stanno su di uno stesso piano, com'è quello corporeo, tentando di porre tra loro relazioni da causa ad effetto, e che pertanto agisce in senso « orizzontale »; e questo costituisce tipicamente il procedimento della conoscenza scientifica; ed il punto di vista essenziale, il quale, al contrario, mette in contatto elementi del cosmo giacenti su piani diversi, e pertanto permette di risalire, in senso « verticale », dal primo livello corporeo, ed attraverso quelli psichico e spirituale, fino al Principio Supremo, da cui tutto è coordinato; e questo tipo di conoscenza si realizza attraverso la percezione della bellezza, che discende come un riflesso dall'alto giù sul dominio dei corpi; e di tutte le specie di « valori etici », che si manifestano nel dominio psichico come riflessi delle divine Qualità inerenti alla natura del Supremo Principio stesso. Da ciò segue immediatamente che una visione del mondo deve valersi di questi due tipi di conoscenza, ortogonali l'uno all'altro, ma indispensabili ambedue per renderla veramente completa.

Ora, nel mentre nel corso dello sviluppo normale della cultura di un mondo, qual'era la Cristianità medievale, pervaso basilamente da una visione di tipo essenziale dell'universo, che tutto riconduceva a Dio, ci si sarebbe dovuti attendere, coll'insorgenza delle scienze, ad un costituirsi graduale d'una visione sostanziale che fungesse da complemento ed in-

tegrazione del quadro preesistente, per una serie di motivi d'incomprensione, in parte anche traumatici, di cui il processo a Galileo costituisce il più noto esempio, uno sviluppo della scienza, in modo del tutto anomalo, o addirittura patologico, ha voluto erigersi contro il quadro essenziale del cosmo, fino a volerlo interamente sostituire, addirittura eliminandolo, in certe fasi acute di contrasto. Ed è solo da tale anomalia che una visione così riduttiva per l'uomo qual'è la visione scienziata del mondo ha trovato il modo d'imporsi, e di portare a quella completa dicotomia tra scienza da un lato e teologia dall'altro, che, come è stato prima ricordato, non viene superata dagli incontri tra i competenti nei due domini, in quanto la relazione ora discussa tra conoscenze sostanziale ed essenziale non è generalmente capita nè sospettata.

A parere dello scrivente, è questa dicotomia che costituisce la causa fondamentale, talvolta prossima, talvolta remota, dei tanti squilibri, incertezze, insicurezze, e veri e propri pericoli, cui corre incontro il mondo d'oggi: in esso, l'uomo è carente d'una visione ampia e completa dell'universo, che gli consenta di dare a Cesare quel ch'è di Cesare, e a Dio quel ch'è di Dio; e non v'è compito di maggiore urgenza che cercare di parare in tutti i modi possibili a tale deficienza basilare.

Ora, tra le diverse vie che si presentano in vista di tale fine, ve n'è una, che qui prendiamo di mira, la quale deriva dagli sviluppi della scienza stessa, e che, nei decenni di questo secolo, ha fatto molta strada da quando, alla fine dell'Ottocento, ci si compiaceva della visione scienziata del mondo. E al giorno d'oggi, l'insufficienza dello scientismo, onde spiegare, sia ciò che l'esperienza ci presenta, sia l'incidenza di limiti sempre più chiari tra quanto la scienza è in grado di spiegare e ciò che dall'ambito suo fuoriesce, — lasciando larghi margini d'ignoto che solo altre modalità di pensiero sono in grado di diminuire —, si sta delineando praticamente in tutti i campi dello sviluppo scientifico. Questo, però, non viene generalmente marcato nell'ambito della divulgazione, tanto sul-

la stampa ed in televisione quanto sui libri di scuola. Tutto è generalmente presentato sullo stesso piano, che si tratti di dati sperimentali accertati, o delle ipotesi più strampalate, alle quali spesso gli stessi scienziati che le prospettano sono ben lungi dal credere. Pertanto, la prima mossa indispensabile per poter rendere evidente anche al grande pubblico le limitazioni della visione scientifica, — il che apre così la porta alla necessità d'una visione complementare, metafisica tanto per dire —, consisterà nel presentare i molti quadri dei rami diversi della scienza, mettendo chiaramente in luce i vari livelli di attendibilità dei risultati, in base ai quali ognuno dei quadri stessi si costruisce, ciò che generalmente ad esso conferirà sfumature tali da gradualmente stemperarlo, partendo da punti di base di quasi certezza, in una totale ipoteticità.

Un ramo dello scibile, che forse meglio d'altri si può prestare ad illustrare tale programma generale, si può riscontrare indubbiamente nella cosmologia, i cui recenti e clamorosi sviluppi stanno diffondendo ad ogni livello di ricettività un panorama dell'universo che, nelle sue forme più spinte, mira ad autoaffermarsi come onniinclusivo, e viene sintetizzato col nome di Big Bang. Esso di fatto si offre come esemplarmente adatto a porre in luce le due tappe d'integrazione già ricordate, atte a ricavare, dalla sua concezione comune, genericamente scienziata, un ché di molto più rispondente alle nostre effettive capacità di presa di conoscenza del cosmo, ed alla possibilità di doppiare la sua formulazione di tipo sostanziale con un risvolto essenziale che ne potenzi la ricchezza concettuale, in quanto fornisce un primo e ben chiaro esempio, in cui scienza da un lato ed incidenze metafisiche dall'altro, appaiono come due punti di vista complementari, focalizzanti, sotto prospettive diverse, una medesima realtà. La principale delle due tappe, in base a quanto s'è detto, consisterà nell'accuratamente graduare, nel panorama al giorno d'oggi presentato come cosmologia, i diversi livelli di certezza o d'ipoteticità cui corrispondono le varie porzioni che lo costituiscono; nel mentre la tappa finale si compendierà nel porlo

a confronto, così ridimensionato, con quell'insieme di constatazioni che vanno sotto il nome di « Principio Antropico », il cui significato ed importanza, in vista d'un allargamento concettuale di prospettiva, apparirà dal confronto stesso.

BIG BANG (A vari livelli di attendibilità)

Sebbene vi siano diverse eccellenti presentazioni del quadro dell'attuale cosmologia, non è generalmente molto agevole ricavare da queste un panorama nel quale siano posti in evidenza, secondo quanto accennato nell'Introduzione, i vari gradi di approssimazione conoscitivi, che contrassegnano le varie parti del detto panorama complessivo. Ciò, per una parte, è dovuto al fatto che gli specialisti della materia sono talmente abituati, tra loro, a questi diversi livelli di sicurezza relativi alle varie parti del campo che stanno trattando, da indurli quasi sempre ad omettere di marcarli in modo esplicito; e, da un'altra parte, all'alto grado di entusiasmo per il loro lavoro che li porta a dimenticarne l'ipoteticità intrinseca. Al contrario, il presente compendio si pone come proposito di nettamente sottolineare questi diversi gradi di attendibilità del quadro cosmologico in voga ai giorni nostri.

Tale quadro, accettato da oltre il 90% dei fisici, è quello del Big Bang, ovvero dell'espansione dell'universo a partire da una singolarità iniziale che viene considerata come segnante l'origine del tempo. Vi sono essenzialmente tre dati osservativi che ne costituiscono un validissimo sostegno:

1) Il primo è la cosiddetta legge di Hubble del 1929: le righe di assorbimento negli spettri ottici delle galassie sono sistematicamente spostate verso il rosso, — cioè verso frequenze minori rispetto ai loro valori di laboratorio —, d'una entità proporzionale alla distanza stessa della galassia di cui si esamina lo spettro. A sua volta, questa distanza è misurata in modo indipendente mediante i cosiddetti indicatori di di-

stanza, che fungono da candele campione situate nello spazio, e di cui il più noto è costituito dalle stelle Cefeidi, le quali sono stelle pulsanti, con luce variabile in funzione della pulsazione. Sulle Cefeidi vicine, la cui distanza è stata misurata con metodi trigonometrici, è stato scoperto che il periodo di pulsazione cresce in funzione della luminosità intrinseca della stella secondo una legge empiricamente stabilita. Basta allora scorgere una Cefeide in una galassia lontana e misurarne il periodo; dal periodo, in base alla legge empirica scoperta, si deduce la luminosità intrinseca; e questa, divisa per la luminosità apparente misurata con un fotometro, fornisce, applicando le leggi della fotometria, il valore del quadrato della distanza della stella, e quindi della galassia. Le Cefeidi sono utilizzabili per determinare distanze fino a diversi milioni di anni luce; per distanze superiori, fino ai miliardi di anni luce, che costituiscono le zone più remote fino alle quali può oggi spingersi la nostra indagine, possono venire usati indicatori più potenti, basati sullo stesso principio.

In quanto allo spostamento delle righe spettrali verso il rosso, — ovvero red-shift —, ci sono solo due fenomeni a noi noti che lo possono spiegare: A) il red-shift gravitazionale, dovuto alla presenza di campi gravitazionali molto intensi intorno alla sorgente emettente lo spettro; ora campi gravitazionali intensi possono generarsi solo intorno ad oggetti di cui la densità media di materia sia molto elevata; ciò non avviene per le galassie, nelle quali la materia è in media estremamente diluita; e questo permette di escludere il red-shift gravitazionale quale spiegazione di quanto viene osservato per le galassie; B) l'effetto Doppler, cioè il fatto che, quando una sorgente di luce si allontana da noi, le sue righe sono spostate verso il rosso d'un'entità proporzionale alla velocità di allontanamento. Interpretando allora in questo senso il red-shift delle galassie, si deve concludere che queste si allontanano da noi con velocità proporzionali alla loro distanza; il che, nell'insieme conduce ad un quadro in cui tutte le distanze si vanno dilatando secondo lo stesso fattore, detto para-

metro di espansione. La proporzionalità tra la velocità v di allontanamento e la distanza D viene allora espressa dalla legge di Hubble: $v = HD$, dove H è detta la costante di Hubble, ed è ancora al giorno d'oggi valutata con una notevole incertezza. Comunque, il suo valore più probabile è tale che, immaginando di poter tornare indietro nel tempo, e supponendo che le galassie siano state anche nel passato dotate dello stesso moto, si può concludere, in base agli attuali valori delle velocità di espansione, che circa 15 miliardi di anni addietro tutta la materia e tutta l'energia del cosmo fossero contenute in un volume piccolissimo, con una elevatissima densità, il quale, da quel primo istante, altro non ha fatto che espandersi.

Alcuni rari fisici hanno ipotizzato che il red-shift delle galassie potesse essere dovuto ad un fenomeno incognito, non misurabile in laboratorio perché rivelabile solo su distanze enormi: ipotesi di una luce che « si stanca » col camminare, e cioè va gradualmente perdendo energia, e, in quanto l'energia è proporzionale alla frequenza della luce, diventa sempre più rossa tanto più lungo è il percorso. Se tale fosse il caso, non sarebbe naturalmente necessario pensare ad una espansione del cosmo. Tale idea non viene accettata dalla stragrande maggioranza dei fisici per tre motivi essenziali: *a)* perché le leggi dell'elettromagnetismo, che costituiscono uno dei capisaldi della fisica e sono verificate colla maggiore esattezza sarebbero alterate da un tale fenomeno; *b)* perché non piace in genere inventare una legge « ad hoc » per spiegare un fatto, quando di questo esistono già spiegazioni in base a leggi note, com'è l'effetto Doppler; *c)* perché in un universo senza espansione sarebbe molto difficile spiegare gli altri due dati osservativi di cui si è parlato prima e che ora esporremo;

2) Il secondo di tali dati di base per il modello del Big Bang è costituito dalla scoperta, nel 1965, della cosiddetta radiazione « fossile » di corpo nero: da tutte le direzioni dello spazio che ci circonda proviene una radiazione il cui spettro continuo, con un'intensità che varia a forma di campana al

crescere della frequenza della luce, è caratteristico per ogni radiazione emessa da un corpo in equilibrio termico ad una data temperatura; la posizione del massimo della campana, che si sposta verso frequenze minori al calare della temperatura, permette di dedurre tale temperatura che nel caso considerato è di 3 gradi assoluti (-270 sotto zero). L'unica ipotesi ragionevole per spiegare la presenza di tale radiazione in tutto lo spazio sta nel considerarla come un residuo, una specie di « fossile », di una situazione fisica esistente in un lontanissimo passato, quando l'universo era ancora molto concentrato ed in perfetto equilibrio termico, — ciò che oggi naturalmente non è più, poichè contiene stelle caldissime e spazi vuoti freddissimi —. Questa ipotesi, le cui conseguenze vengono puntualmente giustificate, permette di dedurre che in quel lontano passato l'universo, oltre che molto denso, era anche molto caldo, con densità e temperature crescenti coll'andare indietro nel tempo, e tendenti a valori infinitamente grandi avvicinandosi all'istante zero. Coll'espansione, la radiazione di quel tempo, da molti miliardi di gradi, si è raffreddata fino ai 3 gradi assoluti che oggi misuriamo; e nel contempo, e in modo indipendente, la materia si è diluita, e poi condensata in protogalassie per effetto della gravità, dalle quali si sono originate le galassie, e in queste le stelle, coi loro pianeti, come oggi noi vediamo. Nessun modello diverso da quello del Big Bang riuscirebbe a spiegare in modo altrettanto semplice e naturale la presenza nel cosmo di questa radiazione fossile;

3) il terzo dato basilare osservativo riguarda l'abbondanza degli elementi del cosmo, che oggi si presenta sperimentalmente nelle seguenti proporzioni: idrogeno $\sim 72\%$, elio $\sim 25\%$, tutti gli altri elementi $\sim 3\%$. In linea generale, si sarebbe indotti a pensare, per spiegare tali abbondanze osservate, che, non appena la temperatura del cosmo è calata a sufficienza, — a circa ~ 4000 gradi, — i protoni e gli elettroni, fino a quel momento liberi, e cioè con un'energia cinetica troppo grande per potersi legare, hanno potuto combinarsi

insieme per formare atomi di idrogeno, il più semplice degli elementi. Molto più tardi, quando già le stelle si sono formate, tutto lascia ritenere che nelle zone centrali di tali stelle la temperatura fosse e sia sufficientemente alta, — da qualche decine di milioni di gradi in su —, da consentire la nucleosintesi, — e cioè la produzione di reazioni nucleari, — come in un reattore che sintetizzi elementi leggeri in elementi più pesanti a partire dall'idrogeno —, di tutti gli altri elementi, in una successione di reazioni che sappiamo prevedere ed interpretare in base alle nostre esperienze di laboratorio, e che ci consentono inoltre di calcolare le percentuali in cui tutti gli elementi vengono formati. L'accordo risulta eccellente in tutti i casi, ad eccezione del solo elio, di gran lunga sovrabbondante ($\sim 25\%$) rispetto a quanto sarebbe previsto dalle nucleosintesi stellari. Ora, tale anomalia viene invece puntualmente spiegata dal quadro cosmologico del Big Bang: infatti, si può facilmente dedurre che ancora agli inizi dell'espansione, — a circa tre minuti dopo l'istante zero —, quando la temperatura era dell'ordine del miliardo di gradi, l'elio, e solo l'elio, abbia potuto sintetizzarsi direttamente a partire dall'idrogeno, e proprio nella misura di quel $\sim 25\%$ che risulta dai dati osservativi. In tal modo, la sovrabbondanza dell'elio si origina nel processo cosmico stesso in un'epoca primordiale del Big Bang e non nelle nucleosintesi stellari molto posteriori che aggiungono soltanto una piccola frazione a questo $\sim 25\%$ totale dell'elio. Anche questo dato sarebbe ben difficilmente spiegabile in uno schema diverso da quello del Big Bang.

Sulla base di questi dati e di queste interpretazioni, il quadro del Big Bang, a partire da pochi secondi dopo l'istante iniziale e fino ad oggi, e da temperature sui qualche centinaia di miliardi di gradi giù fino alle condizioni attuali, può considerarsi come dotato di grande verosimiglianza, ciò che gli ha meritato il nome di Big Bang classico. Il quadro però non è completo: l'ambizione dei fisici consiste nel tentare di estenderlo, da un lato, il più lontano possibile nel passato, fino ad

avvicinarsi all'istante zero; da un altro lato, di potere prevedere, in base alle conoscenze attuali, in che modo l'universo si evolverà nel futuro. Ora, non è difficile intuire come, via via che ci si allontana dall'ambito di validità del quadro classico, tanto verso il futuro che verso le origini, l'attendibilità delle varie interpretazioni che vengono date per tali due estrapolazioni, in quanto ci si allontana sempre di più da qualsiasi possibilità di misura, vada rapidamente calando, sia pur per ragioni molto diverse nei due casi, fino a ridursi, quando ci si avvicini all'istante origine, ad una totale ipoteticità, cui è ben difficile attribuire un vero significato fisico, cioè un'effettiva realtà nell'ambito del dominio corporeo.

Se, per seguire sia l'ordine dello sviluppo storico, sia quello di crescente irrealtà, incominciamo col considerare le estrapolazioni verso il futuro, troviamo, in base all'indicazione sperimentale per cui l'universo appare omogeneo ed isotropo, cioè con densità media dovunque uguale e senza direzioni privilegiate nello spazio, che due essenzialmente sono i modelli possibili secondo i quali esso dovrebbe verosimilmente evolversi: *a*) modelli aperti, secondo i quali l'espansione dovrebbe continuare indefinitamente; *b*) modelli chiusi che, dopo aver raggiunto un'espansione massima, cominciano a ricontrarsi, per finire col riconcentrarsi in un punto singolare, che rappresenta nel futuro l'esatta immagine del punto origine da cui ha preso inizio l'espansione. La scelta tra l'uno o l'altro di questi tipi di modello dipende dal valore della densità media dell'universo: se questa è inferiore ad un certo valore limite, detto densità critica, — circa $2 \cdot 10^{-29}$ grammi per centimetro cubo —, l'espansione ha da continuare per sempre, in quanto le forze di gravità che si esercitano tra galassia e galassia, pur tendendo a frenare l'espansione, sono troppo deboli per riuscire a fermarla; se questa invece è superiore alla densità critica, le forze di gravità tra galassie avranno intensità sufficiente per arrestarla, ed indi per farla regredire. Il

modello che fa da limite tra questi due tipi e corrisponde esattamente alla densità critica, detto di Einstein-de Sitter, è il solo nel quale lo spazio abbia esattamente struttura euclidea, e si espanda indefinitamente secondo una legge molto semplice: il fattore di espansione, che istante per istante dà la misura dell'espansione raggiunta, cresce colla potenza $2/3$ del tempo trascorso.

Le misure compiute sulle masse luminose delle galassie, e cioè sulle stelle e le nubi di gas che le compongono, per permettere di ricavare la densità media del cosmo, conducono a valori nettamente inferiori alla densità critica, — dell'ordine di 10^{-31} grammi per centimetro cubo —, per cui l'universo dovrebbe continuare ad espandersi indefinitamente. Oggi però è accertato che, oltre alle loro masse luminose, le galassie contengono anche grandi quantità di una materia oscura, la cui natura è tuttora considerata come molto enigmatica, ma che potrebbe corrispondere a quella di certe particelle neutre, dotate di massa, che non fanno parte della materia solita, ma sono ipotizzate nel quadro delle teorie relative alle simmetrie delle interazioni delle particelle elementari; tale massa oscura si rivela però per gli effetti gravitazionali che produce, e la sua entità totale potrebbe essere tale da condurre ad una densità media totale dell'universo che raggiunga, o addirittura superi —, anche se di poco —, la densità critica. Le valutazioni sono troppo imprecise ancora per consentire una conclusione sicura, sicchè rimaniamo nell'incertezza circa la morte del cosmo, o per gelo in caso d'ininterrotta espansione, o per eccesso di calore nel caso di ricontrazione.

Comunque si ritiene oggi che la densità vera, sia essa inferiore o superiore a quella critica, è molto vicina a questo valore critico stesso, e pertanto additi come modello più verosimile dell'universo quello di Einstein-de Sitter, in quanto esso solo consente di attribuire al cosmo le proprietà che in esso riscontriamo: se la sua densità fosse stata alquanto minore di quella critica, l'espansione sarebbe stata talmente rapida da inibire la formazione delle galassie; se fosse stata al-

quanto maggiore, l'universo avrebbe già cominciato a rinchiudersi, e la durata della sua vita sarebbe stata complessivamente troppo breve per consentire lo sviluppo biologico che conduce all'uomo, il quale sulla terra ha richiesto almeno 3 miliardi di anni. Nell'uno e nell'altro caso, il solo fatto dell'esistenza dell'uomo impone che la densità media del cosmo non possa essere molto diversa da quella critica, anche se non siamo in grado di misurarla. Questo costituisce un esempio grazie al quale il Principio Antropico, di cui verrà parlato più avanti, — e cioè l'insieme di dati che non avrebbero potuto essere diversi da quel che sono perché se lo fossero stati l'esistenza dell'uomo non sarebbe stata possibile —, è atto a imporre a priori una conclusione di carattere fisico.

Nell'insieme, per quanto riguarda il futuro, possiamo concludere che, al momento attuale, la cosmologia non è in grado di fare previsioni sicure. Tale limitazione però è dovuta alla mancanza di dati precisi sulla densità media, e nulla vieta di pensare che possano un giorno venire acquisiti, e pertanto contribuire a precisare il panorama dell'avvenire. Se poi si pensa che differenze sensibili tra le alternative di modello aperto o chiuso per quanto ci concerne potranno verosimilmente cominciare a manifestarsi non prima di qualche miliardo d'anni, appare ovvio come il problema del futuro del cosmo non possa considerarsi come « scottante ».

La situazione invece è ben diversa per quanto concerne le varie induzioni relative al lontanissimo passato. Se, fino a circa un centennio fa, non ci si spingeva all'indietro oltre al tempo, — di qualche frazione di secondo dopo l'origine —, in cui la temperatura era scesa a circa cento miliardi di gradi, — in quanto non oltre tale soglia le previsioni fisiche sullo stato della materia in tali condizioni parevano attendibili nell'ambito delle conoscenze accertate della scienza d'allora —, oggi, dopo tutte le scoperte nel dominio della fisica particellare, si pensa d'essere in grado di diagnosticare lo stato della

materia fino a livelli d'energia molto superiori. Col crescere infatti dell'energia, — lo sappiamo dai dati di laboratorio —, si vanno creando particelle — barioni, leptoni, mesoni — di massa crescente, instabili nelle condizioni normali, ma che risulterebbero stabilizzate alle alte densità e temperature negli stadi iniziali del Big Bang. Le cognizioni ricavate dal laboratorio e dalla teoria consentono oggigi di prevedere che, quando l'energia raggiunge alcune centinaia di Mev (milioni di elettroni-volt), i barioni e i mesoni, per effetto dell'alta densità, si scompongono nei loro presunti costituenti, i cosiddetti quarks, che non sono mai stati osservati, ma la cui esistenza spiegherebbe in modo assai soddisfacente gli schemi ordinatori ipotizzati per riunire in un quadro coerente le varie particelle scoperte. Inoltre, appare che, col crescere dell'energia, i tre tipi basilari d'interazioni particellari, deboli, elettromagnetiche e forti, altamente differenziate in condizioni normali, tendano sempre più ad unificarsi. Così quando, andando all'indietro nel tempo, viene raggiunto il traguardo dei 100 Gev (miliardi di elettroni volt), le interazioni elettromagnetica e debole si unificano in un'unica interazione elettrodebole, sperimentalmente convalidata dalla scoperta dei mesoni W e Z⁰ recentemente reperiti a Ginevra. Viene poi ipotizzato che continuando nella marcia all'indietro, alle energie di $\sim 10^{15}$ Gev e temperature dell'ordine di $\sim 10^{28}$ gradi, anche l'interazione forte si unifichi con quella elettrodebole per dare luogo ad un unico tipo d'interazione, detta GUT (great unification theory), la cui forma non ha ancora potuto essere identificata con esattezza. E se, proseguendo all'indietro, non ci si azzarda a spingere le indagini concettuali prima dei $\sim 10^{-43}$ secondi dopo l'inizio, ed oltre temperature di $\sim 10^{32}$ gradi, è perchè, al di là di tali limiti, si sa che si dovrebbe far leva sopra un nuovo quadro di leggi, detto della gravitazione quantistica, non ancora elaborato dai teorici, il quale, lo dice il nome, richiederebbe la trattazione della meccanica quantistica nello spazio curvo della relatività generale, che offre difficoltà non ancora superate.

Non faremo qui menzione, per il loro carattere totalmente ipotetico, di tutte le teorie dette « inflazionarie » circa l'origine dell'universo, che cercano di unificare e spiegare un certo numero di dati cosmologici assumendo che all'epoca di circa 10^{-35} secondi dopo l'origine, in una minuscola frazione di secondo, le dimensioni dell'universo si siano « inflazionate » di un fattore assolutamente enorme.

Seppure, a prima vista, il precedente abbozzo di panorama cosmologico, basato in parte sulle proprietà acquisite del mondo particellare e sulle leggi attualmente note cui questo soggiace, possa sembrare logicamente ragionevole, non ci si deve però nascondere ch'esso si fondi sopra un certo numero di estrapolazioni le quali di fatto sono totalmente gratuite. La prima domanda che ci si può porre è se grandezze talmente minuscole come i tempi considerati, o talmente enormi come le temperature e le energie presunte, abbiano veramente un senso compatibile colla fisica: la quale è basilarmente una scienza sperimentale; il che significa che le grandezze di cui discute si devono potere misurare. Questo è sempre avvenuto finora, sia pure con mezzi talvolta molto indiretti e sofisticati, tanto nel piccolo, — nell'ambito atomico e nucleare —, quanto nel grande, — nell'ambito dell'astronomia —. Ma qui si tratta di grandezze che mai saranno raggiungibili da mezzi umani di misura; ha senso quindi trattarle come se fossero realtà, e non pure estrapolazioni matematiche, immaginate dalla nostra mente, che si può spingere nel piccolo e nel grande fin dove vuole, senza che ciò debba condizionare una qualunque corrispondenza col mondo reale? Tutto potrebbe essere solo un parto di fantasia, perfettamente logica s'intende, e coerente con tutto quanto siamo in grado oggi di constatare e di dedurre in fisica, senza che ci sia modo di poterne asserire l'autenticità. Ciò basta allora per permettere di concludere ad una effettiva realtà del quadro?

Un altro postulato da porsi in discussione è se sia lecito presumere una continuata validità delle leggi ora note della fisica in condizioni ambientali totalmente diverse da quelle

sperimentabili per noi. La storia intera di tale scienza non lo giustifica affatto. Le leggi della meccanica classica da Galileo a Newton hanno dovuto modificarsi: 1) in quelle della relatività einsteiniana ristretta, quando sono considerate velocità vicine a quelle della luce; 2) in quelle della meccanica quantistica, quando si scende a trattare di corpuscoli atomici, subatomici e subnucleari; 3) in quelle della relatività generale, quando s'incontrano campi gravitazionali molto intensi. Non sembra quindi estremamente probabile che, nelle condizioni di energia e di densità degli stati della materia nei pressi dell'origine del Big Bang, ci si debba aspettare a priori modifiche delle leggi, non solo prevedibili come quelle prima citate della gravità quantistica, ma anche del tutto inattese, come era successo nelle situazioni citate poco fa?

L'ipotesi però di gran lunga più criticabile che sta generalmente alla base di tutte le speculazioni sull'origine del Big Bang, ³¹ e che non è certo accettata da tutti i fisici —, sta nel considerare le leggi della meccanica quantistica come universalmente valide in qualunque circostanza ed a tutti i livelli dimensionali. Esse sono state scoperte ed adottate con pieno successo nel mondo atomico e particellare; l'idea probabilistica che soggiace alla base di tutte le sue interpretazioni, — e cioè il fatto che di una particella non si possa misurare nel contempo la posizione e la velocità, — relazioni di indeterminazione di Heisenberg — e quindi che non si possa seguirne la traiettoria —, traduce essenzialmente la nostra incapacità umana di farci una immagine intuitiva circa la natura della « materia », e non permette di asserire che la probabilità, di cui ci si serve come strumento di calcolo e di previsione, debba significare che di fatto il « caso » giace alla radice del cosmo. In base a tali constatazioni, quale diritto abbiamo di presumere che queste leggi, da un lato, a nostra esperienza valide solo nel mondo atomico, possano estrapolarsi in qualunque ambito ed essere applicate all'universo intero, e, dall'altro, ch'esse consentano di giustificare lo spaccio ed il tra-

pianto del concetto di « caso » quale generale modalità del modo di procedere della natura?

Occorre ben marcare come un tale programma non sia basato per nulla su ragioni scientifiche, bensì essenzialmente filosofiche, o peggio ancora, « ideologiche »: si vuole in tal modo prospettare una visione « casuale » o « caotica » quale norma di base che regga l'universo intero, in modo da potere evitare o rendere inutile l'idea d'un progetto a priori al quale si dovrebbe ricorrere per poter altrimenti spiegarlo. E' da tale intenzione che prendono origine tutte le strane teorie sull'origine del Big Bang, secondo le quali: o che l'universo è nato per caso da una fluttuazione di probabilità, o che ci sono infiniti universi con tutte le caratteristiche possibili, per cui il nostro, in quanto parte di tale infinità, non va considerato come un chè di particolare o di singolare; o infine che l'universo si autogenera senza bisogno di alcun condizionamento esterno. La maggioranza dei fisici e cosmologi che si lanciano in questo tipo d'extrapolazioni non sono in genere coscienti di compire, ciò facendo, un passo che li porta fuori dal dominio fisico e li convoglia ad una pseudometafisica, — « pseudo » in quanto totalmente carente di quanto costituisce gli elementi della metafisica vera —; e questa loro mancanza di discernimento tra quanto è realmente fisico, e quanto giace al di là della fisica, è causa delle terribili confusioni che, alimentate dalla cattiva stampa di divulgazione, continuano a diffondere il mito scienziato nel grande pubblico: mito che la filosofia della scienza, fatta in modo serio e responsabile, ha da lungo tempo esautorato. La fisica, — e la scienza in genere —, sulla base dei propri postulati di lavoro che delimitano in modo preciso il suo campo di azione, non può non sapere che la sua portata nell'ambito dell'indagine è forzatamente rinchiusa entro la finitezza della facoltà e degli strumenti umani, e che pertanto non può, malgrado i vistosi successi conseguiti, chiarire da sola problemi come quello dell'origine dell'universo, che, per la loro stessa dimensione e la totalità del contenuto che la parola stessa di « universo » implica, si situano a priori al

di fuori del dominio che la scienza da sè si autoimpone in base agli stessi suoi postulati circa quanto deve considerarsi « scientifico »; — e cioè che l'unica fonte di conoscenza consegua dall'esperienza, dalla misura e dalla deduzione razionale, e che l'unico dominio che la concerne sia quello percepibile dai nostri sensi, sia direttamente, sia tramite strumenti di misura che li prolungano ed affinano —. Il pretendere di trattare a parte il solo « universo fisico » come entità a sè stante è sempre e solo frutto dell'abbaglio riduzionista che vuole negare a priori tutto quello che non è fisico nel cosmo. In funzione delle conoscenze fisiche oggi accertate, pretese « ideologiche » del tipo prima menzionato, — origine « casuale » dell'universo, infiniti universi nati in modo caotico, universo che è la causa di sè stesso —, vanno considerate come puri parti d'una fantasia matematica estremamente spinta, ma metafisicamente piuttosto piatta e banale.

IL PRINCIPIO ANTROPICO

A conclusione di questa presentazione, in base al piano generale che n'era stato prospettato nell'introduzione, dopo averne esposto gli aspetti, coi diversi loro livelli di attendibilità, che nel loro insieme costituiscono la parte « sostanziale », — e quindi l'unica praticamente presa in esame dalla scienza moderna —, di quanto forma l'oggetto della cosmologia, ed avere già potuto constatare come non pochi elementi di questo quadro, — quali ad esempio la considerazione, inderogabile quasi in base ai dati sperimentali, circa un'origine del cosmo ad una distanza collocabile nel tempo —, già di per sè nettamente lo differenzino dalla visione casuale-atomistica di tipo democriteo, dominante sulla fine del secolo scorso, siamo arrivati a voler prendere in esame un nuovo punto di vista, risalente a non più di un paio di decenni addietro, il quale in certo modo viene a rappresentare in questo dominio un'incidenza alquanto marcata di ciò che secondo le nostre

premesse, abbiamo fin dall'inizio chiamato una prospettiva « essenziale ». Ci proponiamo adesso di porre in luce quanto di basilamente diverso, rispetto alla comune visuale scientifica, forma la parte integrante di tale nuova prospettiva.

Da circa tre secoli ad oggi, in conseguenza della forte scossa alla posizione centrale della terra e dell'uomo nel creato, — provocata prima dalla scoperta del moto della terra intorno al sole, indi dalla posizione periferica del sole stesso nell'ambito della nostra Galassia, ed infine dal fatto che questa nostra Galassia è una soltanto in mezzo a miliardi d'altre —, prendeva consistenza crescente quale indiscusso assioma il cosiddetto « principio copernicano », secondo il quale la posizione dell'osservatore terrestre nel cosmo era del tutto irrilevante in assoluto, e non doveva in alcun senso considerarsi come privilegiata. Per cui l'esistenza dell'uomo appariva soltanto come un accidente quasi casuale, dovuto alle condizioni speciali d'atmosfera e di temperatura del nostro pianeta, le quali avevano consentito lo sviluppo d'un ecosfera biologica, da considerarsi come una specie d'anomalia patologica fisica.

Ora, da non molto più di dieci anni a questa parte, questo « copernicanesimo » estremo ha cominciato ad essere posto in dubbio per il fatto che, da parte di diversi studiosi, è stato rilevato come l'osservatore del cosmo non possa considerarsi del tutto estraneo a quanto sta osservando; poichè, col solo fatto di osservare, egli viene inserito nel cosmo stesso, e questo impone al cosmo la condizione d'essere atto a produrre nel proprio seno gli osservatori, e cioè, come condizione minima, ad essere una sede adeguata per lo sviluppo della vita.

Questo genere di considerazioni ha preso l'avvio nel modo che segue: è noto come le leggi basilari della fisica dipendano: *a*) da certe costanti fondamentali: velocità della luce, costante della gravitazione, costante di Planck, carica e massa dell'elettrone, massa del protone, costanti delle interazioni forte e debole, tutte dotate di valori accuratamente misurati e ben definiti; *b*) e come la cosmologia contenga un

certo numero di dati a priori, da noi misurati, quali la costante dell'espansione del cosmo di Hubble, il tempo di vita delle stelle e dell'universo, l'età del sole, della terra e così via. Generalmente, questi valori venivano presi per quel che sono senza cercarne una ragione.

Ora, in conseguenza del lavoro di alcuni pionieri, sta oggi facendosi strada l'idea che tali valori sono da porre in relazione col cosiddetto Principio Antropico, secondo il quale questi numeri possono solo avere il valore che hanno, — o valori differenti da questi di molto poco —, perché altrimenti la vita non avrebbe potuto insorgere nell'universo, e quindi nemmeno gli osservatori del cosmo, la cui esistenza è indispensabile affinché qualcosa dell'universo possa venir conosciuto.

Quest'idea generale, espressa da Carter, si può formulare secondo due diverse sfumature d'intensità: in una prima forma, detta debole, si asserisce che i dati cosmologici della categoria *b*) precedente non potevano differire a priori da quel che sono, perché un universo corrispondente a dati differenti non sarebbe stato adatto ad ospitare osservatori. Ad esempio, non sarebbe stato possibile che noi avessimo trovato per la vita dell'universo un valore assai diverso da quello misurato: in un tempo molto più breve, diciamo un miliardo anziché una decina di miliardi d'anni, gli elementi pesanti, quali l'ossigeno e il carbonio, indispensabili sia per la costituzione della terra che dei composti organici di cui è fatta la materia vivente, non avrebbero avuto il tempo di formarsi in quantità sufficiente nelle nucleosintesi stellari; in un tempo molto più lungo, diciamo una quarantina di miliardi d'anni, le stelle come il sole, in conseguenza dell'evoluzione stellare, sarebbero diventate delle giganti rosse o delle nane bianche, assolutamente inadatte ad alimentare la vita sulla terra.

Vi è però una seconda formulazione molto più forte del Principio Antropico, la quale asserisce che non solo i dati di tipo *b*) o di seconda specie, ma pure quelli di tipo *a*) o di prima specie, — costanti fisiche in senso assoluto —, non po-

trebbero differire di molto dal loro valore misurato senza inibire la possibilità di formazione della vita: ad esempio, non è difficile constatare che se la costante d'interazione forte che regola le forze nucleari fosse stata di qualche percento minore di quanto è, il primo nucleo composto, il deutone, formato dall'unione di un protone con un neutrone, non avrebbe potuto formarsi, impedendo così totalmente la formazione dell'elio e di tutti i successivi nuclei più pesanti quali il carbonio; nel mentre, se fosse stata di qualche percento più alta, si sarebbe formato il diprotone, composto dall'unione di due protoni, e ciò avrebbe implicato, al tempo della nucleosintesi cosmica, la pressochè totale conversione dell'idrogeno in elio. Sicchè, tanto in un caso come nell'altro, o per assenza di carbonio, o per assenza d'idrogeno, i composti biologici non avrebbero potuto costituirsi. Diversi altri esempi, tanto della forma debole che di quella forte del Principio, stanno gradatamente ingrossando la letteratura, sicchè risulta sempre più difficile non dare credito ad un qualche senso, ancora non bene apparente, che in esso si nasconde.

A tale riguardo, l'atteggiamento di un buon numero di fisici, — che si vogliono ad ogni costo mantenere fedeli agli assiomi alquanto restrittivi, al punto di vista dell'insieme delle umane facoltà, di ciò che costituisce la prospettiva scientifica, la quale tutto vuole riferire esclusivamente alle categorie di causalità e di casualità, ed è assuefatta dalla statistica a considerare insiemi di oggetti dello stesso tipo —, si orienta verso l'immaginare che siano creati a priori un numero infinito di universi, tutti uguali per il tipo delle leggi che li regolano, ma con valori delle costanti fondamentali variabili in tutti i modi possibili. Per tutti questi altri universi, le costanti saranno tali da non consentire l'insorgenza della vita, mentre soltanto nel nostro essa potrà svilupparsi, dato che sarà il solo a possedere le costanti giuste. Pertanto, sarebbe per pura necessità che ci troviamo nel solo universo con costanti compatibili colla vita, poichè ovviamente negli altri non avremmo potuto nascere.

La capziosità di una tale prospettiva sta nel non voler vedere che l'invenzione di infiniti universi è soltanto un modo di mascherare sotto una veste causale e statistica l'eccezionalità del fatto dell'estrema specificità delle costanti che consentono alla vita di manifestarsi, eccezionalità che rimane tale sotto qualunque paludamento. Inoltre, ci si deve chiedere quanto l'ipotesi di infiniti universi sia davvero un'ipotesi fisica e non invece totalmente filosofica, dato che non potrà mai venire né accertata né sperimentata. E pertanto, se per spiegare le constatazioni del Principio Antropico è giocoforza ricorrere ad una filosofia, non è allora meglio rifiutare una pseudometafisica quale quella degli infiniti universi, e fare ricorso alla metafisica vera? la quale, non ignorando che nell'uomo, oltre la categoria intellettuale di causalità vige pure la categoria di finalità, può facilmente suggerire l'idea che le costanti fondamentali hanno i valori che hanno *affinchè* la vita avesse da scaturire nel cosmo; ovvero che il cosmo è stato costituito qual'è collo scopo che in esso un essere pensante vi si potesse produrre.

Siamo coscienti che secondo tale modo di vedere, introduciamo il finalismo nella sua forma più schietta nell'ambito d'un quadro unicamente scientifico. Ma è proprio detto che il finalismo debba restare bandito per sempre dalla scienza unicamente perchè certi naturalisti del Settecento ne hanno fatto un abuso un po' sciocco, e perchè i problemi molto semplici della fisica, — quali il problema a due corpi, ed il pendolo —, si possono risolvere usando la sola categoria di causalità? nel mentre tale riduzione appare sempre più illusoria via via che i problemi diventano più complessi, ed coinvolgono un numero crescente di corpi o di variabili?

A noi sembra invece che volendo ampliare lo sguardo secondo le prospettive indicate nell'introduzione, estrinsecantisi nei due modi ortogonali e complementari di osservare la realtà, già prima denominati visione sostanziale e visione essenziale del cosmo, si stia, col Principio Antropico, delineando un punto di vista, che, a completamento della normale visione

di tipo sostanziale e causale della scienza, offra una prospettiva essenziale finalistica, finora poco apparente in fisica, e molto maggiormente evidente in biologia, la quale accanto alla solita visione « orizzontale » che collega la cosa in superficie, possa invece addentrarsi in direzione « verticale » verso le profondità che non possono non soggiacere a quanto ci appare, e che si possono concepire come un riflesso del dominio metafisico anche sulla dimensione puramente fisica dell'universo.