

A. LUCCHESI

APPUNTI
IL MODELLO STANDARD
COSMOLOGICO

evoluzione cosmica

Descritta in modo semplice e accessibile

Scienza e tecnica

BOOK
SPRINT
EDIZIONI

www.booksprintedizioni.it

Copyright © 2024
A. Lucchesi
Tutti i diritti riservati

Dedico questo piccolo libro a mia moglie Renata, per la pazienza che ha avuto nell'ascoltarmi e per il prezioso aiuto datomi nel correggere il testo.

Immagini realizzate dall'autore.

Indice

Le unità di misura usate nel testo	7
Introduzione	9
La cosmologia.....	13
Prima dell'inizio.....	14
Il vuoto quantistico	14
La fluttuazione quantistica del vuoto.....	16
Il modello cosmologico standard.....	17
Le transizioni del primo secondo	18
I bosoni	23
T=1 fine del primo secondo	28
La nucleosintesi primordiale	30
La gravità.....	31
La ricombinazione.....	34
La radiazione del fondo cosmico a microonde – CMB.....	35
Da 380.000 a 1 miliardo di anni	42
Stelle.....	46
Classificazione delle stelle	55
Il diagramma hr.....	56
Spettroscopia stellare	58
Le reazioni di fusione del nucleo di una stella.....	61
La nucleosintesi stellare e la formazione degli elementi.....	63
Le supernove e le fusioni di stelle di neutroni completano la tavola degli elementi	64
Buchi neri.....	67
I composti inorganici e organici.....	69
I pianeti	70
Le nebulose	71
I raggi cosmici.....	75
Misura delle distanze stelari.....	77
Le galassie.....	79
Forma delle galassie.....	82
La classificazione delle galassie	84
Rotazione delle galassie	88
La materia oscura	89
Il gruppo locale	91
Ammasso di galassie.....	93
Superammassi di galassie	94
Espansione dell'universo	95

Energia oscura.....	96
Diffusione delle galassie e struttura dell'universo a grande scala.....	97
Laniakea	98
L'universo nel suo insieme	100
Principio cosmologico	103
La geometria dello spazio-tempo.....	104
Onde gravitazionali	106
Energia e massa.....	108
La nostra conoscenza dell'universo oggi	109
Il nostro universo è unico?	111
Finirà un giorno l'universo?.....	112
L'ultima transizione la vita.....	113
Conclusione	115
Bibliografia essenziale e fonti	117

LE UNITÀ DI MISURA USATE NEL TESTO

Come sempre parlando di fisica è bene conoscere le unità di misura adottate nell'espone la trattazione. In cosmologia l'unità di misura principale è:

ANNO LUCE (al) = $94.608 \cdot 10^8$ km

IL PARSEC (pc) = 3,26 al

IL MEGAPARSEC 1 Mpc = $3,26 \cdot 10^6$ anni luce (al)

il parsec è la distanza a cui è visto il raggio dell'orbita terrestre sotto un angolo di un secondo d'arco.

La temperatura è misurata in gradi Kelvin (°k)

L'energia in eV, MeV, GeV

In fisica l'elettronvolt o volt-elettrone (simbolo eV) è un'unità di misura dell'energia molto usata in ambito atomico e subatomico.)

Mo = Massa solare, unità di riferimento per la massa delle stelle e delle galassie.

INTRODUZIONE

Mi rivolgo soprattutto a tutti coloro che, come me, desiderano conoscere le scoperte scientifiche di questi ultimi anni.

Nel compiere questo lavoro ho scelto con cura di seguire il più possibile una sequenza temporale degli eventi. La mia trattazione è quasi priva di riferimenti matematici e di linguaggio tecnico, volendo fornire un testo che, sia pure nella sua semplicità, possa dare un contributo immediato al lettore, pur rimanendo nel complesso attendibile dal punto di vista scientifico.

Ogni significativa scoperta, specie nell'ambito astronomico, ha sempre portato come conseguenza un profondo cambiamento culturale e di pensiero nella società.

Così come è stato con Aristotele e Tolomeo, come è stato con Copernico, Galileo e Newton, anche le scoperte epocali e impensabili solo di un secolo fa, porteranno nella società una nuova visione della nostra esistenza e una maggiore consapevolezza del valore inestimabile della vita.

Vediamo ora le maggiori scoperte scientifiche dall'inizio del 1900 ad oggi.

Ai primi del 1900 si pensava che l'intero universo fosse costituito dalla nostra galassia, la Via Lattea, di cui si conosceva vagamente la forma, le dimensioni e il contenuto di stelle e nebulose.

Era stata accertata la velocità della luce (circa 300 000 km/s), si discuteva sulla sua natura e si credeva che si trasmettesse nel vuoto grazie ad un'impalpabile e misteriosa sostanza chiamata "etere" ...

Nel 1901 Max Planck pubblica una teoria affermando che gli atomi assorbono ed emettono radiazioni in modo discontinuo, cioè per quantità di energia finite e discrete e non in maniera continua come allora si credeva. Questo voleva dire che anche l'energia può essere concettualmente rappresentata come la materia, sotto forma di granuli indivisibili a cui dà il nome di "quanti".

La teoria di Planck è la prima teoria quantistica della fisica.

$$E=hf \text{ (} h= 6,62607015 \times 10^{34} \text{ costante di Planck)}$$

Dove E è il quanto di energia, h è la costante di Planck, f è la frequenza di radiazione (onda).

Nel 1905 Albert Einstein fa pubblicare alcuni articoli di fisica tra i quali c'è la sua teoria della relatività ristretta. Questa teoria stabilisce che la velocità della luce è una costante universale ed è base di riferimento per ogni osservazione di fenomeni fisici.

Quindi la luce è una radiazione elettromagnetica e si trasmette nel vuoto, senza alcun mezzo intermediario, con onde discrete a piccoli pacchetti, che chiama quanti di luce. Sempre in sintonia con Plank afferma che la Luce, come le altre radiazioni, ha una duplice identità: onda e corpuscolo.

Nella teoria si introduce, per la prima volta, il concetto di spazio-tempo e si enuncia che energia e massa sono la stessa cosa con la famosa relazione:

$$E = mc^2.$$

Successivamente nel 1915 pubblica la teoria della relatività generale. Una teoria dove si spiega che la gravità non è una forza come le altre, ma un effetto della curvatura della geometria dello spazio-tempo in presenza di massa. Questo risolve anche il problema, che già si era posto Newton, quando aveva pensato ad una possibile interazione tra le masse con un ipotetico agente mediatore.

Einstein capisce che esiste una precisa relazione tra la geometria dello spazio-tempo, l'energia e la massa che contiene e lo esprime con la seguente nota equazione:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

La teoria della relatività generale è molto avanti per l'epoca, racchiude concetti oscuri tutti da provare. I risultati non tardano ad arrivare. La teoria permette la soluzione del calcolo della precessione del perielio dell'orbita di Mercurio con una precisione molto alta e predice che perfino la luce può essere deviata dalla presenza di una notevole massa.

Nel 1919 venne confermata la deflessione della luce di alcune stelle durante una celebre eclisse di Sole, osservata da un gruppo guidato da Sir Arthur Eddington, astronomo della corona inglese. La prova fu evidente e clamorosa per l'esattezza dei calcoli fatti dallo stesso Einstein.

Nel 1923-24 Edwin Hubble, utilizzando il nuovo e più grande telescopio esistente allora, scopre che molte piccole nebulose sono in realtà galassie situate a grande distanza dalla Via Lattea, che da quel momento non è più l'intero universo.

In seguito, nel 1929, ancora Hubble, misurando le loro distanze scopre che tutte queste galassie si stanno allontanando da noi in modo uniforme.

Di colpo l'universo non solo cambia aspetto e grandezza, ma svanisce anche il concetto di centralità: se le galassie si allontanano le une dalle altre è come se ognuna fosse al centro dell'universo e in passato dovessero essere tutte molto vicine. Nasce così l'idea di una origine esplosiva dell'universo.

Contemporaneamente, in quel quarto di secolo, si fanno notevoli progressi nella fisica atomica e nella nuova fisica dei quanti (meccanica quantistica).

Nel 1913 Niels Bohr propone il suo modello di atomo e nel 1919 Arnold Sommerfeld lo perfeziona migliorandolo. Si tratta di una visione nuova di atomo che spiega molto bene la sua struttura con al centro un nucleo formato da protoni e neutroni, circondato da una nube di elettroni. Questo modello, insieme alle teorie di Planck ed Einstein, apre agli studi che porteranno alla nascita della meccanica quantistica.

Nel 1925 Wolfgang Pauli enuncia il principio di esclusione, affermando che **“nessuna coppia di elettroni in un atomo può avere gli stessi numeri quantici”**.

(nota) *I numeri quantici permettono di quantificare le proprietà di una particella e di descrivere la struttura elettronica di un atomo.*

Nel 1927 Werner Heisenberg formula il principio di indeterminazione che afferma: “... in generale non è possibile misurare simultaneamente con esattezza il valore di due quantità osservabili canonicamente coniugate (ovvero associate a operatori che non commutano fra loro). In particolare, ciò riguarda la misura di componenti omologhe di posizione e quantità di moto (per es., la coppia coordinata x e componente della quantità di moto p_x)”.

Questo principio viene espresso con la seguente formula:

$$\epsilon_q \cdot \epsilon_p \geq \hbar/2.$$

Nel 1928 Paul Dirac, studiando il moto dell'elettrone nell'intento di capire se fosse possibile applicare le leggi della relatività ai fermioni arrivò a questa famosa equazione:

$$(\partial + m) \psi = 0$$

Questo è il suo significato: “Se due sistemi interagiscono tra loro per un certo periodo di tempo e poi vengono separati, non possono più essere descritti come due sistemi distinti, ma in qualche modo, diventano un unico sistema.”

Dirac si accorse anche che l'equazione dava due valori: uno positivo e uno negativo, entrambi validi. Quindi poteva esistere una particella identica all'elettrone, ma di segno opposto: aveva scoperto l'antimateria. Il positrone e^+ viene poi effettivamente scoperto nel 1932.

Nel 1942, esattamente il 2 dicembre, Enrico Fermi conferma in un celebre esperimento, fatto in un laboratorio segreto sotto lo stadio di Chicago, negli Stati Uniti, che la massa può convertirsi in energia, come previsto da Einstein. Nasce così l'era atomica.

L'ipotesi della nascita dell'universo in tempi remoti viene confermata nel 1964 dalla scoperta della **radiazione cosmica**, detta anche **radiazione di fondo**, abbreviata in **CMBR o CMB** (dall'inglese *Cosmic Microwave Background Radiation*) ad opera degli astronomi statunitensi Arno Penzias e Robert Wilson, al termine di uno studio avviato nel 1940, che li portò a conseguire il Premio Nobel per la fisica nel 1978.

È una scoperta molto importante perché permette di vedere come era lo stato dell'universo 380 000 anni dopo la sua nascita.

Sempre negli anni 60 viene concepito e provato sperimentalmente il Modello Standard delle Particelle. Questo modello semplifica notevolmente la classificazione delle particelle dividendole in due gruppi: Fermioni e Bosoni.

Nel 1968 al **Centro d'Accelerazione Lineare di Stanford (SLAC, Stanford Linear Accelerator Center)** vengono scoperti i quark, le particelle fondamentali e indivisibili della materia.

Nel 2012 all'LHC (Large Hadron Collider) del CERN viene scoperto il bosone di Higgs, previsto dal modello standard, che permette di risolvere il problema dell'origine della massa delle particelle.

Oggi, telescopi di nuova concezione, sia a terra che nello spazio, radiotelescopi, spettrometri di massa, rilevatori di onde gravitazionali, acceleratori di particelle sempre più potenti e quanto di meglio offre la tecnologia più avanzata, esplorano l'infinitamente grande e l'infinitamente piccolo, alla ricerca del grande mistero della nostra esistenza e di quella dello stesso universo.