

RELATIVITA' GENERALE E FENOMENOLOGIA UNIVERSALE

GIOVANNI BIGNAMI

*Dipartimento di Fisica Teorica e Nucleare, Univ. Di Pavia, Via U.Bassi, 6 Pavia
Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements, 9, Av.e du Colonel Roche- Toulouse- Francia*

Come primo tassello della discussione che intendo affrontare, propongo una riflessione sul concetto di 'COSMOLOGIA'. Con questo termine si indica il complesso degli studi sulla genesi e forma dell'universo dalle origini al tempo presente, con previsioni ed analisi proiettate nel futuro. Argomento vasto, senza dubbio.

Inizio da Einstein. Mi interessa soffermarmi non tanto sugli studi che lo portarono al Nobel, ma sulla sua ricerca datata 1917, anno in cui propone una descrizione dell'universo basata sulla sua teoria della relatività generale.

Nonostante l'elevata drammaticità di quell'anno (si era nel pieno della prima guerra mondiale), Einstein riusciva a rimanere totalmente focalizzato sul suo lavoro, arrivando ad elaborare idee complesse e assolutamente innovative.

Ciò che allora stupì più di tutto, e che ancora oggi presuppone una sfida per la nostra mente abituata a basarsi sui nostri organi percettivi, è la considerazione del peso della luce. Da questa idea discende la conclusione che ogni raggio di luce possa essere deviato da una massa e che quindi anche la luce di una stella possa essere influenzata dalla presenza del Sole.

Appena finita la guerra, Arthur Eddington, famoso astronomo inglese, misura la curvatura della luce durante una eclissi solare. Concettualmente, l'esperimento non è difficile: nel suo moto apparente, il Sole passa sempre "davanti" a campi stellari. Vicino al Sole ci sono sempre stelle che, però, non si vedono, annegate come sono dalla sua luce abbagliante. La situazione cambia durante una eclissi, perché, in questo caso, la sorgente di luce molto violenta viene eliminata. Misurando la posizione di una stella vicina al bordo del Sole rispetto ad altre stelle, Eddington vide che la posizione apparente

della stella vicina era stata alterata dalla massa del Sole. In altre parole, viaggiando dalla stella all'osservatore la traiettoria della luce era stata deviata, esattamente della quantità predetta da Einstein, perché era passata vicino alla massa del Sole.

Si trattava della prima prova sperimentale sulla correttezza della relatività generale: una vera rivoluzione.

Un altro importante passo avanti viene compiuto da Edwin Hubble, giovanottone americano, ex giocatore di football, che nel 1923 dimostra che l'Universo non è formato dalla sola Via Lattea.

Come? Osservando M31, una nebulosità nella costellazione di Andromeda, scopre la presenza di stelle variabili e, ipotizzando che si tratti dello stesso tipo di stelle variabili che conosciamo nella nostra Galassia, calcola la loro distanza, che risulta pari a più di 20 volte il diametro della nostra galassia, cioè, per l'epoca, una cosa infinitamente lontana. Di colpo le dimensioni dell'universo vengono moltiplicate per fattori inimmaginabili e la Via Lattea diventa una di innumerevoli galassie che compongono l'Universo.

Per la verità, la relazione tra periodo di variabilità e luminosità delle stelle Cefeidi era stata scoperta da un'astronoma, Henrietta Leavitt, alla quale andrebbe riconosciuto buona parte del merito della scoperta di Hubble, che non era certo noto per il suo femminismo. La presenza femminile è sempre stata vista con sospetto nel mondo astronomico che ha tollerato la presenza di sorelle, figlie e mogli di astronomi ma che, fino ad epoche relativamente recenti, ha stentato a riconoscere il merito delle ricercatrici.

Tutto ciò apre le porte all'idea di un universo che è molto più ampio di quanto potessimo immaginare.

Ma Hubble fa di più: trova altre galassie e, osservando che la luce delle galassie più lontane assume tonalità rossastre, elabora un grafico nel quale inserisce in ascissa le coordinate della distanza ed in ordinata quelle della velocità di allontanamento, giungendo alla conclusione che vi sia un rapporto di proporzionalità: ci si allontana più rapidamente se siamo più lontani.

Obiettivamente c'è da osservare che i dati sono modesti e un po' raffazzonati, ma come spesso succede

ai geni, l'intuizione è giusta e diventa il principio di espansione dell'Universo. Scoperta destabilizzante. Persino Einstein, all'inizio, dubita un po'. Ma poi, a cavallo tra gli anni '30 e '40 accetta l'idea di un universo non statico, ma dinamico, in cui tutti si allontanano da tutti.

Nelle lettere che lo scienziato di origine tedesca scrive ad uno studioso suo amico bulgaro, Salonine, si trova la progressiva acquisizione di fiducia in questa idea così fortemente innovativa. Tuttavia, ha dei dubbi circa la possibilità di verificare le sue ipotesi sulla base dei dati.

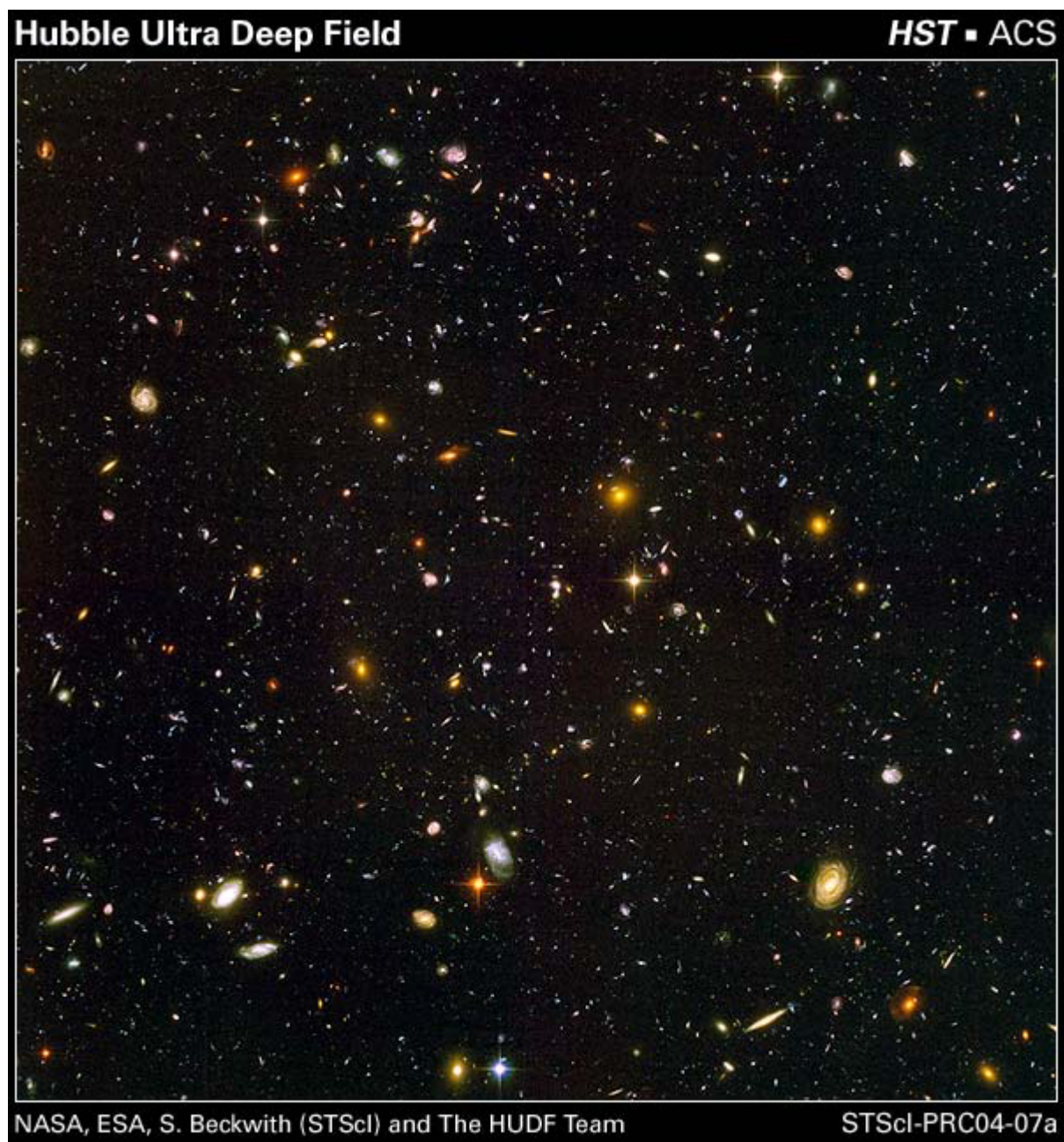
In una missiva datata '51, Einstein si esprime così: “La teoria unitaria dei campi è terminata. Ma è così difficile utilizzarla matematicamente che, malgrado tutto il lavoro fatto, non sono in grado di verificarla in alcun modo. Questa situazione continuerà per molti anni, principalmente perché i fisici hanno poca comprensione degli argomenti logici e filosofici”

Più chiaro di così...

Queste due menti così diverse sono state capaci di elaborare concetti e teorie che hanno permesso all'astronomia di crescere e di fungere anche da essenziale verifica alla relatività generale.

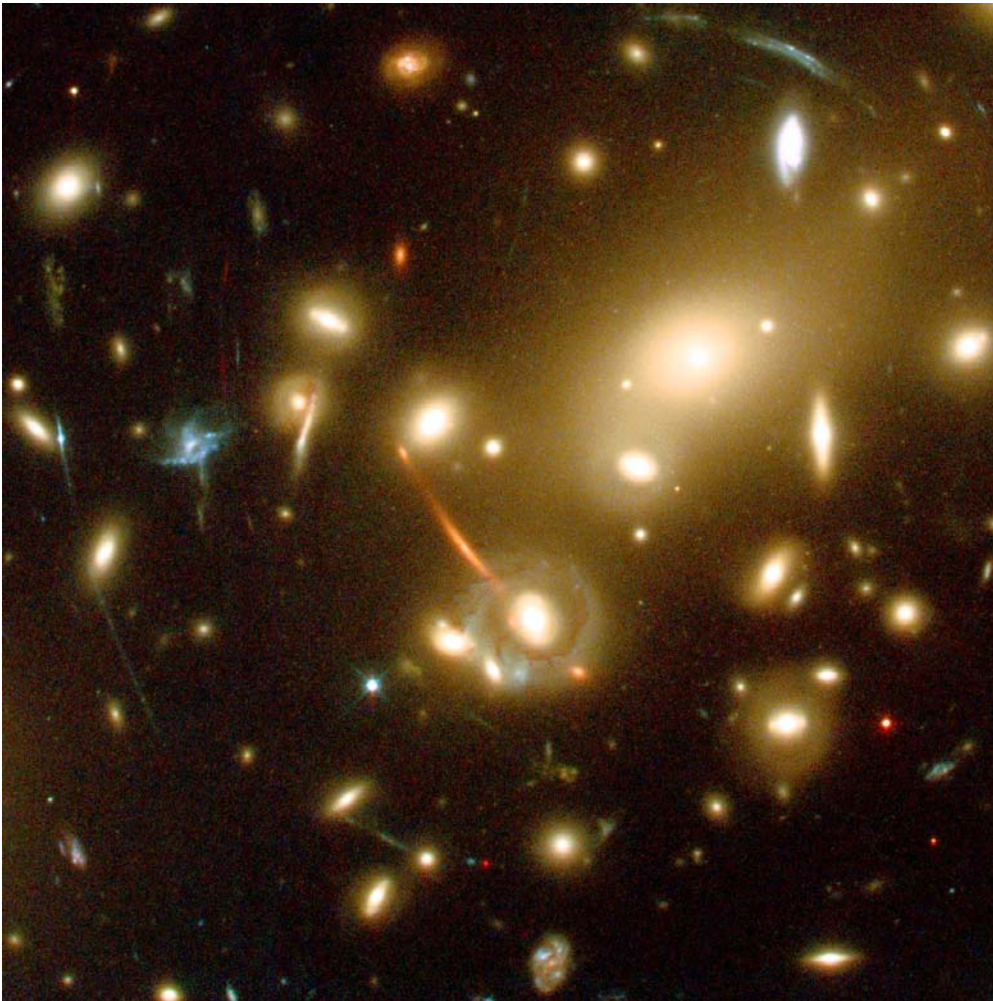
E' quindi naturale che il telescopio spaziale della NASA si stato dedicato proprio a Edwin Hubble. Lo Hubble Space Telescope (in breve HST) ha ottenuto risultati straordinari. Tra i più significativi possiamo citare le immagini più profonde del cielo mai ottenute: si tratta dello Hubble Deep Field, che è riprodotto nella **figura 1**. Contiene moltissime galassie, ciascuna delle quali è composta da 100 miliardi di stelle, grosso modo come la nostra. Le più grandi sono quelle più vicine; le più piccole, che si vedono appena e sono sempre più rosse, sono lontanissime. Si scoprono cose eccezionali. Anche perché bisogna ricordare che per quasi quattromila anni l'uomo ha osservato il cielo ad occhio nudo. L'ultimo fu Keplero, che formulò le sue leggi partendo dall'osservazione dell'orbita di Marte. Poi giunse Galileo, che nel 1609 realizzò il primo cannocchiale. Da allora, per quattrocento anni, l'astronomia ha messo a punto strumenti sempre più grandi. Da quaranta anni abbiamo sfruttato i progressi della corsa allo spazio e studiamo l'universo al di sopra dello schermo dell'atmosfera: 4440,

sembra una formula magica.



Ritornando all'immagine di HST del cielo profondo, impariamo che il cielo è pieno di miraggi gravitazionali. La deviazione dei raggi luminosi ad opera del Sole, scoperta da Eddington, può essere generalizzata. Consideriamo un oggetto lontanissimo: se la luce che emette, prima di arrivare a me, passa vicina a qualche altra galassia, e abbiamo visto che di galassie ce n'è tantissime, subisce

l'attrazione gravitazionale e quindi la sua traiettoria devia e si forma il miraggio gravitazionale. A seconda della massa dell'oggetto che agisce da lente e della distanza tra la lente e la traiettoria originale dei raggi luminosi, si ottengono figure diverse. L'immagine originale si può sdoppiare o moltiplicare, oppure può formare un arco, oppure molti archi, se la lente gravitazionale è un ammasso di galassie (**figura 2**). La deformazione delle immagini fornisce informazioni sulla distribuzione e sull'entità della massa che fa da lente. E' un modo molto attuale per studiare quella massa che noi non vediamo. I miraggi gravitazionali ci dicono che la massa oscura c'è, ci permettono di pesarla. Purtroppo non ci aiutano a capire di che cosa sia fatta.



Quello della materia oscura è uno dei più importanti problemi dell'astrofisica attuale. I dati HST, uniti a risultati di studi della radiazione di fondo cosmica, ci dicono che la materia visibile è appena il 4%

della materia che costituisce l'Universo.

Interpreto questo dato come un nuovo colpo inferto all'antropocentrismo, dopo che Copernico ha dimostrato che la Terra non è il centro dell'universo e, a distanza di tre secoli, Darwin ha detto che siamo un caso particolare di scimmie. Adesso si scopre che quello di cui siamo fatti noi, la materia che noi vediamo, è un pizzico di sale in un Universo che è dominato da qualcosa di diverso, che noi ancora non conosciamo.

Tornando all'analisi dei dati ottenuti coi potenti telescopi di cui disponiamo. Forse l'aspetto più interessante della ricerca astronomica odierna è quello legato allo studio delle 'SUPERNOVAE', cioè a quelle stelle che giungono all'esaurimento del loro combustibile nucleare ed esplodono liberando enormi quantità di energia. Esistono diversi tipi di supernovae, ma gli astrofisici sono particolarmente interessati a quelle di tipo Ia, che derivano dall'esplosione di nane bianche e che hanno sempre la stessa luminosità. Sapendo questo, e valutando con precisione i dati, è possibile misurare la distanza di ogni supernova di tipo Ia, e quindi della galassia nella quale è esplosa. Dovremmo ritrovare la legge di Hubble e invece scopriamo che le supernovae sono più distanti di quanto ci si potrebbe aspettare, come se ci fosse una forza repulsiva sconosciuta che fa accelerare il moto delle galassie.

Che cos'è questa forza? Einstein stesso ne aveva supposto l'esistenza, ma non era riuscito a trovare una spiegazione. Noi, a distanza di quasi 50 anni, siamo, sostanzialmente, nella sua situazione. Sappiamo che esiste; ne osserviamo gli effetti, ma non riusciamo a comprenderla. Per questo la chiamiamo 'Energia Oscura'.

Al di là di questa ignoranza, bisogna sottolineare la fortuna di vivere un momento storico in cui c'è una così grande rivoluzione in campo astronomico, quasi paragonabile a quella vissuta all'epoca della scoperta dell'espansione dell'universo, grazie a strumenti di elevata affidabilità e di capacità di raggiungere profondità straordinarie, come mai è avvenuto precedentemente.

Come esempio di quanto ho appena detto, vorrei illustrare i risultati di tre ricerche molto recenti, nelle

quali hanno avuto ruoli importanti scienziati italiani. Sono ricerche foriere di sviluppi interessantissimi e che confermano ancora di più la validità della teoria della relatività generale, attraverso un'osservazione attenta dell'universo e dei suoi componenti.

Il primo esempio che vi propongo, anche se nell'ordine non vi è nessun criterio di importanza, è quello che ha visto coinvolto un mio collega di Pavia, Bruno Bertotti, coadiuvato da collaboratori, che hanno condotto un esperimento speciale utilizzando l'antenna sulla sonda Cassini durante il viaggio che quest'ultima ha compiuto verso Saturno. C'è stato un momento nel viaggio interplanetario in cui la sonda Cassini si è trovata dalla parte opposta della Terra rispetto al Sole. Misurando le variazioni del segnale radio a seguito del passaggio radente rispetto al Sole, si è potuto misurare accuratamente l'influenza della massa del sole sulla propagazione delle onde radio, ripetendo, con maggiore precisione, l'esperimento di Eddington. Un esperimento spaziale a basso costo ed in più molto importante.

Altro contributo significativo alla validità di questa teoria è quello ottenuto grazie all'intuizione di un fisico italiano dell'università di Lecce, il Prof. Ciufolini, che, insieme ad un collega statunitense, ha usato i risultati di due satelliti dell'ASI (Agenzia Spaziale Italiana), messi in orbita con il contributo della Nasa. L'esperimento ha permesso la misurazione, precisa ad una frazione di centimetro, dell'«Effetto Lens-Thirring»: cioè una conferma che la Terra, nel suo moto di rotazione, trascina con sé il suo sistema di riferimento. E' un concetto abbastanza complesso, ma la sua verifica è estremamente semplice: si è trattato di inviare nello spazio due piccoli satelliti, due sfere di meno di un metro di diametro, interamente ricoperti di specchi, e bombardarli dalla terra con dei raggi laser per misurare, con telescopi di potenza elevata, la traiettoria dei fotoni che tornavano indietro, e quindi valutare la distanza dei satelliti stessi rispetto all'orbita teorica newtoniana di riferimento.

L'ultimo risultato è di una ricerca compiuta non dallo spazio, come le due precedenti, ma direttamente sulla Terra, precisamente da un gruppo di radioastronomi che osservano nel centro dell'Australia,

luogo scelto per la quasi assoluta mancanza di interferenze dato che, come dicono loro, l'unico rumore è quello dei salti dei canguri.

Questi studiosi hanno scoperto un oggetto celeste fuori dal comune. Per la precisione, la prima persona che lo ha visto è una ragazza italiana, dottoranda di meno di 30 anni.

Cosa hanno trovato? Due stelle di neutroni in un sistema binario, cioè che girano l'una intorno all'altra. Di stelle normali binarie ce ne sono moltissime, mentre le stelle di neutroni -da sole o in coppia con un'altra stella- sono già molto più rare; trovare un sistema binario formato da due stelle di neutroni è una vera rarità. Il periodo orbitale di questo sistema è di 2,4 ore. L'orbita che la Terra descrive in un anno intorno al Sole viene compiuto in meno di 3 ore. Inoltre, queste due stelle sono entrambe pulsar radio: cioè emettono impulsi di onde radio. I radioastronomi possono seguirle passo passo nella loro orbita e hanno un oggetto straordinario per mettere alla prova ancora una volta la relatività generale.

Mentre non sappiamo con certezza come nasca un sistema di questo genere, sappiamo come può morire: le due stelle perdono energia attraverso l'emissione di onde gravitazionali, le loro orbite si stringono fino a che non entrano l'una dentro l'altra, in termine tecnico 'coalescono'. La loro massa comune diventa troppo grande per poter continuare ad essere una stella di neutroni e diventano esse stesse un buco nero, risucchiando ciò che hanno intorno e producendo grande quantità di onde gravitazionali.

Questo accadrà fra 85 milioni di anni ed è quindi improbabile che noi potremo vederlo, ma credo che, fino a quella data, la teoria della relatività generale non subirà scossoni e sarà anche ulteriormente confermata dalle analisi fenomenologiche dei dati da terra e dallo spazio.