

**s.m.s. ARCADIA - PERTINI**



**MARGHERITA HACK PARLA DELL'UNIVERSO**

Milano 17 Gennaio 2011

Salve a tutti!

Raccontiamo un po' come si è sviluppata fino ad oggi l'astronomia.

Fino a due secoli fa, **l'universo era praticamente il sistema solare**, si conosceva il Sole, si sapeva, a partire dal 1600, che era la Terra a girare intorno al Sole e non viceversa, anche se la Chiesa non era troppo d'accordo. Non so se sapete, infatti, che Galileo fu costretto ad abiurare perché era eresia dire che era la Terra a girare intorno al Sole! La Terra doveva stare "*bella ferma lì in mezzo*" perché Dio l'aveva creata per l'uomo e quindi era eresia dire che era la Terra a muoversi intorno al Sole.

Comunque già ai tempi di Galileo, intorno al 1610, l'astronomia cominciò a modernizzarsi.

L'uomo, fino ad allora, aveva osservato il cielo ad occhio nudo. Con l'introduzione del cannocchiale le conoscenze si dilatarono. Bisogna arrivare all'inizio dell'800 perché si possa parlare dell'astronomia moderna. Fino ad allora l'astronomia in cosa consisteva?

Consisteva nell'osservare la posizione delle stelle, nel vedere se si spostavano, si valutavano i movimenti, e si tentava di misurare la loro distanza.

### **Misurare la distanza delle stelle**

Ma come si fa a **misurare la distanza delle stelle**? così lontane.... come si fa?

C'è un mezzo molto semplice, che si applica anche sulla terra.

Quando un geometra vuole costruire la mappa di una città lavora in questo modo: prende due paletti, dei paletti con in cima un teodolite, cioè un cannocchiale che può ruotare di 360°. Due paletti vengono messi ad una distanza l'uno dall'altro di una ventina di metri, che si misura facilmente con una rotella magnetica; poi si va ad un estremo di un paletto a puntare con il teodolite un oggetto lontano – es. un campanile – si ruota poi il cannocchiale e si va a puntare l'altro paletto.

In questo modo si misura un angolo. La stessa operazione si fa a partire dall'altro paletto. Si va a puntare il campanile e poi si va a puntare il secondo paletto.

In questo modo abbiamo un triangolo di cui conosciamo la base – misurata con la rotella metrica - e conosciamo i 2 angoli alla base. Ora sapete che se di un triangolo conosciamo la base e 2 angoli sono noti anche gli altri elementi, e quindi, anche la distanza del campanile.

In questo modo si può misurare il territorio e fare le carte geografiche.

Cosa fanno quindi gli astronomi per misurare la distanza delle stelle? Fanno la stessa identica operazione.

Quando la Terra si trova ad un certo punto della sua orbita sarà in una certa posizione; 6 mesi dopo la Terra si troverà in posizione diametralmente opposta, mentre sta ruotando intorno al Sole. Il diametro della Terra è noto, si misura la posizione di una stella rispetto alla Terra in una certa data, si torna a misurarla 6 mesi dopo, considerando i 2 angoli e la base, si ha la distanza delle stelle.

Però mentre sulla Terra la base è abbastanza grande rispetto alla distanza da misurare, abbiamo cioè una base di 20-30 metri per misurare distanze dell'ordine di 100-1.000 metri, nel caso astronomico la base è il diametro dell'orbita celeste che è di 300 milioni di km.

Le stelle - anche quelle più vicine a noi – si trovano a più di 10.000 miliardi di km da noi quindi il risultato è che noi abbiamo a che fare con un angolo che ha una base enormemente piccola e una distanza molto grande. E' quindi molto difficile fare delle misure abbastanza precise per determinare la distanza delle stelle. Infatti, la prima misura di distanza di una stella si fece solo nel 1838.

E' importante conoscere la distanza delle stelle, perché noi siamo interessati a sapere quanta luce, cioè quanta radiazione ci arriva dalle stelle.

A parità di splendore, due stelle che hanno lo stesso splendore assoluto, intrinseco, possono essere a distanze molto diverse: una può essere più luminosa ma più lontana dell'altra. Per questo motivo, il calcolo della distanza è fondamentale per sapere quanta luce emettono le stelle.

Fino ai primi dell'800 si misuravano solo le posizioni per determinare la distanza. Fino a quando, un filosofo francese che si chiamava Augusto Compte, nel 1835 scriveva “.. gli astronomi saranno in grado di misurare sempre meglio le distanze delle stelle ma non potranno mai sapere quali sono le loro condizioni fisiche, cioè la loro temperatura e densità, composizione chimica ... “ Invece Compte si sbagliava di grosso!

### **La composizione fisica e la luminosità delle stelle**

Si stava sviluppando proprio in quegli anni la “tecnologia” per capire qual era la fisica delle stelle. Molti si meravigliano e chiedono: ma come fate a sapere che le stelle hanno questa temperatura? Che le stelle hanno questa composizione? Sono fatte di questi elementi? Perché brillano?

Queste informazioni le abbiamo “attraversando la luce delle stelle”, cioè facendo lo **spettro**.

Sapete cos'è lo spettro? La luce bianca è una luce complessa, formata dall'insieme di tutte le altre luci monocromatiche, a cui è sensibile il nostro occhio, dal rosso al violetto.

Se faccio passare un fascio di luce bianca attraverso un vetro, un prisma, la luce si scompone nelle sue componenti monocromatiche, perché la velocità di attraversamento della luce nel prisma è leggermente diversa a seconda dell'attraversamento dei colori, cioè a seconda della lunghezza d'onda.

Misurare lo spettro di una stella è stato fondamentale per capire quale fosse la natura fisica di questi corpi.

Il primo intuito per capire come si potesse determinare la temperatura di una stella fu del gesuita Angelo Secchi il quale, nella seconda metà dell'800, cominciò a prendere tutta una serie di spettri di stelle. Ma come si prende lo spettro di una stella?

Si prende in un telescopio l'immagine di una stella, che è un puntolino di luce bianca, si fa passare questa luce bianca attraverso un prisma e si ottiene una serie di immagini colorate, dal rosso al violetto. Si ottiene cioè quello che si chiama lo spettro.

Secchi si accorse che c'erano stelle di colore azzurro, rossastro, stelle di colore giallastro, ... per esempio il nostro sole appare di colore giallastro.

Se voi guardate il cielo vi accorgete che ci sono stelle come Sirio, che è la stella più brillante del nostro cielo, che ha un colore bianco-azzurro. Ci sono stelle come Betelgeuse, nella costellazione di Orione, che hanno colore rossastro.

Questa differenza nel colore, Secchi intuì doveva essere legata alla differenza di temperatura della superficie delle stelle.

Infatti, lui osservò che se prendiamo un pezzo di metallo e lo portiamo all'incandescenza, dapprima diventa caldo, emette calore, emette una radiazione di calore ma non emette luce (se avvicinate una mano ad un fornello, sentite calore ma non emette luce). Se poi scaldate il pezzo di ferro e la temperatura aumenta, diventa dapprima rosso cupo, poi rosso più chiaro, poi giallo, giallastro, fino a diventare bianco incandescente. **Quindi il colore è indice della temperatura di un corpo.**

Allora Angelo Secchi capì che il diverso colore delle stelle era un indice della diversa temperatura superficiale.

Oggi noi sappiamo, per esempio, che il Sole ha una temperatura superficiale di circa 6.000 gradi, le stelle più calde hanno una temperatura superficiale che va dai 10.000 ai 20.000 gradi mentre quelle più fredde hanno una temperatura superficiale di 2-3.000 gradi. Anche per le stelle più fredde, con una temperatura di 2-3.000 gradi, capiamo che per forza devono essere gassose. Cioè l'unico stato possibile della materia a questa temperatura è lo stato gassoso. Quindi oggi sappiamo che le stelle sono degli enormi palloni di gas.

Ma allora uno si domanda: com'è possibile che le stelle restino inalterate nel corso di milioni o miliardi di anni? Il nostro Sole, per esempio, ha 5 miliardi di anni e malgrado sia un pallone di gas e non abbia la pellicola come i palloncini resta in equilibrio per tempi così enormemente lunghi.

**Le stelle stanno in equilibrio grazie alla forza di gravità.** Nello spazio interstellare della nostra galassia ci sono degli agglomerati di gas e materia che sotto l'azione della forza di gravità tendono ad attirare altra materia ed a formare un primo grumo di gas.

Sotto l'azione della forza di gravità questo primo grumo di gas tende a comprimersi verso il centro. Comprimendo un gas, questo si riscalda, quindi succede che al centro di questo agglomerato di materia e gas la temperatura cresce e raggiunge valori dell'ordine di parecchi milioni di gradi. Ma cosa vuol dire "gas caldo"? Un gas quanto più è caldo tanto più le sue particelle si agitano freneticamente ed esercitano una pressione che tende a disperdere il gas stesso nello spazio a disposizione.

Una stella si forma quando si raggiunge un equilibrio tra due forze opposte: la forza di gravità che tenderebbe a fare cadere tutta la materia verso il centro e la forza di pressione del gas che invece tende a disperdere il gas nello spazio interstellare.

Quando questo equilibrio è raggiunto, la temperatura al centro è di qualche milione di gradi ed è sufficiente per innescare fusioni nucleari che trasformano l'Idrogeno in Elio. L'Idrogeno è l'elemento più abbondante nell'universo.

Questa reazione nucleare è quella che mantiene caldo il centro delle stelle e tiene alta la pressione in modo sufficiente da contrastare la forza di gravità.

L'energia prodotta al centro della stella viene irradiata e viene trasmessa a noi sotto forma di calore e luminosità. Le stelle sono quindi vere e proprie centrali nucleari naturali.

Centrali Nucleari "pulite", come si dice "da fusione", come si vorrebbe realizzare sulla terra perché non lasciano scorie. Per ora non si è fatto nulla in questa direzione perché centrali di questo tipo sono molto costose rispetto all'energia prodotta.

### **Per Universo cosa intendiamo?**

L'Universo potrebbe essere infinito nel tempo e nello spazio, non avere confini, non avere avuto né inizio né fine, potrebbe essere finito, noi non lo sappiamo. Ma cos'è l'Universo? Di cosa è fatto?

Le stelle sono aggregati a formare delle grandi famiglie che si chiamano Galassie; la nostra Via Lattea è la nostra Galassia. Contiene 400 miliardi di stelle. Molte di queste stelle hanno un loro sistema planetario. Quindi oggi si sa che ci sono miliardi e miliardi di pianeti e, molto probabilmente, anche pianeti simili alla Terra. Probabilmente adatti ad ospitare la vita. Quindi, è molto probabile che in altre galassie ci siano forme di vita, più o meno sviluppate rispetto alla Terra. Questo, probabilmente non lo sapremo mai, poiché le distanze sono enormi.

Infatti il diametro della Via Lattea, è di circa 100.000 Anni Luce. **Cos'è un anno luce?**

Noi misuriamo la distanza anche con una Velocità. Ad esempio, quando diciamo che da Milano a Venezia ci sono circa 2 ore di macchina, implicitamente dico che ci saranno circa 200 km, quindi con una detta velocità della macchina, si stima la distanza tra due città.

Allo stesso modo, se ho a che fare con distanze enormi come quelle dell'Universo, si usa misurare le distanze con la velocità maggiore possibile, che è la velocità della luce, che è 300.000 km al secondo, il che vuol dire più di 1 miliardo di km all'ora, che è la massima velocità possibile.

Albert Einstein ha dimostrato che viaggiando alla velocità della luce, la massa di un corpo tende a diventare infinitamente grande. Questa è la ragione per cui la velocità della luce è un limite insuperabile.

La Via Lattea, la nostra galassia, ha un diametro di 100.000 anni luce, e per sapere cos'è un anno luce basta moltiplicare la velocità per 300.000 km al secondo, per il numero di secondi contenuti in un anno, che sono 30.000.000. 30 milioni per 300.000 fa circa 9.000 miliardi di km, in un anno.

La stella più vicino a noi si trova a più di 4 anni luce, quindi questo da un'idea delle enormi distanze con cui si ha a che fare nell'universo. Tutto questo per le circa 400 miliardi di stelle che compongono la nostra galassia.

Ma anche le galassie sono raggruppate per formare grandi famiglie che si chiamano Gruppi o Ammassi di Galassie. In particolare, la nostra galassia fa parte di quello che si chiama "Gruppo Locale" che contiene tre grandi galassie: la nostra, la Galassia di Andromeda (si chiama così perché la vediamo proiettata nella costellazione di Andromeda) che è circa il doppio della nostra come dimensioni e come popolazione di stelle, la Galassia del Triangolo che è un po' più piccola della nostra. Queste sono le tre giganti del nostro gruppo locale.

Poi ci sono un'altra ventina di galassie, più piccole. Ma cosa vuol dire piccolo?

Nella nostra galassia ci sono 400 miliardi di stelle, in una galassia più piccola ci sono 4 miliardi o 400 milioni di stelle.

L'universo è composto di ammassi di galassie; si calcola che nell'universo osservabile ci siano circa 100 miliardi di galassie, ciascuna con centinaia di migliaia di stelle, ciascuna stella con i suoi pianeti. Questo dà l'idea di come sia enorme l'universo.

Tutte queste informazioni le abbiamo ottenute analizzando la luce delle stelle e il loro spettro.

Lo spettro ci consente di ricavare la temperatura superficiale e la densità superficiale del gas.

Ma siccome il gas è la forma più semplice nella quale si trova la materia, si sperimenta in laboratorio, si capisce che a partire da temperatura e densità superficiale si può calcolare come aumenta la temperatura e la densità superficiale.

Ad esempio per il Sole sappiamo che la densità è 1,4 volte quella dell'acqua ed al centro il Sole ha una temperatura di circa 13 milioni di gradi. A 13 milioni di gradi l'idrogeno si trasforma in elio.

In questi spettri stellari, si osserva che gli elementi portati allo stato gassoso emettono radiazioni diverse, che corrispondono a colori diversi: ad esempio il sodio emette righe di colore giallo, il ferro emette righe dal rosso al violetto, l'idrogeno una forte riga rossa, una verde-azzurro, un'altra violetto.

Il fatto che negli spettri stellari si vedono righe scure ci dice che ci sono gas che assorbono le radiazioni che vengono dall'interno. Misurando queste righe scure si riesce a capire la composizione stellare.

All'inizio del secolo, intorno al 1903, si conosceva già bene la fisica delle stelle: si conosceva la temperatura, la densità, la composizione, e nel corso del 900 si è cominciato anche a capire come si modifica una stella nel corso della sua vita.

Il fatto che si dica che una stella è una centrale nucleare vuol dire che nel corso della sua vita consuma il materiale a disposizione, trasforma l'idrogeno in elio.

Il fatto che ci sia una continua trasformazione dell'idrogeno in elio modifica la struttura della stella. Ciò ci fa capire che una stella non resta così immutabile; se guardiamo il Sole che ha 5 miliardi di anni ci sembra invariato nel corso dei 5 miliardi di anni. In realtà le stelle nascono sotto l'azione della gravità, cominciano a brillare sulla scorta dell'energia nucleare di cui dispongono vivono e muoiono.

### **Parliamo del Sole.**

Il Sole oggi brucia idrogeno e lo trasforma in elio. La temperatura al centro è di 13 milioni di gradi, il Sole è a metà della sua vita. Fra altri 5 miliardi di anni, tutto l'idrogeno che ha al centro si sarà trasformato in elio, quindi ci sarà una grossa modifica della sua struttura ma non solo!

Il nocciolo di elio alla temperatura di 13 milioni di gradi è inerte (per trasformarsi in carbonio ha bisogno di temperature più elevate), quindi ... il sole entrerà nella sua "terza età".

L'elio al centro, inerte, si raffredderà. Diminuirà la forza termica che controbilanciava la forza di gravità e quindi inizierà a collassare verso il centro. Nella contrazione il gas si riscalda fino a quando raggiungerà i 100 milioni di gradi.

A 100 milioni di gradi, l'elio può trasformarsi in carbonio; il Sole quindi troverà un'altra possibilità di produzione di energia nucleare. Ma l'energia al centro sarà diversa, sarà più alta, ed il sole per poterla dissipare, senza esplodere, dovrà aumentare la sua superficie. Aumenterà il raggio di circa 200 volte. Aumentando il raggio di 200 volte da 700.000 km a 140 milioni di km... ma noi siamo a 150 milioni di km... allora? Quando il sole invecchierà – fra 5 miliardi di anni - avrà inglobato Mercurio e Venere ed avrà inglobato l'orbita terrestre. La vita sulla Terra a quel punto scomparirà poiché sarà diventato un territorio arido ed infuocato.

Ci sono stelle più grosse del Sole (masse pari a 10-20 volte il sole) che avranno una fine diversa. Quando il Sole sarà così dilatato sarà diventata una gigante rossa. Gigante, perché il diametro sarà aumentato di 200 volte e rossa perché la temperatura del centro sarà passata da 13 milioni di gradi e

la parte superficiale da 6.000 gradi attuali che ce lo fa vedere giallo passerà a 3.000 gradi circa che lo farà vedere rossastro. Quindi una gigante rossa.

L'involuppo esterno, così rarefatto, non sarà più trattenuto dalla forza di gravità quindi si disperderà nell'universo.

Nei miliardi di anni, il sole da gigante rossa si trasformerà in una nana bianca, cioè una stellina con diametro di poche migliaia di km, paragonabile alla terra con un nocciolo centrale caldissimo.

Nana perché piccola, bianca perché molto calda e molto piccola. Non avrà più fonti di energia nucleare che andrà lentamente raffreddandosi.

Questa è la vita della maggior parte delle stelle perché la maggior parte delle stelle ha massa pari a quella del sole o più piccole.

Ci sono anche (in numero minore) stelle più grosse di quelle del Sole, 10-20 volte di più.

La fine di queste stelle è molto più catastrofica di quella del Sole perché al loro interno seguiranno a bruciare sempre nuovi combustibili nucleari.

Ma mano che i combustibili si esauriscono, si contraggono la temperatura centrale aumenta e arriverà il momento in cui al centro avranno temperature pari a 10 miliardi di gradi.

A queste temperature il loro nocciolo sarà formato solo di ferro. A quelle temperature il ferro si trasforma in elio e allora, cosa succede? Che mentre tutte le reazioni precedenti erano produttrici di energia, quando il ferro si trasforma in elio questa è una reazione endotermica, cioè invece di produrre energia l'assorbe, e questa energia la prende dalla massa di gas caldo. La stella si raffredda bruscamente. Questo improvviso raffreddamento fa sì che il centro collassa e che c'è un improvviso riscaldamento e la stella da centrale nucleare si trasforma in bomba nucleare. E quindi esplose, scaraventando nel mezzo interstellare tutti i residui delle esplosioni.

Queste stelle si chiamano Supernove e producono tutti quegli elementi che ci sono anche sulla terra. Sono fondamentali per spiegare come si formano gli elementi e con gli elementi, la vita.

Anche noi siamo fatti di materia che è stata "costruita" nelle stelle. Noi siamo "figli delle stelle"!

Il calcio delle nostre ossa, il ferro del nostro sangue, ... sono stati costruiti nel corso delle migliaia di anni dalle esplosioni delle supernove. Quindi le supernove sono le stelle fondamentali per capire l'origine dei pianeti e l'origine della vita.

## **I Pianeti**

Di pianeti ce ne sono migliaia di migliaia. Questo è molto interessante dal nostro punto di vista perché la vita dove può sfociare?

Non certo dalle stelle, perché anche le stelle più fredde sono comunque troppo calde per consentire la vita. Nel mezzo interstellare la densità è troppo bassa, la luce ultravioletta delle stelle ucciderebbe qualsiasi molecola complessa.

L'unico luogo dove può sbocciare la vita sono i pianeti. Il fatto che nell'universo ci sono molte migliaia di pianeti ci dice che ci siano altre forme di vita, altre civiltà anche più avanzate della nostra nella stessa Via Lattea, forme di vita che potrebbero essere più avanzate della nostra.

Questo è uno dei campi di ricerca più affascinanti dell'astrofisica che è quello di andare a cercare pianeti extra-solari; scoprire pianeti non è facile, perché un pianeta, essendo molto più piccolo di una stella, non emette luce propria quindi è come "affogato" nella luce della sua stella.

Scoprire un pianeta extra-solare è uno dei problemi più complessi. Tutti i pianeti scoperti fino ad oggi sono stati scoperti in via indiretta, cioè ci accorgiamo che esiste un pianeta perché disturba il moto della sua stella. Noi non vediamo direttamente l'immagine di un pianeta.

Il Sole "obbliga" i pianeti a ruotargli intorno, una stella "obbliga" i suoi pianeti a ruotargli intorno, ma anche il pianeta disturba il moto della stella, anche se in modo più limitato. Quello che osserviamo è che le stelle vicino al Sole, insieme al Sole girano vicino a centro della Via Lattea, cioè viaggiano su orbite parallele, come treni su binari paralleli.

Nel tempo in cui noi facciamo queste osservazioni, che è meno di un secolo, vediamo il moto lungo la tangente all'orbita. Le stelle vicine sembrano muoversi in modo rettilineo parallelo al moto del Sole. Qualche volta se ne vede qualcuna che invece di muoversi in modo rettilineo, si muove compiendo piccole oscillazioni rispetto a questa.

Questo ci dice che c'è un corpo che disturba il moto della stella. Dall'ampiezza dell'oscillazione si può ricavare la massa disturbante, dalla periodicità si può ricavare il periodo orbitale.

I primi pianeti scoperti sono stati tutti una scoperta. Tra questi Giove che aveva periodi di rivoluzione di pochi giorni, il che voleva dire che orbitava molto vicino alla loro stella. Ma questo è ovvio perché più grossi sono, più vicini sono alla loro stella, e maggiore è l'effetto disturbante che provocano, quindi è più facile scoprirli.

Ci sono anche pianeti simili alla Terra, per ora se ne sono scoperti solo due o tre: essendo piccoli è più difficile.

Un altro metodo di scoperta dei pianeti consiste in questo: se la nostra visuale giace sul piano dell'orbita del pianeta, noi vedremo una minima diminuzione di luce quando il pianeta passa davanti alla stella. E' un transito come quello di Venere che è avvenuto due anni fa.

Questi sono i metodi indiretti che ci consentono di scoprire i pianeti extra-solari.

E' in progetto un enorme telescopio, di 40mt di diametro, un progetto Europeo, il ricercatore responsabile di questo progetto è Italiano, Roberto Gilmozzi.

Questo gigantesco telescopio dovrebbe riuscire a vedere l'immagine del pianeta, cioè vedere direttamente l'immagine del pianeta, misurare la luce della sua stella, riflessa dalla superficie del pianeta. Se il pianeta ha atmosfera, la luce del pianeta deve passare attraverso l'atmosfera, la quale assorbe certe radiazioni. Quindi avremo anche modo di capire la composizione dell'atmosfera. Cioè se è un'atmosfera respirabile o no, se è un'atmosfera ad ossigeno, a carbonio, a metano... Questo è il futuro della ricerca dei pianeti extrasolari.

Questa ricchezza dei pianeti extra-solari fa pensare che sia molto probabile che esistano altre civiltà; però il fatto che ci siano altre civiltà non vuol dire che ci sono gli UFO!

Le distanze sono molto grandi, basta pensare che il pianeta più vicino a noi si trova a 20 anni luce. Quindi viaggiando alla velocità della luce impiegheremmo 20 anni luce; noi oggi siamo in grado di viaggiare ad una velocità molto minore, ad esempio un decimo della velocità della luce, vuol dire che invece di 20 anni impiegheremmo 100 volte di anni di più, quindi per raggiungere il pianeta terrestre più vicino a noi dovremmo immaginare astronavi su cui generazioni e generazioni di terrestri possano vivere e riprodursi fino a raggiungere il pianeta alieno, per 2.000 anni. Probabilmente entro questo secolo arriveremo su Marte; su Marte si trova un terreno deserto su cui c'è ancora dell'acqua, nel sottosuolo c'è acqua, potrebbero esserci forme di vita come batteri, forme monocellulari, ma non forme di vita più complesse. E' comunque interessante per vedere se e come si sono sviluppate forme di vita, se queste forme di vita sono simili alla nostra o no.

Grazie!

La professoressa Hack risponde alle domande degli studenti.

**D:Lei ha detto che non sappiamo se l'universo è finito o infinito. Ma nel dire ciò ha tenuto conto della teoria della relatività?**

**R:** L'universo sappiamo che è piano. Dalle nostre osservazioni sappiamo che lo spazio non è uno spazio curvo ma è uno spazio euclideo, e questo lo sappiamo dalle nostre osservazioni. In grande scala, all'infinito, l'universo è piano, anche in presenza di pianeti. Anche in conseguenza della teoria della relatività. La maggiore o minore quantità di materia determina la forma dello spazio. Se lo spazio fosse curvo e chiuso, cioè se ci fosse più materia di quella che c'è, agirebbe come una lente convergente, cioè una lente che ingrandisce. Se l'universo fosse curvo e aperto, questi segnali li vedremmo rimpiccioliti; siccome le nostre osservazioni ci dicono che questi dettagli li vediamo proprio sotto l'angolo di un grado, che è quello che si calcola nel caso di universo piano, questo ci dice che entro l'ordine degli errori il nostro universo è piano.

Cosa vuol dire "entro l'ordine degli errori"? Come ogni misura fisica questa contiene degli errori e quindi il nostro universo è piano o quasi piano.

**D:Se l'universo potesse emettere un suono, quale suono sarebbe?**

**R:** L'universo primordiale è soggetto a due forze opposte che sono la forza di gravità e la pressione di radiazione (un po' come le stelle). Questo fa oscillare lo spazio e, essendo la densità dell'universo primordiale molto alta, questo da luogo ad un suono. Tutti i corpi celesti emettono anche rumori, non solo luce, ogni tipo di radiazione, dai raggi gamma ai raggi x, ogni tipo di luce ed onde radio. Tutti i corpi celesti emettono radio-onde sotto forma di rumori, non suoni.

**D:Lei, sapendo come si è formata la Terra e l'Universo, crede in Dio?**

**R:** Io credo che Dio sia una invenzione per spiegare tutto quello che la scienza non riesce a spiegare o che forse non spiegherà mai, credo anche che Dio sia un'invenzione per spiegare il desiderio di non morire, che ci sia un aldilà. Ma io credo questo, non sono in grado di dimostrarlo. Che si creda in Dio o che si creda in quello in cui credo io, non siamo in grado di dimostrare né che Dio c'è né che Dio non c'è. Sono questioni di fede: c'è chi è più soddisfatto a pensare che c'è Dio altri sono più soddisfatti a pensare che non c'è. Penso che quello che c'è è proprietà della materia e credo che questa materia sia sempre esistita.

**D: Lei ha detto che è favorevole all'energia nucleare. Ne può parlare?**

**R:** Io penso che l'energia nucleare sia necessaria perché, soprattutto da parte dell'industria, ci sarà un bisogno sempre crescente di energia. Oggi noi compriamo energia nucleare dalla Francia e dalla Germania, dalla Svizzera. Spendiamo un sacco di soldi. Siamo il paese in Europa dove l'energia costa di più e se ci fosse un disastro nucleare nei paesi europei che producono energia nucleare avremmo tutti gli stessi problemi.

D'altra parte le centrali nucleari moderne sono molto più sicure di quella di Cernobil, nella quale fu un errore umano e non tecnico a produrre il disastro.

Oggi queste nuove centrali sono tutte dotate di automatismi ove l'errore umano non è più possibile. Bisognerebbe sfruttare molto di più le energie rinnovabili. Ma anche le energie rinnovabili suscitano problemi: per esempio ci sono già proteste perché le distese di pannelli fotovoltaici disturbano il paesaggio, le pale eoliche sciupano il paesaggio, quindi ci sono proteste anche verso queste forme di energia rinnovabile. Io credo che ci sia bisogno di energia e quindi bisogna utilizzare tutte le forme possibili. Il petrolio non è eterno, il carbone è più abbonante del petrolio, ma molto più inquinante, quindi saremo per forza costretti ad utilizzare anche l'energia nucleare.

**D: Lei ha detto che ci sono sicuramente anche altre forme di vita nell'universo, ma che è impossibile che possano arrivare fino a noi. Ma questo in base alle nostre conoscenze e alla nostra scienza. Non può essere che si sia sviluppata una tecnologia ed una scienza aliena più avanzata della nostra, che possa superare queste distanze?**

R: C'è il limite della velocità della luce che nessuna tecnologia può annullare. Non si può escludere che popolazioni aliene possano arrivare, ma è estremamente improbabile. E' estremamente difficile che ci siano forme di vita tali da poter vivere migliaia di anni. La vita probabilmente si basa sull'unità di carbonio e sull'acqua perché sono gli elementi fondamentali. Il carbonio è in grado di dare vita a molecole estremamente complesse, come quelle necessarie per la vita, c'è anche il silicio che è in grado di generare molecole, anche se meno complesse di quelle a base di carbonio. Ma è meno probabile, perché il carbonio è 20 volte più abbondante nell'universo rispetto al silicio, quindi tutto fa ritenere probabile – non certo! Ma probabile - che vite intelligenti siano basate come la nostra sul carbonio e sull'acqua.

**D: Vorrei sapere qualcosa sui buchi neri. Ma tutte le radiazioni ed il calore che inghiottono dove vanno a finire?**

R: Cos'è un buco nero? Un buco nero è una porzione dello spazio sufficientemente piccola in cui è concentrata abbastanza materia perché la velocità di fuga da questa regione superi anche la velocità della luce. Per cui nemmeno la luce può uscire. Cos'è la velocità di fuga? Se io voglio mandare un razzo fuori dalla terra devo imprimere al razzo una velocità superiore alla velocità di fuga che nel caso della Terra è di 11,4 km/sec e la velocità di fuga dipende dalla massa e dal raggio. Maggiore è la velocità e più piccolo è il raggio, maggiore è la velocità di fuga. Se io immaginassi di ridurre il raggio della Terra a metà, la massa resta la stessa, la velocità di fuga diventerebbe Radice 2 volte più grande, cioè  $1,4 \times 11,4$  km/sec.

Io posso benissimo immaginare di strizzare tanto la terra da ridurre il raggio, anche la Terra diventerebbe un buco nero. Ma dove va il calore? Il calore dovrebbe sfuggire superando l'effetto tunnel.

**D: Può spiegarci cos'è il bosone di Higgs e perché è così importante?**

R: C'è un modello, una teoria, che si chiama Modello Standard, che spiega molto bene tutte le esperienze che si fanno con le particelle elementari. Però, questo modello standard, teorizza la presenza di una particella particolare che si chiama "Bosone" che sarebbe quella che da origine a tutte le altre particelle. Questo ipotetico bosone di Higgs non è stato mai osservato perché può darsi che la massa del bosone di Higgs, che si suppone molto più grande del protone, cioè del nucleo dell'atomo di idrogeno, sia ancora maggiore di quello che si ritiene. Come si fa a produrre una particella? Si parte sempre dalla relatività di Einstein, conosciamo l'equivalenza tra massa e energia. Si distrugge massa per creare energia. Allora nei grandi acceleratori di particelle, in particolare in quello di Ginevra, che oggi dispone della massima quantità possibile di energia, si pensava che l'energia fosse abbastanza anche per creare particelle così grosse come il bosone di Higgs che però non è stato ancora trovato. Quindi o non si dispone di energia sufficiente oppure il modello è sbagliato e va modificato.

**D: Pensando all'effetto serra, quanto tempo di vita avrà ancora la Terra?**

R: Questa domanda bisognerebbe farla ad un geologo! La Terra ha 4.6 milioni di anni, avrà a disposizione il tempo legato al consumo di energie non rinnovabili, all'inquinamento. L'effetto serra consiste nel continuo aumento di inquinamento da metano da anidride carbonica che noi immettiamo nell'atmosfera (con macchine e riscaldamento) e nel conseguente aumento di opacità dell'atmosfera alle radiazioni infrarosse. La luce solare penetra liberamente a terra, riscalda il suolo, il suolo riemette radiazioni infrarosse. Una volta, le radiazioni infrarosse in eccesso si disperdevano nello spazio, oggi restano sempre più intrappolate nell'atmosfera, riscaldando il sistema.

L'effetto serra in sé è benefico perché se non ci fosse l'effetto serra, come sulla Luna o su Mercurio che non hanno atmosfera, ci sarebbero sbalzi termici e la temperatura passerebbe da +100 gradi nella parte illuminata dal Sole a -100 gradi nella parte in ombra. Che sono sbalzi enormi di temperatura. Su Venere, che invece ha un'atmosfera completamente nuvolosa, c'è un effetto serra terribile. Se Venere avesse avuto la stessa atmosfera della Terra, la temperatura media di Venere sarebbe stata di circa 40 gradi C, cioè un po' più alta di quella della Terra che è di circa 20 gradi. Invece il terribile effetto serra produce su Venere più di 500 gradi centigradi, da fondere il piombo. Poi c'è Marte ha un'altra atmosfera, ha un debole effetto serra che fa sì che la temperatura all'equatore, d'estate di giorno è a più 20 gradi, di notte precipita a meno 80 gradi. C'è un debole effetto serra che fa sì che le temperature siano accettabili anche se molto alte o basse.

L'effetto serra è quindi utile, ma un aumento dell'effetto serra potrebbe fare aumentare la temperatura media su tutto l'anno di 5-10 gradi, su tutte le latitudini. L'effetto sarebbe terribile perché produrrebbe l'aumento del livello degli oceani, da qualche metro a qualche decina di metri, allagando tutte le città costiere.

**D: E' possibile collegare il nostro sistema solare, con il sole al centro che funge come nucleo, ad un sistema ancora più grande nel quale è compreso?**

R: Quando si parla di atomo si fa riferimento ad un modello, lei fa riferimento al modello di Bohr, dell'atomo, con il sole come nucleo ed i pianeti come elettroni. Ma questo è solo un modello, non è la realtà. Oggi sappiamo che gli elettroni hanno una certa quantità di energia, quello a cui fa riferimento è un modello visivo, non è che il Sole sia il nucleo. In realtà ci possono essere molti altri sistemi solari governati dalla forza di gravità.

**D: Ci dice qualcosa sulle teorie apocalittiche del 2012?**

R: Sono superstizioni di popoli antichi. Anche 1000 anni fa si diceva 1000 e non più 1000. E' il 2011 e siamo sempre qua, e anche nel 2012 saremo sempre qua.

**D: Quando le lobby e la chiesa sono contro il progresso scientifico?**

R: Diciamo che nel campo delle scienze abiolgiche – matematica, fisica, chimica – la chiesa non interviene più. Sappiamo bene che è intervenuta intensamente ai tempi di Galileo.

Nel campo delle scienze biologiche interviene, eccome! Abbiamo un governo succube del Vaticano ed è passata una legge, la L.40, che è una vergogna, che impedisce la ricerca sulle cellule staminali embrionali, che è una ricerca che sembra promettere enormi progressi in medicina. Con le cellule staminali embrionali si ricostruiscono pelle cornee, intestino... Quindi si prevede con la ricerca sulle cellule staminali di ricostruire organi malati.

**D:L'universo si sta espandendo o si sta contraendo?**

R: Noi sappiamo che l'universo è in espansione (scoperte del 1920-'30). Cosa vuol dire? Come se in un dolce dove ci sono le noccioline la pasta sotto l'azione del lievito si gonfia e tutte le noccioline si distanziano tra di loro. E' stato scoperto che il nostro universo si sta espandendo proprio perché si è osservato che le galassie si allontanavano l'una dall'altra, ad una velocità crescente al crescere della distanza. Questo fatto è stato spiegato con il Big Bang, cioè un'esplosione che ha scaraventato la materia in tutte le direzioni. Allora mi aspetterei che la velocità restasse costante o diminuisse al crescere della distanza. Dal momento che lo spazio non è vuoto, anche ad una velocità bassa c'è sempre un certo freno. Il fatto che la velocità cresce al crescere della distanza è la prova che è lo spazio ad espandersi e non che le galassie stanno fuggendo.

Si pensava che la velocità di espansione, iniziata come non si sa, dovesse rallentare, perché la stessa forza di gravità data dalla materia presente nell'universo dovesse fare da freno. Invece studi più recenti hanno mostrato che la velocità di espansione è accelerata, come se ci fosse una forza che si oppone alla forza di gravità, che è stata chiamata energia oscura, non sappiamo cosa sia. E' aperto questo grosso dilemma: come mai l'espansione è accelerata? Ora, anche questo problema non è che sia certo al 100%, perché dobbiamo misurare la relazione tra velocità e distanza. Come si misura la distanza di lontanissime galassie? Si ammette che certe stelle esplodano come supernove ed al massimo di splendore abbiano tutte l'identico splendore assoluto: più sono deboli e più è distante l'oggetto. C'è l'ipotesi che tutte abbiano lo stesso splendore intrinseco. E' questo il dubbio, l'ipotesi che abbiano lo stesso splendore intrinseco.

**D: La tesi più accreditata per la formazione dell'universo è quella del Big Bang. Su un numero delle Scienze ho letto che una teoria ipotizza la formazione dell'universo dal collasso di un universo precedente. Lei cosa ne pensa?**

R: Questa è un po' fantascienza. E' possibile che il nostro non sia l'unico universo, ma sono tutte cose non osservabili. Non sono neanche ipotesi, sono idee, da verificare con l'esperienza. Queste sono solo idee non verificabili perché noi possiamo osservare solo il nostro universo.

**D: Su un articolo ho letto che è stata stimata l'età di alcune galassie che sembra essere superiore all'età stimata dell'universo stesso. E' un paradosso, è possibile?**

R: L'età stimata dell'universo è tra 13 miliardi e 600 milioni e 13 miliardi e 700 milioni di anni. L'età delle galassie deve essere compresa in questa fascia.

**D: L'espansione dell'universo andrà avanti in definitivamente oppure ci sarà un collasso?**

R: Se si verificherà che l'espansione dell'universo è accelerata, tra milioni di anni saremo di fronte ad una espansione sempre maggiore e ad un universo sempre più rarefatto, in cui sarà possibile osservare solo gli oggetti della stessa galassia. Perché la galassia non si espande, anzi le famiglie di galassie sono legate gravitazionalmente. Se la teoria dell'espansione si rivelasse errata, il futuro dell'universo dipenderebbe solo dalla densità media.

**D: Cosa pensa delle grandi rocce anonime lasciate da altre civiltà .....**

R: Probabilmente sono frutto di civiltà terrestri. C'è molta fantascienza nella loro spiegazione ...

**D: E' possibile che nello spazio, tra un pianeta e l'altro, ci sia materia oscura o nera?**

R: Abbiamo la certezza che nelle galassie ci sia una gran quantità di materia che non emette nessun tipo di radiazione, fa sentire la sua presenza per la forza di attrazione gravitazionale, è stata chiamata materia oscura. Come ci si è accorti della materia oscura? Dalla misura delle orbite dei corpi celesti che sono al centro della galassia, i moti orbitali permettono di ricavare la massa totale della galassia; questa massa totale è superiore di 5-10 volte alla materia visibile. La materia oscura è un tipo di materia che non sappiamo cosa sia, è un tipo di materia che non interagisce con la materia, non emette nessun tipo di radiazione, ma contribuisce in modo preponderante al contenuto dell'universo. Dalle osservazioni delle radiazioni fossili, si può stabilire che il 5% l'universo è fatto di materia normale, cioè materia di cui è fatto tutto ciò che ci circonda, per il 25% materia oscura, per il 70% di energia oscura, cioè quella che da luogo all'espansione accelerata.

Grazie a tutti!