

NON COSÌ COSTANTI

INTERVISTA A

JOHN BARROW* FRANCESCO BERTOLA** ALESSANDRO OMIZZOLO***

a cura di Paolo Musso

Tre astrofisici affrontano una questione aperta dalle osservazioni e misurazioni più recenti: la costante di struttura fine che regola le interazioni elettromagnetiche negli atomi è rimasta «costante» nel tempo? A questa domanda sono legate altre complesse problematiche di natura cosmologica. Un'apertura verso la ricerca di frontiera e al tempo stesso una lezione di rigore e di metodo scientifico.

*Cosmologo e astrofisico, è *Research Professor* di Scienze matematiche a Cambridge.

**Ordinario di Astrofisica all'Università degli Studi di Padova e membro dell'Accademia Nazionale dei Lincei.

***Membro dello *staff* della Specola Vaticana.

Secondo una recente ricerca, una delle più importanti costanti fisiche universali, la costante di struttura fine alfa (α), potrebbe in realtà variare nel tempo. Tale ricerca è basata sullo studio dei quasar: potreste brevemente spiegare cosa sono?

Omizzolo I *quasar* (*Quasi Stellar Radio Objects*) sono gli oggetti più curiosi e più interessanti che noi possiamo osservare nell'universo oltre una certa distanza. Scoperti nel 1960 circa, si sono dimostrati subito essere potenti macchine energetiche, cioè emettono fortissime quantità di energia su quasi tutte le bande dello spettro elettromagnetico. Si trovano tutti a grande distanza da noi, una distanza tale che, combinata con la potenza della loro emissione, alle prime osservazioni li faceva apparire come

stelle. In realtà non sono stelle, ma sono i nuclei attivi di galassie molto distanti. Di questi *quasar* noi riusciamo a ottenere immagini, ma anche gli spettri, che sono per certi aspetti l'elemento più interessante dal punto di vista scientifico, perché ci consentono di ricavare moltissime informazioni sulle proprietà fisiche di questi oggetti celesti. Da questi spettri, in particolare da quelli di assorbimento, è possibile ricavare informazioni non solo sul *quasar* in se stesso, ma anche sul materiale che si frappone tra di esso e noi che lo stiamo osservando, di solito nubi di gas che hanno la capacità di assorbire parte della radiazione che viene dal *quasar*. In questo caso gli spettri che otteniamo sono appunto gli spettri di assorbimento, che, oltre a rivelarci la struttura di queste nubi interposte tra noi e l'oggetto, ci possono

dare altre informazioni fisiche, e in particolare nel nostro caso hanno fornito informazioni circa il valore di una delle costanti fondamentali di natura, che è la costante di struttura fine dell'atomo.

Però qualcuno contesta il fatto che i quasar siano realmente così distanti.

Bertola Il *quasar* è caratterizzato, oltre che dalle righe di assorbimento, da righe di emissione, e queste righe di emissione sono fortemente spostate verso il rosso. Allora, se vale l'interpretazione classica, la stessa che noi utilizziamo per le galassie, lo spostamento verso il rosso vuol dire velocità di recessione e alta velocità di recessione vuol dire grandi distanze. Quando fu scoperto il fenomeno, appunto all'inizio degli anni Sessanta, la cosa era abbastanza non dico controversa, ma insomma era talmente inatteso che ci fossero degli oggetti così brillanti e al tempo stesso con uno spostamento verso il rosso delle righe così grande, che c'è stato, all'inizio, qualcuno che ha messo in dubbio che lo spostamento verso il rosso fosse cosmologico (con «cosmologico» si intende che è dovuto alla velocità di recessione dell'universo). Da qui è nata una corrente di pensiero, che però ha sempre avuto pochi adepti, guidata principalmente da Fred Hoyle e Alton Arp, che ha cercato spiegazioni alternative a questo fenomeno. A tutt'oggi, però,

non esiste una spiegazione accettabile diversa da quella cosmologica, per cui la comunità scientifica ritiene che i *quasar* siano realmente a quelle distanze e che quindi debbano avere una luminosità intrinseca enorme per essere visibili fin qui; per questo si pensa che siano nuclei di galassie in una particolare fase della loro evoluzione, per cui diventano brillantissimi (da 100 a 1000 volte più di un'intera galassia). Poi probabilmente questi nuclei si spegneranno man mano che passa il tempo e diventeranno dei nuclei normali di galassie. Per questo non ne vediamo di vicini, perché noi vediamo vicine le galassie vecchie, e le galassie vecchie non sono, se non in rari casi, in questa fase.

Veniamo ora alla questione della costante di struttura fine.

Omizzolo Come dicevo prima, dalle righe di assorbimento è possibile dedurre il valore di questa costante fondamentale di natura, cioè appunto la costante α , come si presenta nei *quasar*. Si tratta della costante che regola le interazioni elettromagnetiche negli atomi; essa dice come gli elettroni sono legati all'interno dell'atomo e come gli atomi interagiscono tra di loro per interazione elettromagnetica ed è data



dal rapporto tra altre costanti di natura ($\alpha = e^2/\hbar c$), per cui è un numero puro, adimensionale.

Fu introdotta all'inizio del Novecento per spiegare un fenomeno osservato nello spettro dell'atomo di idrogeno, ossia che alcune righe non erano singole, ma risultavano divise in due righe vicinissime tra di loro quando questo atomo di idrogeno veniva sottoposto a interazioni elettromagnetiche abbastanza forti. L'entità della distanza tra queste due righe è molto piccola e dipende dal valore di α . Perché è un contributo importante? Perché, essendo i *quasar* a così grandi distanze nello spazio, lo sono contemporaneamente anche nel tempo. Quindi l'informazione che noi riceviamo da essi viene da una fase passata della storia dell'universo, e testimonianza di com'era l'universo nell'epoca in cui quel segnale è stato spedito verso di noi. Ora, nel caso dei *quasar* questo fenomeno dello sdoppiamento delle righe lo si osserva non solo per l'atomo di idrogeno, ma anche per gli atomi più pesanti. Un gruppo di ricercatori inglesi è andato a misurare l'entità dello sdoppiamento delle righe di alcuni elementi (per esempio il silicio e il magnesio) in un laboratorio a terra e ha confrontato questo valore con lo stesso sdoppiamento riscontrato nelle righe dei *quasar*: si è trovato che l'entità di questa suddivisione delle righe era diversa. Questo non troverebbe altra spiegazione se non nel fatto che la costante di

struttura fine, che regola appunto di quanto queste righe vengono suddivise, fosse diversa nel momento in cui la radiazione è stata emessa dai *quasar* rispetto al valore che troviamo noi sulla Terra. In sostanza, il dato scientifico sembrerebbe dire che questa costante non è una costante, perché in epoche passate aveva un valore diverso, e in particolare aveva un valore inferiore a quello attuale. Dico «sembra» perché il risultato, pur essendo sostenuto da un campione abbastanza consistente di dati, è comunque ancora soggetto a limitazioni strumentali, dovute sia agli errori di misura che anche ai limiti fisici della nostra strumentazione, e quindi è un risultato che merita ancora di essere verificato e approfondito ulteriormente, ma che comunque è importante per la comunità scientifica perché pone in discussione uno dei principi fondamentali su cui la fisica si è sempre costruita, ossia quello della immutabilità nel tempo delle leggi fisiche. Questo porterebbe a rivedere, per certi versi, i fondamenti della fisica così come noi la pensiamo.

Bertola Bisogna dire che questo problema della variazione delle costanti fisiche in cosmologia non è nuovo, perché anche in passato per esempio c'è stata una famosa cosmologia proposta da Dirac che supponeva che la costante di gravitazione non fosse una costante: solo che lì non c'erano prove, mentre qui ci sarebbe una misura della costan-

te. La cosa va vista nel quadro della cosmologia moderna, soprattutto questa cosmologia modernissima degli ultimi anni, in cui l'universo, dopo avere avuto un'espansione decelerata a causa della materia presente al suo interno, a un certo momento, cinque miliardi di anni fa, ha cominciato a subire un'accelerazione. Questa accelerazione è sicuramente la più grande scoperta degli ultimi anni in cosmologia (la scoperta risale infatti al 1998 ed è basata sullo studio delle *supernovae* lontane). Per questo si è dovuto ammettere la presenza di un fattore accelerante, che è chiamato l'energia oscura dell'universo. Se ne sa molto poco, anzi se ne sa quasi niente, ma sicuramente c'è, e la cosa ancor più interessante è che questa energia oscura nel bilancio massa-energia dell'universo rappresenta il 73%. Per cui noi attualmente abbiamo un universo che ha un 73% di energia oscura che non sappiamo cosa sia, un 4% solo di materia barionica, cioè la materia di cui siamo fatti e di cui sono fatte le stelle e i pianeti, e il rimanente 23% è invece materia oscura: situazione copernicana al massimo, in cui quello di cui noi siamo fatti rappresenta proprio un nulla nel bilancio dell'universo.

C'è però un altro gruppo di ricercatori che contesta questi risultati, anche se su una base un po' diversa...

Omizzolo In effetti c'è un altro

gruppo di astronomi che, a partire da misure su un tipo diverso di atomi, sempre fatte comunque sulle righe di assorbimento, giunge a un risultato che è in disaccordo con quello della variazione di α . I due risultati sono entrambi di valore, perché entrambi sono stati depurati da tutte le cause di errore conosciute (cause di errore che peraltro sono più presenti nella determinazione dei valori di laboratorio della costante α che non quelli astronomici), ma evidentemente nessuno dei due risulta essere ancora definitivo, tant'è vero che gli studi in tal senso, sia in un gruppo che nell'altro, non si sono fermati, ma continuano.

Questo per dire che anzitutto l'argomento è di estremo interesse, e, seconda cosa, che si sta seriamente cercando di vedere da che parte pende la bilancia, per capire se effettivamente questa variazione della costante è da ritenersi reale o se è semplicemente un effetto dei nostri limiti strumentali e di misura.

Bertola È chiaro che sempre, quando un risultato è nuovo, e per di più si basa su misure molto delicate, c'è un certo dibattito intorno al modo in cui sono state fatte le misure e così via. Però quello che è interessante è questa questione di metodo scientifico, cioè il fatto che sembra che ci sia questa evidenza della variazione di una costante, e che però al tempo stesso questa sia stata anche spiegata (infatti sono stati proposti alcuni modelli teo-



Gli osservatori della Specola Vaticana: a Castelgandolfo (Città del Vaticano, Italia) e a Tucson (Arizona, USA)

rici che incorporano questa previsione). Per cui quando si considerano le costanti nella fisica si può anche ammettere che le costanti non siano costanti, se esiste un modello che spiega perché non lo sono. Che poi adesso le osservazioni confermino o non confermino, questo è un passo che si farà in seguito, ma intanto è interessante avere fatto questo passo a livello teorico e metodologico.

Professor Barrow, lei ha lavorato molto su questo problema. Ci può dire la sua opinione in merito?

Barrow È ancora un problema molto difficile, per le persone che stanno analizzando i dati, determinare se il segnale proveniente da queste sorprendenti osservazioni fatte con i *Keck Telescopes* ci stia realmente dicendo che la costante sta variando. Non c'è dubbio che il segnale sia presente e sia statisti-

camente significativo, ma il problema è se possa esserci qualche difetto nel processo che faccia sì che le osservazioni ci mostrino gli oggetti come se avessero qualche strana proprietà sconosciuta, in modo da apparire come se la costante fosse leggermente differente. La differenza è piccolissima, cinque parti su un milione, sicché risulta più piccola di qualsiasi effetto di un esperimento di laboratorio. In effetti una delle cose più interessanti riguardo all'astronomia è che le osservazioni astronomiche sono di gran lunga più sensibili di qualsiasi ricerca di laboratorio, e questa è la ragione per cui abbiamo iniziato questo lavoro. Ora, un altro gruppo, quello di Michael Murphy, con i suoi collaboratori, ha analizzato un altro campione di oggetti. Queste osservazioni sono state svolte nell'emisfero australe, dal Cile, con il *Very Large Telescopes* (VLT), e questo insieme di dati si sta analizzando e sembra dare risultati differenti, anche se ha ancora un margine di errore significativo. Così noi speriamo nel prossimo futuro di poter comparare tutti e due gli insiemi di dati per vedere se lo stesso segnale è presente, ma per questo dobbiamo ancora lavorare un po' più sodo per cercare di rendere l'errore statistico più piccolo.

È possibile che avremo lo stesso risultato, ma anche che avremo risultati differenti.

Se si trovassero risultati differenti, questo potrebbe indicare che c'è qualche differenza nei due

Very Large Telescope sul Cerro Paranal (Cile)



campioni, oppure che abbiamo una diversa situazione di α nel cielo settentrionale rispetto a quello meridionale.

Insomma, c'è una quantità di nuovi dati osservativi che si stanno raccogliendo, e che incoraggiano a sperare di poter risolvere questa questione.

Purtroppo i moderni telescopi come i *Keck* e il VLT hanno la capacità di determinare lo spettro dei *quasar*, che richiede un'altissima risoluzione, ma il processo di analisi dei dati è molto lungo e complicato, così che ci vuole molto tempo per passare dal momento in cui si fanno le osservazioni a quello in cui si ha il risultato finale.

Lei ha anche proposto una interpretazione di questa eventuale variazione della costante α . Ci può spiegare di che si tratta? Ha per caso qualcosa a che fare con la Variable Speed of Light (VSL), la teoria proposta originariamente da João Magueijo e poi da Andy Albrecht e a cui lei pure ha lavorato?

Barrow No, questa è tutta un'altra storia. Quella teoria era uno strumento da utilizzare molto, molto vicino all'origine dell'universo, quindi per un brevissimo intervallo di tempo, subito dopo che l'espansione cosmica aveva avuto inizio. La VLS può infatti spiegare tutte le cose che potevano essere spiegate dalla teoria dell'inflazione: perché l'universo è isotropico, perché è



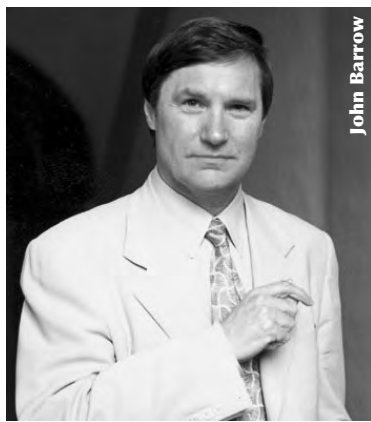
I telescopi dell'osservatorio W.M. Keck installati sulla sommità del vulcano Mauna Kea nelle isole Hawaii

«piatto», perché si sta espandendo così vicino al valore critico; ma non si supponeva che la velocità della luce continuasse a variare dopo questo breve intervallo. Inoltre α è differente dalla velocità della luce, che è, appunto, una velocità. La costante α invece è un numero puro, che deriva da un rapporto tra altre costanti, ed è molto difficile interpretare il significato di una teoria che descrive la variazione di un numero puro: infatti si può pensare che questo dipenda dal fatto che varia la velocità della luce, oppure la costante di Planck, oppure la carica dell'elettrone. Non c'è nessuna differenza fisica fra queste diverse eventualità. Ma l'unica spiegazione per questa variazione, almeno per quanto possiamo vedere oggi, potrebbe trovarsi nella teoria delle stringhe, secondo la quale il mondo avrebbe un numero di dimensioni molto maggiore di tre, forse nove; di conseguenza, le vere costanti di natura sono definite in nove dimensioni, e non c'è quindi nessuna ragione per cui le costanti che noi vediamo, in sole tre dimensioni, debbano essere realmente costanti. Così una del-

le ragioni per cui la costante α potrebbe variare è a causa di queste altre dimensioni dello spazio; o forse esistono in natura altri tipi di carica che producono interazioni, e questo, proprio come la stessa costante α , ha un effetto sulla struttura atomica; o forse la costante α non è mai stata una costante per tutto questo tempo, ma è sempre variata molto, molto lentamente.

Quindi io ho sviluppato delle equazioni che rappresentano una generalizzazione della relatività generale di Einstein, e che includono la variazione di α .

Una cosa importante riguardo a questa teoria è che α non può variare come ci pare. Nella relatività generale ci sono determinati valori, come l'energia e la quantità di moto, e l'energia deve essere conservata, così come la quantità di moto. Quindi il modo in cui α è autorizzata a variare è sottoposto a vincoli molto precisi.



John Barrow

Dopo che l'universo ha raggiunto l'età di 300 000 anni, è previsto che a aumenti molto, molto lentamente, logaritmicamente nel corso del tempo. Ma al momento in cui si pensa che l'espansione dell'universo abbia iniziato ad accelerare, la previsione è che questa variazione cessi. Quindi noi abbiamo una prima fase in cui α è costante, poi una fase di lento accrescimento e infine una fase in cui torna di nuovo a essere costante. L'altra cosa che mi sta a cuore chiarire è che non ha senso comparare i risultati di esperimenti di laboratorio svolti qui sulla Terra per individuare variazioni di α con dati relativi all'aumento delle distanze nella scala delle galassie. L'aumento delle distanze sta effettivamente avendo luogo anche in questa parte dello spazio, ma qui sulla Terra ci troviamo in una zona separata dall'espansione dell'universo, una zona per così dire «condensata», che non sta cambiando. Noi non cercheremo di misurare l'espansione dell'universo osservando se la Terra si espande. Allo stesso modo, non ci dovremmo aspettare che una qualche variazione di α possa essere riscontrata in qualche esperimento di laboratorio sulla Terra, anche se essa stesse cambiando su scala cosmica. Così io ritengo che nella situazione attuale dobbiamo aspettare l'analisi di questi nuovi dati, anche se sono sicuro che nel corso del prossimo anno altri tenteranno nuove osservazioni per cercare di decidere la questione. v

L'intervista è stata rilasciata a Varenna il 12 ottobre 2004 nell'ambito del convegno *Dio, la Natura e la Legge*.