

«ALL'INIZIO DEL TEMPO» IMPARARE A DARE RAGIONE ALLA FEDE

Percorso di formazione teologica per laici
Ciclo «Teologia: credo in Dio creatore» -
Secondo incontro

Parrocchia di Cologno al Serlo, 8/02/2019

Relatore: Eleon Borlini

PROLOGO: LA DOMANDA DI SENSO

La curiosità, sotto la quale si nasconde la domanda sul senso e sul perchè dell'esistenza, mette in moto la ricerca dell'uomo, in particolare quella scientifica, che non è mai un cammino lineare e privo di inciampi, ma che anzi è costellato di insuccessi e false partenze.

Lo è oggi come mai, soprattutto nella cosmologia e nella fisica fondamentale.

È questa affascinante, ed incompiuta, storia di unificazione l'argomento di questa serata.

UN PROIETTILE NELLO SPAZIO

- DA COPERNICO A NEWTON: LA TERRA NEL SISTEMA SOLARE

Copernico → Costruisce, sulla base delle osservazioni dei suoi predecessori, un sistema con al centro il Sole, immobile. Il sistema solare è l'universo, e viceversa.

Galileo → Teorizza per primo la **dinamica** dei corpi e scopre quattro lune di Giove.

Keplero → Formula le tre leggi matematiche del **moto dei pianeti**, trovando le regolarità nei moti celesti che forniranno le basi alla teoria di Newton.

Newton → Beh, Newton è quello della pagina successiva...

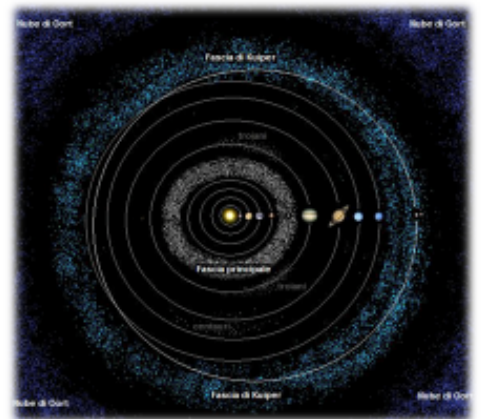
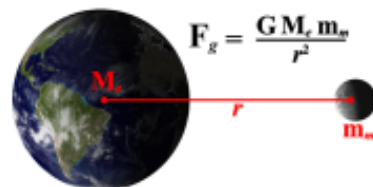
Eleon Borlini - 08/02/2019

UN PROIETTILE NELLO SPAZIO

- NEWTON: LA SCOPERTA DELLA PRIMA FORZA FONDAMENTALE DELL'UNIVERSO

Con la sua **teoria della gravitazione**, Newton unisce il mondo celeste a quello terrestre: una mela che cade e la Luna che ruota intorno alla Terra sono spinte dalla medesima forza, che può esser matematicamente formulata con una semplicità sconvolgente. Ancora oggi essa è usata per calcolare le traiettorie dei razzi e dei satelliti tv.

G è la prima di cinque costanti fondamentali che incontreremo stasera.



Eleon Borlini - 08/02/2019

GLI ORIZZONTI SI ALLARGANO

- I SECOLI DOPO NEWTON: COSTRUIRE UNA GALASSIA

Newton → Descrive la **gravità**: lo spazio e il tempo sono assoluti contenitori di eventi

Laplace → Descrive in modo matematico e completo i moti dei pianeti e delle stelle

Faraday/Maxwell → Scoprono e descrivono l'**elettromagnetismo**, la seconda forza fondamentale, e una costante universale: ϵ_0 la costante dielettrica del vuoto

Boltzmann → Fonda la **termodinamica**, l'unica branca della fisica in cui il tempo ha una direzione, per trattare statisticamente i sistemi

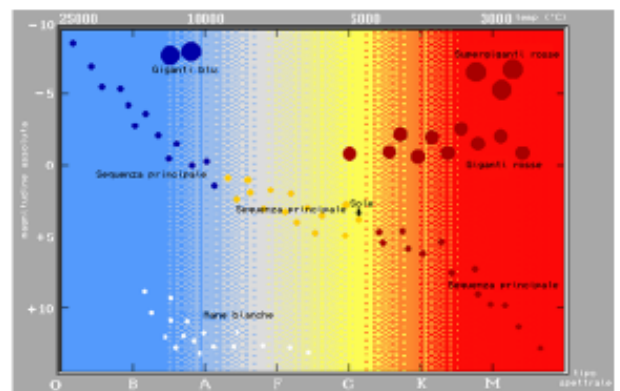
Eleon Borlini - 08/02/2019

GLI ORIZZONTI SI ALLARGANO

- ALLE SOGLIE DEL XX SECOLO: LA VITA DELLE STELLE

Le scoperte della gravità, della termodinamica e dell'elettromagnetismo permettono ai fisici di fine Ottocento di catalogare le stelle della nostra galassia secondo una sequenza: il risultato è il diagramma di Hertzsprung-Russell, che mette in relazione l'età delle stelle, la loro dimensione, il loro colore, la loro temperatura di superficie.

Gli scienziati consigliano ai nuovi fisici di cambiare mestiere, perchè ormai non c'è più nulla da scoprire, ma è proprio nella luminosità delle stelle che le cose non tornano...



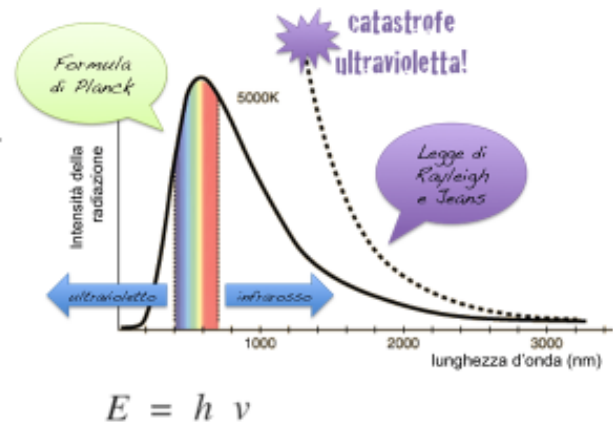
Eleon Borlini - 08/02/2019

LA CATASTROFE ULTRAVIOLETTA

- NELL'ASTROFISICA SI ANNIDA UNA CRISI...

Un problema affliggeva però la fisica classica: applicando le equazioni di Maxwell, un corpo nero, ovvero un oggetto ideale che assorbe tutta la luce incidente re-irradiandola (come il Sole e le stelle, esempi per eccellenza) avrebbe dovuto emettere una radiazione elettromagnetica con potenza infinita.

Planck introduce i **quanti di luce** (fotoni) come ipotesi matematica per spiegare la forma dello spettro di corpo nero, introducendo una costante fondamentale, **h** .



Eleon Borlini - 08/02/2019

LA CATASTROFE ULTRAVIOLETTA

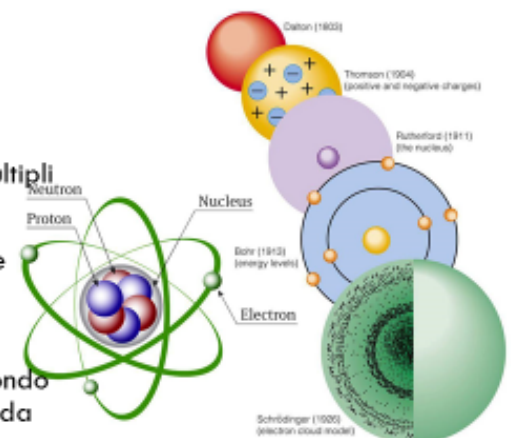
- ... CHE RIVOLUZIONA IL MONDO: NASCE LA FISICA QUANTISTICA...

I quanti di Planck, che si riferiscono alla luce, vengono applicati alla materia per descrivere gli atomi.

Spiegano infatti perchè gli atomi emettano linee solo a determinate frequenze, e perchè tutte le cariche sono **multipli** di una **carica fondamentale**, quella dell'elettrone **e** .

Se ne deduce che gli elettroni occupano solo determinate regioni dello spazio intorno al nucleo (Bohr).

Schrodinger ed Heisenberg applicano la meccanica newtoniana al mondo quantistico e scoprono un nuovo mondo di probabilismo intrinseco, indeterminazione, dualismo onda particella: nasce **la meccanica quantistica**.



Eleon Borlini - 08/02/2019

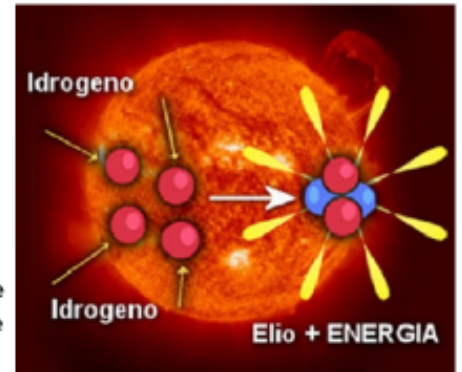
LA CATASTROFE ULTRAVIOLETTA

- ... CHE A SUA VOLTA AIUTA A COMPRENDERE LA NATURA DEI CORPI CELESTI

La scoperta dei costituenti della materia getta nuova luce sulle forze che sostengono la combustione delle stelle.

La fusione nucleare, che converte elementi più leggeri in elementi pesanti (dall'idrogeno al ferro, passando attraverso i componenti di cui siamo fatti), manifesta infatti le altre due nuove forze fondamentali della natura, oltre a gravità ed elettromagnetismo: le **forze nucleari debole e forte**.

Inoltre, nei loro stadi finali le stelle più grandi divengono nane bianche o stelle di neutroni, le prime sostenute dalla pressione di degenerazione degli elettroni e le seconde da quella dei neutroni.



Eleon Borlini - 08/02/2019

VERSO L'ULTIMO CONFINE?

- EINSTEIN: FRA IL QUANTO E IL COSMO

In questo clima di scoperte inaspettate si inserisce Albert Einstein, pubblicando nel giro di un solo anno tre articoli che avrebbero rivoluzionato per sempre la fisica.

Effetto fotoelettrico (1905) → Scopre che gli atomi e gli elettroni, se eccitati, emettono fotoni solo a specifiche energie, descritte dalla formula di Planck.

Relazione massa-energia (1905) → Scopre che la massa di un oggetto può essere convertita in energia (in enorme quantità), e viceversa, tramite la relazione $E=mc^2$, dove c è un'altra costante universale, la velocità della luce

Relatività ristretta (1905) → Scopre che lo spazio e il tempo sono due aspetti della stessa realtà fisica, lo spaziotempo, e che modificando uno si modifica anche l'altro. Ciò diventa evidente per velocità molto alte (prossime a quella della luce)

Eleon Borlini - 08/02/2019

VERSO L'ULTIMO CONFINE?

- LA RELATIVITÀ GENERALE: UNA DANZA NELLO SPAZIOTEMPO

Ma è nella relatività generale che Einstein dà il meglio di sé. Dopo dieci anni di studi intensi di matematica, in particolare nel campo della geometria differenziale (quella che descrive lo spazio curvo in modo matematico rigoroso, tramite strumenti detti tensori), pubblica questa formula:

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Essa afferma in sostanza che la gravità si manifesta come curvatura dello spaziotempo, e che «la materia (il tensore T) dice allo spaziotempo (il tensore metrico G) come curvarsi, mentre lo spaziotempo dice alla materia come muoversi». Uno spaziotempo liscio, continuo e deformabile.

Eleon Borlini - 08/02/2019

UN UNIVERSO INSTABILE

- L'UNIVERSO NON PUÒ ESSERE INFINITO ED ETERNO

Einstein riteneva che l'universo fosse statico (o al massimo stazionario) ed eterno

Tuttavia, risolvendo le sue stesse equazioni, Einstein si rese conto che, poichè la forza gravitazionale è sempre attrattiva, il suo universo statico sarebbe collassato sotto il suo stesso peso, alla minima perturbazione

Introdusse quindi un termine «repulsivo» nelle equazioni, la costante cosmologica Lambda, il cui compito era bilanciare l'attrazione gravitazionale e stabilizzare l'universo, che tornava ad essere statico ed eterno

Ma di lì a poco, alla luce di alcune nuove scoperte, definì questa scelta come «**il più grande errore della mia vita**»...

Eleon Borlini - 08/02/2019

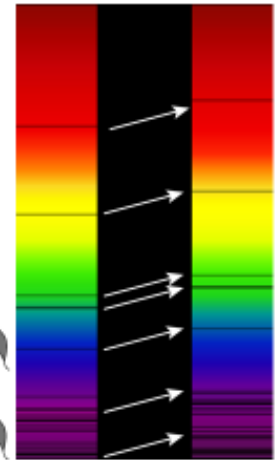
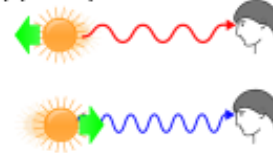
L'UNIVERSO SI ESPANDE

- SVELANDO IL SUO PASSATO...

Nel 1927, infatti, Hubble punta il telescopio verso il cielo e analizza la luce (lo spettro) proveniente dalle stelle, notando che le linee di assorbimento (le righe caratteristiche degli atomi che compongono le stelle) sono spostate verso il colore rosso (**redshift**).

Ne deduce che questa luce è sottoposta ad un **effetto doppler** elettromagnetico: un po' come accade per le onde sonore di una sorgente in avvicinamento o in allontanamento che si comprimono o si dilatano (es. ambulanza), aumentando o diminuendo in frequenza, così accade per la luce delle stelle: se esse si allontanano, la loro luce appare più «rossa».

Dunque l'universo si sta espandendo! E se si sta espandendo non può essere statico ed eterno, come pensava Einstein, ma deve aver avuto un'origine....



Eleon Borlini - 08/02/2019

L'UNIVERSO SI ESPANDE

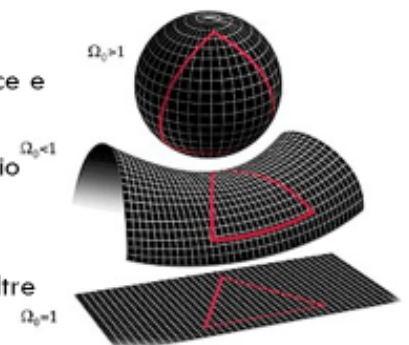
- ...E SVELA IL SUO PASSATO

In effetti, anche le equazioni di Einstein, da sole, predicevano l'espansione del cosmo.

Il sacerdote belga Lemaître fu il primo a capirlo: assieme a Friedmann risolse le equazioni di Einstein e, con un modello semplice e potente, descrisse l'evoluzione del nostro universo nel passato.

Gli scettici di questa ipotesi definirono ironicamente questo scenario «Big Bang» (caldo), facendo la fortuna di questo termine.

Vedremo poi come il parametro Ω qui a destra, che definisce il rapporto fra la massa osservata dell'universo e la massa critica oltre la quale l'universo invertirà l'espansione ed inizierà un collasso, $\Omega_0=1$ determinerà anche la descrizione dei suoi possibili futuri.



Eleon Borlini - 08/02/2019

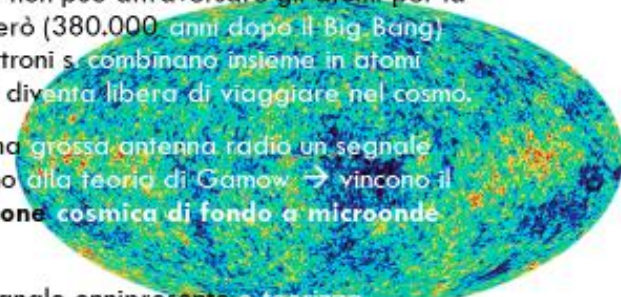
IN CERCA DI UN'ORIGINE

- I RESIDUI DI UN CALDO INIMMAGINABILE...

Sulla scia dell'ipotesi di un Big Bang caldo, negli anni '50 Gamow teorizza un universo inizialmente opaco a causa del fatto che la luce non può attraversare gli atomi per la troppa agitazione termica: ad un certo punto però (380.000 anni dopo il Big Bang) la temperatura scende, i nuclei atomici e gli elettroni si combinano insieme in atomi neutri e la luce, non più bloccata dagli elettroni, diventa libera di viaggiare nel cosmo.

Negli anni '60 Penzias e Wilson scoprono con una grossa antenna radio un segnale onnipresente, e con un po' di fortuna lo collegano alla teoria di Gamow → vincono il Nobel per la scoperta dell'onnipresente **radiazione cosmica di fondo a microonde (CMBR)**.

Guth cerca di spiegare l'uniformità di questo segnale onnipresente e teorizza **l'inflazione cosmica**.



Eleon Borlini - 08/02/2019

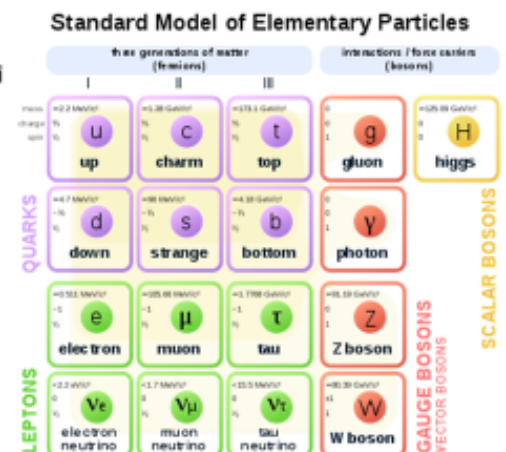
IN CERCA DI UN'ORIGINE

- E ASSEMBLANDO I TASSELLI DI UN ENORME PUZZLE...

Mentre la storia (gravitazionale) dell'universo prende forma, la fisica quantistica anche grazie agli acceleratori come l'LHC del Cern di Ginevra scopre uno zoo di particelle elementari che costituiscono materia ed energia dell'universo: è il cosiddetto **Modello Standard**.

Le tre forze fondamentali sono molto più forti, in termini assoluti, della gravità, ma essendo sia attrattive che repulsive non si notano così tanto alle grandi scale.

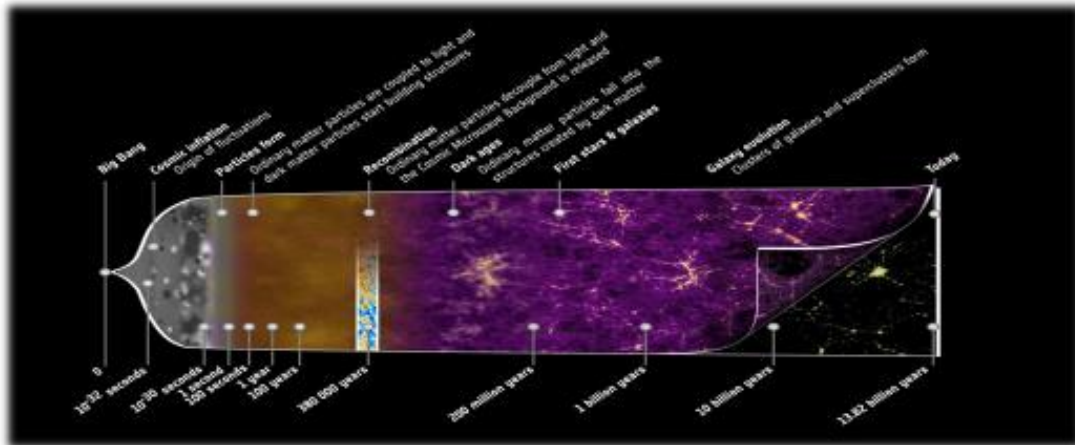
Ma significa che quando l'universo era piccolo, esse dovevano sicuramente contare molto...



Eleon Borlini - 08/02/2019

IN CERCA DI UN'ORIGINE

- ... L' UOMO RICOSTRUISCE FINO A 10^{-32} SECONDI DALL'INIZIO ...



Eleon Borlini - 08/02/2019

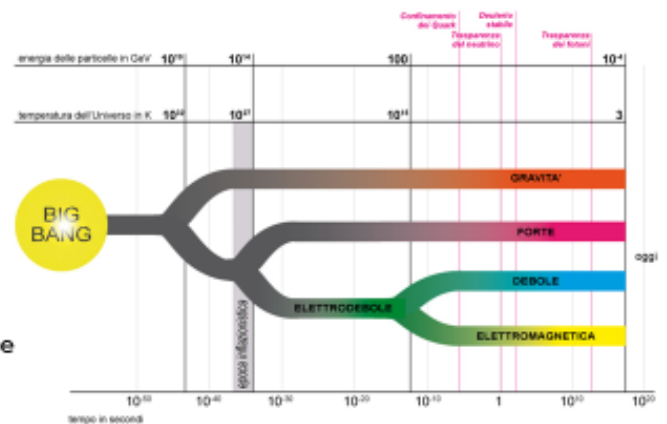
IN CERCA DI UN'ORIGINE

- ... E UNISCE 3 DELLE 4 FORZE FONDAMENTALI

Risalendo indietro nel tempo, l'universo si fa sempre più caldo e la fisica che lo descrive si fa sempre più distante dalla nostra quotidianità.

Quelle condizioni estreme possono essere raggiunte solo negli acceleratori di particelle, e solo fino ad un certo punto.

Sia dal lato teorico che dal lato sperimentale si vede che alle alte energie le differenti forze tendono ad assomigliare sempre più ad una stessa, unica, forza (**invarianza di gauge**).



Eleon Borlini - 08/02/2019

LA RICERCA È TERMINATA

- OVVERO: I FISICI DEVONO TROVARSI UN ALTRO LAVORO? UN BREVE RIASSUNTO



Eleon Borlini - 08/02/2019

... O FORSE NO?

Eleon Borlini - 08/02/2019

QUALCOSA NON TORNA...

- NON C'È ABBASTANZA MASSA...

1. La radiazione cosmica di fondo prevede un universo omogeneo (e isotropo)
2. Questa omogeneità però richiede una geometria piatta (euclidea) dello spaziotempo
3. Ma per avere una geometria piatta è necessario avere un parametro $\Omega = 1$
4. Il che implica avere una quantità di materia (ed energia) molto superiore a quella misurata nel cosmo!
5. E inoltre le galassie ruotano troppo velocemente...
6. E dalle misure di redshift l'universo sta accelerando (Nobel, 2011)...
7. **Quindi qualcosa non torna...**

Eleon Borlini - 08/02/2019

QUALCOSA NON TORNA...

- ... E SOPRATTUTTO LE EQUAZIONI DI EINSTEIN IMPAZZISCONO SUL PIÙ BELLO...

1. Le equazioni di campo di Einstein sono in grado di descrivere bene l'evoluzione dell'universo in tutti gli istanti, tranne in prossimità della singolarità dei buchi neri e della singolarità iniziale, il Big Bang.
2. Lì, infatti, la metrica si annulla e le componenti matematiche dello spaziotempo divengono infinite (fisicamente, lo spaziotempo si distorce a tal punto da «strapparsi»)
3. Lì qualsiasi cosa può accadere: è come nella moltiplicazione per zero, si può prendere un qualsiasi numero e moltiplicarlo per zero. Si otterrà sempre zero.
4. Inoltre, singolarità iniziale e finali (buchi neri) sono molto diverse fra loro...
5. **Quindi qualcosa non torna...**

Eleon Borlini - 08/02/2019

QUALCOSA NON TORNA...

- ... E LE QUATTRO FORZE FONDAMENTALI NON SI INCASTRANO COME DOVREBBERO

1. Le equazioni di campo di Einstein sono in grado di descrivere bene l'evoluzione dell'universo in tutti gli istanti, tranne in prossimità della singolarità dei buchi neri e della singolarità iniziale, il Big Bang.
2. In quelle regioni di spaziotempo la gravità, la forza dell'infinitamente grande, deve fare i conti con le altre tre forze fondamentali, che descrivono le interazioni fra i costituenti minimi della materia
3. In più, la gravità e le altre forze descrivono lo spaziotempo in modo completamente diverso: la prima come un tessuto liscio, deformabile, interagente con la materia; le altre tre come un'arena immutabile in cui si svolgono le interazioni, e che a lunghezze infinitesime diventa una schiuma quantica
4. **Quindi qualcosa non torna...**

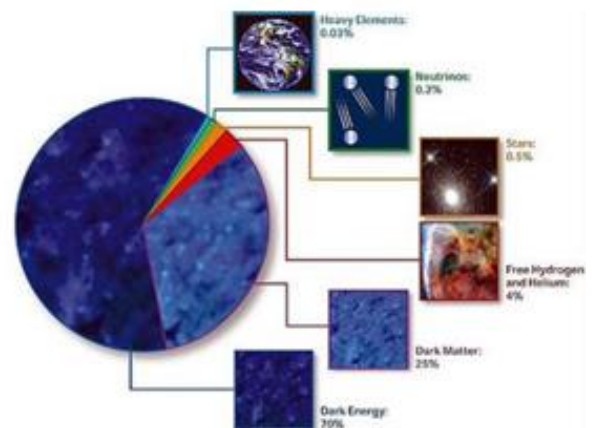
Eleon Borlini - 08/02/2019

MASSA ED ENERGIA OSCURA

- L'UOMO NON VEDE IL 95% DEL PROPRIO UNIVERSO

Per spiegare la «piattezza» dell'universo e rendere conto delle osservazioni gravitazionali, gli scienziati postulano l'esistenza di molta più materia di quella che possiamo vedere e misurare (materia oscura fredda, cold dark matter, CDM) e di una forza repulsiva Lambda (come la costante cosmologica di Einstein) uniformemente diluita in tutto l'universo e che, in equivalente di massa, pesa tre volte la materia oscura.

È il cosiddetto **Modello Lambda-CDM**, ovvero il **Modello cosmologico standard** attuale dell'universo.



Eleon Borlini - 08/02/2019

MASSA ED ENERGIA OSCURA

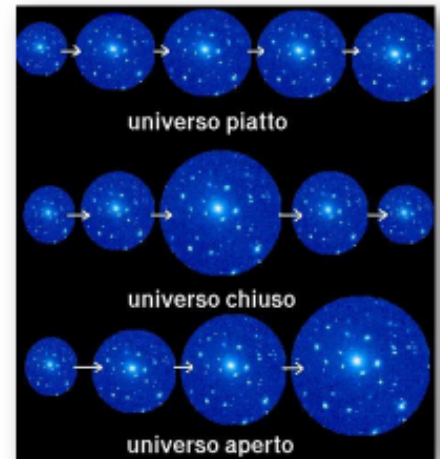
- ...MA CERCA DI PREDIRE IL PROPRIO FUTURO

Un universo piatto dunque, con il parametro $\Omega = 1$?

Questo singolo numero racchiude in sé la descrizione dell'intero futuro del nostro universo.

Tre sono le alternative che la cosmologia attuale propone:

1. Un universo piatto → Esso continuerà ad espandersi e raffreddarsi: è lo scenario della *Morte Termica*
2. Un universo aperto → L'accelerazione aumenterà sempre più fino a lacerare lo spaziotempo: è il *Big Rip*
3. Un universo chiuso → L'espansione rallenterà e si fermerà, invertendo il corso collassando in un *Big Crunch*



Eleon Borlini - 08/02/2019

IN FONDO AD UN BUCO NERO

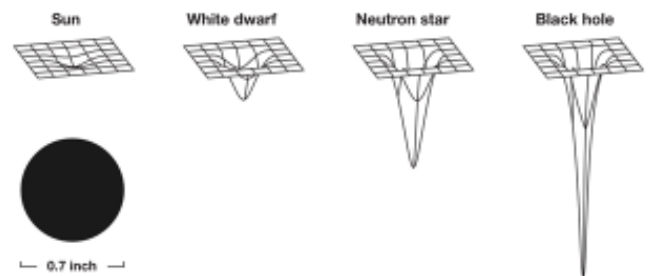
- LA FOLLIA DELLA RELATIVITÀ GENERALE...

Abbiamo visto prima come in certi casi le equazioni di Einstein producano dei risultati infiniti.

È questo il caso dei buchi neri, oggetti derivanti dal collasso estremo di una stella e con un'attrazione gravitazionale così forte da non permettere alla luce (e ad ogni altra cosa) di sfuggire, e da deformare il tempo proprio dilatandolo rispetto a quello di un osservatore esterno.

Possiamo solo ipotizzare cosa succeda al centro di simili oggetti, celati a noi da un velo invalicabile, l'orizzonte degli eventi.

Qui lo spaziotempo si lacera, e la relatività generale non è più valida.



Eleon Borlini - 08/02/2019

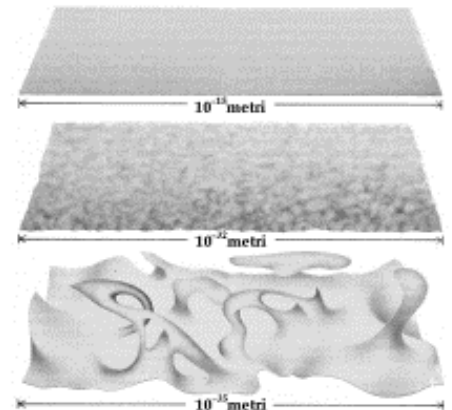
IN FONDO AD UN BUCO NERO

- ...E DELLE ALTRE TRE FORZE FONDAMENTALI

Si potrebbe pensare che, laddove la gravità fallisce nelle sue predizioni, ci vengano incontro le altre 3 forze fondamentali.

Purtroppo anche la meccanica quantistica, su distanze che tendono allo zero (e, in particolare, alla lunghezza di Planck), si comporta in modo molto strano.

Per il principio di indeterminazione, misurare distanze piccolissime equivale ad enormi indecisioni sul contenuto di energia di quel minuscolo spazio, e questo comporta che la descrizione più accurata del mondo alle scale che tendono a zero sia una sovrapposizione di stati caotici chiamata **schiuma quantica**.



Eleon Borlini - 08/02/2019

CERCANDO DI SPIEGARE QUELL'ISTANTE

- LA TEORIA DELLE STRINGHE

Per cercare di evitare le singolarità e i termini infiniti sia in prossimità delle singolarità della relatività generale, sia derivanti dal trattare le particelle elementari come puntiformi, si **ipotizza che i costituenti ultimi** di protoni, neutroni, elettroni, quark, etc **siano minuscole stringhe di energia vibranti**, circa delle dimensioni della lunghezza di Planck.

La teoria delle stringhe è quella che gode di maggior consensi nella come aspirante teoria di gravità quantistica, se non di **Teoria del Tutto**.

Sebbene abbia diversi inconvenienti: tra gli altri, prevede almeno 10 dimensioni (9 spaziali + 1 temporale) e moltiplica esponenzialmente il numero di universi possibili.

E inoltre è una teoria ben lontana dall'essere verificabile (o falsificabile)...

Eleon Borlini - 08/02/2019

CERCANDO DI SPIEGARE QUELL'ISTANTE

- LA GRAVITÀ QUANTISTICA A LOOP

Il secondo approccio più importante (in ordine di consensi della comunità scientifica) per cercare di unire le forze fondamentali dell'universo è quello della **Gravità quantistica a loop (LQG)**.

L'approccio seguito dai teorici è simile a quanto accadeva per il passaggio dalla meccanica newtoniana alla meccanica quantistica: cioè quello di partire dalle equazioni della relatività generale e «quantizzarne le coordinate».

Si ottiene uno spaziotempo non più liscio e continuo ma discreto, un reticolo che ha una dimensione minima (nell'ordine della lunghezza di Planck). **Lunghezze, superfici ed aree ora sono quantizzate**, come le particelle, e la dimensione minima dello spazio non è più zero, ma è finita.

Ma anch'essa è una teoria ben lontana dall'essere verificabile (o falsificabile)...

Eleon Borlini - 08/02/2019

L'ORIGINALITÀ (INSPIEGATA) DELL'ORIGINE...

- UN ORDINE IMPROBABILE

L'origine dell'universo, per come descritta dalla moderna scienza, fa sicuramente sorgere alcune questioni fondamentali interne alla scienza stessa.

La prima di queste è stata evidenziata, tra gli altri, dal fisico inglese Roger Penrose, e mette in luce come le singolarità della relatività generale siano di due tipi molto diversi: da una parte i buchi neri, dall'altra il Big Bang.

Se infatti i buchi neri, per definizione, non trasmettono alcuna informazione su di sé (se non la massa e la rotazione), cancellando tutta l'informazione della materia che in essi è caduta, il Big Bang è la sorgente dell'informazione (e di tutta la materia e l'energia del nostro universo).

Questo si traduce in termini fisici in **un'altissima entropia per i buchi neri e una bassissima per il Big Bang**, e considerando che gli stati ad altissimo disordine sono di gran lunga i più probabili si può calcolare che la probabilità di un universo ordinato come il nostro sia di $1/10^{10^{23}}$.

Eleon Borlini - 08/02/2019

... E DEL NOSTRO UNIVERSO IN GENERALE

- UNA FORTUNA INSPIEGABILE

Alcuni fisici poi hanno calcolato che se **alcune costanti fisiche**, come quelle che abbiamo incontrato stasera, **fossero leggermente diverse**, il nostro universo sarebbe radicalmente diverso, tale che **una forma di vita intelligente analoga alla nostra probabilmente non si sarebbe potuta sviluppare**.

Ad esempio, se la forza elettromagnetica fosse leggermente più intensa rispetto a quella gravitazionale, l'attrazione fra protoni ed elettroni sarebbe stata inizialmente così forte da far collassare gli atomi su se stessi, ed estinguere l'universo in un enorme buco nero in poche frazioni di secondo. Se invece fosse lievemente più debole, gli atomi non si sarebbero mai formati.

Questo fatto è definito come «**principio antropico debole**», ed evidenzia come il nostro universo sia più unico che raro e, per questo adatto alla vita umana.

Eleon Borlini - 08/02/2019

EPILOGO: LA DOMANDA DI SENSO

Un universo unico, e inspiegabilmente ordinato. Non è concordismo, ma la diagnosi delle più recenti teorie fisiche fondamentali e cosmologiche.

E mentre le domande (e gli scogli) che la fisica incontra per cercare di spiegare l'universo si ampliano e si fanno sempre più ardue, gli scienziati si trovano ad aver a che fare sempre più da vicino con i fondamenti delle loro teorie: cos'è lo spazio, cos'è il tempo? Cos'è il nulla, e cos'è l'Essere?

E, nel tentativo ultimo dell'unificazione della Natura, cominciano a prendere in prestito idee e concetti fecondi maturati nei secoli dalla filosofia e, quando anche questi non sembrano sufficientemente potenti, dalla teologia...

Eleon Borlini - 08/02/2019