



Distretto 2060 Italia Nord-Est Governatore Alberto Palmieri

ROTARY CLUB BASSANO DEL GRAPPA CASTELLI

Presidente Alferio Crestani

anno rotariano 2016-17 - XVIII del Club fondato il 27/07/1999

Bollettino n° 13 -XVIII

10 novembre 2016

prof. Cesare Barbieri: “le onde gravitazionali”

L'anno scorso, il 10 settembre, era venuto tra noi per parlarci della luce; questa sera, ma ormai siamo preparati, ci ha proposto un tema ancora più astratto: le onde gravitazionali. Il prof. Casare Barbieri è ritornato con la moglie Giovanna a trovarci e a regalarci una lezione inedita, non facile, di scarsa audience, solo per pochi. Qui di seguito il testo originale che, gentilmente, il rotariano Cesare ci ha lasciato. Altro regalo al nostro club.

Ai primi dell'anno è stata annunciata una scoperta davvero molto importante: la prima rivelazione diretta delle onde gravitazionali. Fornirò qualche elemento di riflessione:

Cosa sono le onde gravitazionali?

Chi le ha scoperte e come?

Perché sono importanti?

Ci saranno sviluppi futuri?

Ma prima devo fare un balzo all'indietro di oltre 100 anni per ricordare Albert Einstein.

- Nel 1905 ridefinì i concetti di spazio e di tempo. Scomparve il tempo assoluto di Galileo e Newton: la durata di un avvenimento dipende da chi lo guarda, per un osservatore lo stesso evento può durare un tempo infinitesimo, per un altro un tempo pressoché infinito; ne consegue che per descrivere un evento ci vogliono non 3 coordinate spaziali (x, y, z) +1 temporale (t) come nella meccanica classica ma 4 coordinate: non è possibile separare nettamente lo spazio dal tempo, ma si deve ragionare con un continuo quadri-dimensionale (x, y, z, ct). Notate che compare una nuova costante, c, la velocità della luce. che nel vuoto vale $c = 3 \times 10^8$ km/s.
- Nel 1915 collegò la geometria dello spazio-tempo al contenuto di materia: la materia determina la geometria stessa, lo spazio euclideo, basato sui concetti di punto e linea retta può trasformarsi in uno spazio di arbitraria curvatura in presenza di materia.

Lo strumento matematico di tale nuova teoria venne fornito dal calcolo tensoriale sviluppato a Padova da Gregorio Ricci Curbastro e Tullio Levi Civita.

Anche se molto meno noto di Einstein, Karl Schwarzschild è stato uno dei più grandi scienziati di quel tempo, precedendo addirittura Albert nella soluzione esatta delle equazioni di campo. Una soluzione nella quale preconizzava l'esistenza dei *buchi neri*.

E' interessante ricordare che Karl trovò tale soluzione quando serviva come volontario sul fronte russo nel 1916. Purtroppo la sua gracile costituzione e la sua età (44 anni) non gli consentirono di sopravvivere, morì di polmonite nello stesso anno.

Oltre al buco nero di Schwarzschild, le equazioni di Einstein furono applicate a tutto l'Universo, ma nacque subito un enorme problema: la matematica *non trovava soluzioni stabili, l'Universo come un tutto o si espande o si contrae*.

Einstein provò a uscire da questa apparente contraddizione introducendo nelle equazioni una arbitraria '*costante cosmologica*' dal significato puramente matematico dato che non le si poteva associare alcun significato fisico. Questa costante è ritornata negli ultimi anni, seppur in forma diversa e per diverse motivazioni, per spiegare la cosiddetta 'energia oscura' dell'Universo, di cui parlerò più avanti.

Ricordiamo a questo punto che il matematico russo Alexander Fridman aveva riscritto verso il 1928 le equazioni di Einstein per un universo non statico, ma in *espansione o contrazione*.

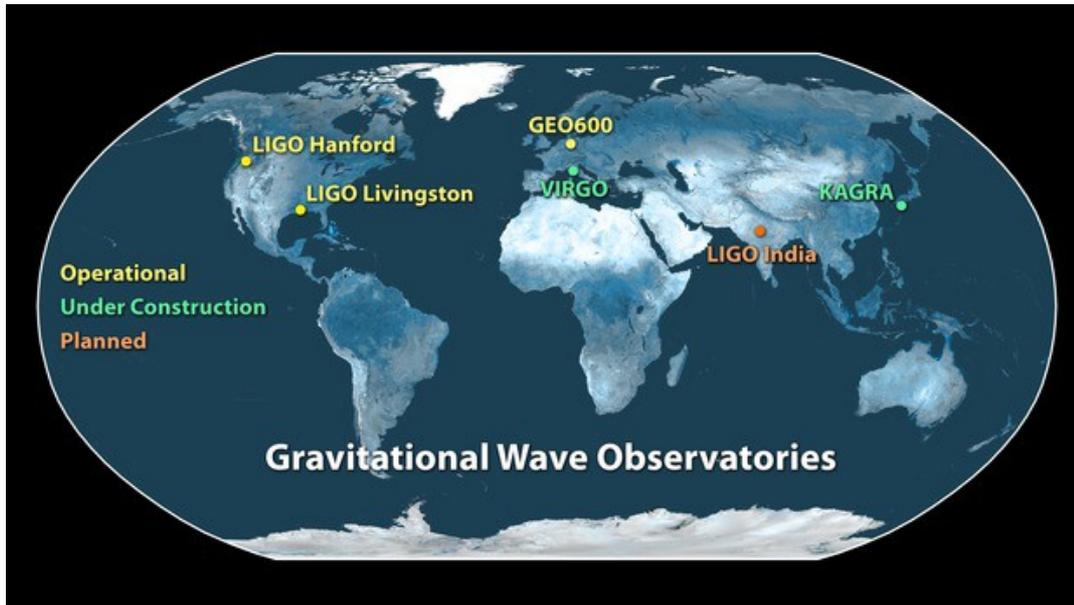
Insomma i tempi erano maturi per un cambio filosofico epocale: *l'Universo non deve necessariamente essere in equilibrio*. Il punto di svolta avvenne appena un anno dopo il lavoro teorico di Fridman, grazie al telescopio di Mt. Wilson e a Edwin Hubble. Il telescopio di Mt Wilson (sopra a Pasadena, nei pressi di Los Angeles), con specchio di 2.5 m di diametro, era allora il più grande e perfezionato. Edwin Hubble poté così cominciare a fotografare gli spettri delle galassie più lontane e determinare che la loro velocità cresce con la distanza, l'Universo cioè si espande uniformemente in tutte le direzioni.

Torniamo alla Relatività Generale di Einstein del 1915/16 e alla deformazioni dello spazio e tempo dovute a una forte concentrazione di materia. Supponiamo che per un qualche accidente il Sole si deformi in modo disastroso, le linee che delineano lo spazio-tempo subirebbero delle deformazioni, o delle oscillazioni, cioè si genererebbero delle onde gravitazionali.

Quindi le onde gravitazionali sono deformazioni dello spazio-tempo causate da cambiamenti delle forme o delle posizioni delle masse, e che si propagano con la velocità della luce. Tali deformazioni però sono infinitamente piccole, a livello di frazioni di un atomo, difficilissime da rivelare a meno che le masse che le generano siano molto grandi e che gli strumenti di rivelazione siano sensibilissimi.

Nel 1965 il fisico statunitense Joseph Weber annunciò con grande enfasi di aver rivelato onde gravitazionali mediante un massiccio cilindro metallico che funzionava come 'antenna gravitazionale'. Sull'emozione di questo annuncio si costruirono immediatamente altre antenne, una anche qui a Padova che fu chiamata AURIGA. Una realizzazione di straordinario ingegno, con avanzatissime innovazioni tecnologiche. Ma infine, né AURIGA né gli altri cilindri gravitazionali, hanno rivelato alcunché, James Weber aveva dato un annuncio basato su dati spuri. Quali strumenti hanno rivelato le onde gravitazionali? I grandi interferometri, di cui vediamo il principio di funzionamento.

Dove sono gli interferometri gravitazionali odierni?



Cosa hanno visto i due in USA? La distanza tra i due bracci dell'interferometro di Livingston ha avuto una serie di oscillazioni che sono durate qualche decimo di secondo, e lo stesso ha fatto qualche millesimo di secondo più tardi l'interferometro di Hanford.

Da dove veniva l'onda? *Non sappiamo bene da quale direzione sia venuta*, perché con due sole antenne non si ha una buona direzionalità. La sorgente è verosimilmente nell'emisfero australe. Si conosce invece molto meglio la sua distanza: dalla intensità e forma del segnale si ricava che deve essere di circa 1.6 miliardi di anni-luce, cioè una distanza cosmologica. Questa della distanza è una *sostanziale differenza con il caso della luce*. Noi astronomi dobbiamo pensare molto di più. Invece l'onda gravitazionale porta con sé *sia la distanza che le masse che l'hanno prodotta*.

Quali sorgenti l'hanno prodotta? La sorgente è stata identificata con la collisione e successiva fusione di due buchi neri. Le loro masse dovevano essere una di 36 e una di 29 masse solari. La fusione ha dato luogo a un singolo buco nero di circa 60 masse solari, mentre *3 masse solari sono state irraggiate come onde gravitazionali*.

Qualche mese dopo, una seconda onda arrivò simultaneamente sui due rivelatori, e quindi doveva provenire da una direzione boreale, non australe. Inoltre fu nettamente più debole della prima, causata quindi da due buchi neri meno massicci (14 e 8 masse solari). La distanza però è circa la stessa del primo, 1,4 miliardi di anni luce. Il segnale durò molto più a lungo, quasi un secondo, e ciò permise di verificare che uno dei due buchi neri era anche in rotazione.

Gli interferometri gravitazionali si svilupperanno in un prossimo futuro anche nello spazio, con il progetto europeo LISA.

Le due o forse più onde gravitazionale sino rivelate hanno fornito la prova più convincente **dell'esistenza dei buchi neri** e della loro capacità di irraggiare energia in peculiari condizioni di coalescenza. In altre parole, è pienamente confermata la validità della Relatività Generale di Einstein ed è per così dire cominciata l'era **dell'astronomia gravitazionale**.

Possiamo sperare che le onde gravitazionali servano a capire meglio l'Universo? Si aprirà una 'cosmologia gravitazionale'?

Vediamo perché c'è bisogno del loro contributo: se usiamo la radiazione elettromagnetica, in altre parole *la luce*, non ci è possibile vedere direttamente cosa è successo prima di circa 400.000 dall'inizio dell'espansione. Questa è l'ultima superficie visibile, prima di allora lo spazio diventa *opaco alla luce*. Proviamo allora a cambiare mezzo di indagine, usiamo la materia, non la luce. Le particelle elementari descritte dalla Meccanica Quantistica (come il *bosone di Higgs, i neutrini, l'anti-materia*) e oggi anche le *onde gravitazionali* sono quelle componenti materiali che ci potranno fornire ulteriori informazioni sugli inizi del nostro Universo, e qualche indizio sul suo futuro.

Che strana la realtà quantistica! La Meccanica Quantistica contiene degli elementi apparentemente in conflitto con l'esperienza quotidiana:

1. *L'energia non è un fluido continuo ma un insieme granulare di quanti discreti, e anche il tempo e lo spazio hanno unità elementari non ulteriormente divisibili (tempo di Planck, lunghezza di Planck)*
2. *Il principio di indeterminazione di Heisenberg limita a priori la precisione delle nostre misure*
3. *L'osservatore influenza l'esito di un esperimento*

Esaminiamo alcune conseguenze 'filosofiche' di questi tre elementi.

Realtà discreta e non continua? Numeri interi come nella aritmetica di Pitagora? Ricadiamo forse nei **paradossi di Zenone**? Zenone, allievo di Parmenide, formulò (circa nel 480 a.C.) quattro paradossi sul movimento, il più conosciuto essendo forse quello di *Achille che non raggiunge mai la tartaruga*.

Il ruolo dell'uomo? In generale, la situazione sembra fin troppo bene accordata con l'esistenza dell'uomo, basterebbero infinitesime deviazioni del valor ad es. della carica elettrica dell'elettrone per mutare completamente il mondo. Le varie caratteristiche dell'universo potrebbero allora rispondere a un 'disegno divino' che sin dall'inizio aveva come fine la possibilità di vita e *la presenza dell'uomo (principio antropico)*. Dio non è più l'orologiaio delle concezioni meccanicistiche, o finalistiche, la sua azione sul mondo assume connotati nuovi che sono oggetto di numerosi dibattiti tra scienziati, filosofi e teologi.

Dato che in Meccanica Quantistica ogni misura definisce uno stato che si materializza da una *infinita molteplicità di stati possibili in virtù dell'osservatore che conduce l'osservazione*, spingiamoci al limite estremo:

siamo sicuri che il 'nostro' Universo sia il solo?

forse ci è dato osservare solo uno degli infiniti universi che possono esistere, quello cioè in cui viviamo.

Lasciando però a filosofi e teologi queste considerazioni, ci limitiamo a affermare che non possiamo escludere l'esistenza di **più Universi coesistenti**.

Come progredire?

Come sempre, saranno le osservazioni a indicarci come superare le incertezze presenti, lungo varie strade:

1. Costruire telescopi terrestri e spaziali sempre migliori
2. Indagare sempre meglio l'infinitamente piccolo
3. Studiare i neutrini, le onde gravitazionali, i raggi cosmici, i lampi di radiazione gamma, l'anti-materia
4. *Scoprire altri essere intelligenti*

prof. Cesare Barbieri



Nato a San Giovanni in Persiceto (BO), laureato giovanissimo a Bologna in fisica 110 e lode. Professore di astronomia all'università di Padova nelle facoltà di astronomia, ingegneria aerospaziale, matematica. Direttore dell'osservatorio astronomico di Padova e Asiago, direttore del telescopio nazionale Galileo alle Canarie. Responsabile scientifico del contributo italiano a "OSIRIS", il sofisticato sistema di raccolta delle immagini a bordo della sonda europea "Rosetta". Ha fatto e pubblicato ricerche su corpi minori e sodio diffuso nel sistema solare, su telescopi e loro strumentazione, su ottica quantistica e astronomia, ...ha collaborato a moltissimi progetti con la NASA, l'ESA, ...è stato premiato dalla NASA. Medaglia d'oro dei benemeriti della cultura. Commendatore della Repubblica. Socio e presidente 2015-16 del R.C. Padova Nord. Insignito 2 Ph.