Stasera parlerò del sistema solare ma in realtà non solo di quello perché farò un’introduzione molto breve su come è la struttura attuale del sistema solare: non ho tempo di esaminare in dettaglio ogni pianeta con i suoi satelliti che è una cosa interessante però sono anche cose che trovate facilmente in rete mentre parlerò più diffusamente di come è nato e come si è evoluto il sistema solare e poi farò un breve intermezzo per spiegare qualcosa dei metodi spettroscopi anche se penso che poi più avanti le persone che vi parleranno delle stelle dovranno approfondire questo però questo mi serve per parlar dei pianeti extrasolari perché la spettroscopia è una dei metodi principali per la rivelazione dei pineti extra solari.

Come è fatto il sistema solare oggi?

Probabilmente sono cose che sapete però io sono obbligato a dirle per avere una basa comune di ragionamento; voi sapete che intorno la sole ruotano in orbite quasi circolari otto pianeti principali: mercurio, venere, terra, marte, giove, saturno, urano e nettuno; siccome le distanze tra i pianeti sono molto più grandi migliaia di volte più grandi delle loro dimensioni fisiche , del loro diametro, non è possibile fare una figura in scala che faccia vedere sia le orbite che i pianeti per cui vi faccio vedere due figure; questa mantiene la scala tra le dimensioni dei corpi: per rendere l’idea se la terra fosse una biglia da 12 mm il sole sarebbe una palla di un metro e trenta di diametro giove sarebbe grosso come un pompelmo; vedete mentre ovviamente le distanza tra i pianeti qui dono completamente sbagliate, i pianeti sono messi vicini per un miglior confronto; l’ordine però di distanza dal sole è mantenuto e quello che si vede subito è che il sistema solare è diviso in due zone: i pianeti interni o terrestri di cui anche la terra fa parte che sono pianeti molto piccoli, piuttosto densi perché sono formati di roccia quindi la densità è dell’ordine di 4/5 e invece i pianeti esterni che sono molto più grandi, sono anche chiamati pianeti giganti e hanno una densità molto più bassa perché sono formati principalmente da elementi leggeri, principalmente idrogeno e vedremo poi perché questa dicotomia; per qual che riguarda la orbite, i pianeti si muovono su orbita abbastanza circolari tranne plutone che adesso non è più neppure considerato un pianeta a questa scala l’orbita più esterna dei pianeti veri è quella di nettuno il sistema solare interno mercurio venere terra e marte è così piccole che è contenuto in questo piccolo cerchio e quindi ve lo faccio vedere ingrandito; quello che vedete , vi dicevo le orbite sono tutte quasi circolari; ovviamente sono ellissi per le leggi di Keplero ma ellissi con un’eccentricità massima dell’ordine del 5 % quindi molto prossime a cerchi e quasi complanari e anche le inclinazioni reciproche tra vari piani orbitali sono di pochi gradi con l’unico solita eccezione di plutone che è un po’ un corpo a sé; in mezzo ai pianeti principali ci sono delle regioni in cui ci sono corpi minori e in particolare tra le orbite di marte e di giove c’è una vasta regione che viene chiamata fascia principale degli asteroidi – main belt – che contiene la maggior parte, il 95% degli asteroidi conosciuti ci sono altre due regioni che sono poste sull’orbita di giove ma che si diciamo a distanza di sessanta gradi più o meno approssimativamente da giove per cui sono regioni che non incontrano mai il pianeta pur muovendosi sulla stessa orbita lo precedono e lo seguono sulla stessa orbita e questi sono i troiani; all’esterno del sistema solare, oltre l’orbita di nettuno c’è tutta una regione di scoperta tra l’altro negli ultimi pochi anni dei cosiddetti oggetti transnettuniani che sono più che asteroidi sono oggetti simili alle comete perché sono di composizione acquosa il ghiaccio d’acqua, e poi però a parte queste regioni densamente popolate ci sono asteroidi un po’ dappertutto soprattutto quando si va negli oggetti piccoli che vagano un po’ dappertutto nel sistema solare: ci sono asteroidi che questa è l’orbita di marte quindi tutti quelli verdi sono quelli che vi ho detto della fasci principale degli asteroidi sono più di 100000 oggetti e quindi la risoluzione del video fa difetto: lo vedete come macchia unica in realtà qua pensate che ci sono circa 100.000 punti all’interno e quindi che entrano nelle orbite di marte, della terra fino all’orbita di mercurio ci sono i cosiddetti Near Earth Asteoids che sono una piccola percentuale però su centinaia di migliaia sono comunque molto che possono incrociare le orbite dei pianeti e quindi avere collisioni; io non parlerò specificamente di questo oggi perché volevo parlare di più del di come si è formato il sistema solare

È un argomento piuttosto complesso sia perché il sistema solare si è formato 4,5 miliardi di anni fa e quindi non abbiamo un’osservazione diretta e poi proprio dal punto di vista dei processi fisici coinvolti è molto complicato perché non è semplicemente la dinamica della gravitazione che produce effetti complicati ma è facilmente descrivibile, sono fenomeni fisici molto più complessi e interdisciplinari e quindi quello che vi dico è un sottoinsieme minimo di quello che sembra essere assodato in via , non dico definitiva, ma viene ritenuto abbastanza attendibile poi sui particolari sono ancora molto dibattuti; quello che sembra chiaro è che il sistema solare si è formato dalla contrazione di una grossa nuvola di gas e polveri che faceva parte delle galassia; voi sapere che le galassie sono sistemi che contengono centinaia di miliardi di stelle ma oltre alle stelle contengono grosse quantità di polveri e di gas che polveri e gas sono in realtà la materia prima di cui le stelle sono composte quindi dovete pensare alla galassia più come un oggetto definiti come una specie di organismo vivente, di tessuto che continua a ricambiare le sue componenti, le stelle si formano per condensazione di gas dalle polveri bruciano il loro contenuto alcune di queste alla fine delle loro vita esplodono, rimettono il loro contenuto nella materia interstellare e così via… quindi la galassia è in continua evoluzione;

questa foto di una galassia famosa che viene chiamata sombrero per ovvie ragioni ve la faccio vedere perché qui si vede chiaramente che sul piano della galassia c’è una grande quantità di materia oscura, oscura nel senso che ferma la luce quindi è visibile perché blocca la radiazione delle stelle; anche se osservate la Via Lattea che è una visione di taglio della galassia entro cui noi siamo vedete che ci sono delle zone oscure questa è la cosiddetta sacca di carbone che sono scure non perché manchino di stelle ma perché la luce delle stelle che stanno dietro è oscurata da materiale oscuro cioè polveri e gas andando più nel piccolo si conoscono molte regioni di formazione stellare in cui ci sono grosse nuvole di gas e polveri grandi rispetto alle nostre dimensioni perché sono anni luce di diametro ma piccole rispetto alla galassia in cui sono mescolate gas e polveri e stelle appena nate che stanno emergendo dalla condensazione di questi gas e polveri e in particolare queste nubi che sono l’origine delle stelle e die sistemi solari sono chiamate nubi molecolari giganti perché il materiale di solito è molto freddo e questo di solito favorisce la formazione di molecole e giganti perché la massa tipica è intorno al milione di masse solari e quindi potenzialmente ognuna di queste nubi potrebbe produrre milioni di stelle.

Di cosa sono formate? Non differiscono molto dall’abbondanza media dell’universo che è data da tre quarti di idrogeno, un quarto di elio e una piccola percentuale di elementi più pesanti questo lo vedete su scala logaritmica quindi ogni tacca corrisponde a un fattore 10 in abbondanza quindi vedete che gli elementi pesanti stanno molto al di sotto dell’idrogeno e elio; quello che si sa, questo ve lo spiegheranno in seguito meglio, si pensa che l’idrogeno e l’elio siano un risultato diretto del big bang cioè siano elementi prodotti dall’esplosione primordiale che ha creato l’universo mentre invece tutti questi elementi pesanti sono l’effetto delle fucine stellari cioè sono i prodotti delle reazione di combustione nucleare avvenuti all0interno di stelle che ormai sono morte, sono esplose, hanno rilasciato il loro contenuto in questa piccola frazione , piccola ma molto importante perché ovviamente è il materiale su cui si fonda la vita e il mondo come lo conosciamo noi.

Allora cerchiamo di seguire la grande linee la storia di queste nubi molecolari giganti che sono in una situazione di equilibrio precario tra due forze contrapposte che sono l’attrazione gravitazionale che tenderebbe a farle contrarre e la pressione del gas che tenderebbe a farle espandere allora il punto di equilibrio è legato essenzialmente alla densità della nuvola stessa; se la nuvola raggiunge una densità , per qualsiasi motivo del suo moto all0interno della galassia superiore a un certo valore critico, la forza di gravità prende il sopravvento sulla pressione e la nube comincia a contrarsi e contraendosi la densità aumenta e quindi si contrae sempre più velocemente alla fine anche alcuni frammenti della nube stessa raggiungono separatamente la densità critica e quindi cominciano a contrarsi creando dei nuclei secondari di condensazione rispetto alla nube stessa e quindi dalla contrazione della nuvola milioni di masse solari si arriva a contrazioni di piccole regioni che hanno la massa tipica delle stelle e quindi la nuvola si trasforma in un ammasso stellare oppure in una regione stellare della galassia; ovviamente non è detto che il fenomeno sia contemporaneo in tutti i punti quindi ci possono essere nubi che sono per metà condensate in stelle per metà ancora allo stato gassoso; allora contraendosi la nube che inizialmente possedeva una piccola velocità di rotazione che essenzialmente è ereditata dalla velocità di rotazione globale della galassia su sé stessa se vi ricordate quello che si diceva la volta scorsa per conservazione del momento angola comincia a ruotare più velocemente perché la quantità che si conserva in un corpo che ruota è il prodotto della velocità angolare di rotazione per il raggio detto in termini molto semplici per il raggio dell’oggetto se l’oggetto si contrae e il raggio diminuisce la velocità di rotazione deve aumentare per conservare il momento angolare e quando questo succede siccome la contrazione porta a una diminuzione di parecchi ordini di grandezza la nube ruota sempre più velocemente a un certo punto si arriva alla situazione in cui la forza centrifuga generata dalla rotazione si oppone all’attrazione gravitazionale e quindi si arriva ad un equilibrio che è praticamente lo stesso equilibrio dell’orbita dei pineti: i pianeti sono in orbita seguono un ‘orbita costante perché la forza centrifuga del loro moto attorno alla stella controbilancia quasi esattamente, diciamo esattamente in media, quasi esattamente punto per punto perché le oscillazioni sono quelle che producono l’avvicinarli e l’allontanarsi lungo la traiettoria ellittica però l’orbita kepleriana è un equilibrio tra attrazione e forza centrifuga questo ovviamente avviene solo in una dimensione, cioè la forza centrifuga agisce solo nella dimensione ortogonale all’asse di rotazione e quello che succede è che le particelle di gas e polveri sono libere di attrarsi lungo l’asse di rotazione e quindi si dispongono sempre più ina struttura più sottile e formano un disco perché la contrazione in direzione radiale è frenata dalla forza di centrifuga mentre invece in direzione assiale questo non succede e quindi quello che succede è che una massa rotante che si contrae assume naturalmente la conformazione di disco.

Questo è un disegno artistico di quello che poteva essere la porto nebula solare e però oggetti simili vi ricordo questo nostro sistema solare è capitato 4,5 miliardi di anni fa oggetti simili a quelli che poteva essere il nostro sistema solare si vedono adesso attorno ad altre stelle con strumenti appositi perché vedete, questa è un’immagine, normale tranne per questa forma a farfalla che è un cronografo cioè un diaframma che interposto sul piano focale del telescopio serve a occultar e la luce luminosissima della stella che c’è qui la centro che abbaglierebbe completamente il sensore ccd del telescopio e non si vedrebbe un bel nulla e invece coprendo con questo diaframma la stella centrale si può veder la debole luminosità di questo anello di polvere e gas attorno alle stelle. Di anelli simili se ne conoscono diversi c’è tuto una casistica di forme de di dimensioni questo è quello che appoggia con molta forza questa storia che sto facendo anche del nostro sistema solare perché vediamo che questo capita attorno ad altre stelle.

Come avviene la contrazione nelle varie regioni che compongono la proto nebula, partendo dal centro, il centro comincia a contrarsi sempre di più, contraendosi, voi sapete che un gas che si contrae i riscalda, in termini cosmici è lo stesso meccanismo della pompa di bicicletta: dopo un po’ che la usate scoppia, è semplicemente la compressione del gas che sviluppa calore.

Il riscaldamento è così grande che il corpo centrale acquista abbastanza rapidamente temperature dell’ordine dei milioni di gradi e quindi diventa un oggetto stellare che viene indicato col termine di stella tipi t-tauri dal capo stipite di questo tipo di stelle che è una stella che non ha ancora acceso le reazione termonucleari e splende molto vivamente semplicemente per il riscaldamento dovuto alla contrazione e queste stelle ovviamente ruotano rapidissimamente perché sono la parte centrale della condensazione della porto nebula che essendo quella che si è rimpicciolita di più è anche quella che ha aumentato di più la velocità di rotazione e quindi queste due cose insieme temperature molto alte e quindi gas allo stato di plasma estremamente conduttore di elettricità e rotazione veloce è la ricetta per creare forti campi magnetici e quello che succede è che le stelle T- Tauri hanno un’attività simile a quello delle protuberanze solari e macchie solari ma su una scala milioni di volte più grandi e quindi enormi capi magnetici che producono un’espulsione di materia molto forte, un vento solare intensissimo e nello stesso tempo producono una zona centrale in cui il materiale che compone la stella è bloccato dal campo magnetico e questo è un meccanismo che decelera la velocità di rotazione della stella rispetto alla nebulosa e al contrario la velocità accelera le parti centrali della nebulosa. Dico questo perché c’è una specie di paradosso che nel sistema solare attuale la maggior parte del momento angolare totale è contenuto non nel sole come la meccanica della contrazione dovrebbe far risultare ma nei pianeti; questo perché in queste fasi primordiali della formazione del sole il sole ha trasferito il momento angolare al materiale circostante per l’accoppiamento prodotto da questo campi magnetici.

Dopodiché a un certo punto per continuare a seguire l’evoluzione del sole, la pressione e la temperatura del proto sole diventano così alte che nella zona centrale si innescano spontaneamente le reazioni termonucleari di fusione quindi il sole comincia bruciare idrogeno in elio in pratica è una bomba termo nucleare a idrogeno controllata che continua a bruciare ininterrottamente e a questo punto l’enorme calore prodotto dalla fusione termonucleare crea una pressione tale che controbilancia perfettamente l’attrazione gravitazionale e quindi il sole raggiunge uno stato di equilibrio tra le due forze che può continuare pressoché invariato per miliardi di anni ed è quello che sta succedendo: si pensa che il sole continuerà nel suo stato che tecnicamente si chiama di sequenza principale per altri almeno 4/5 miliardi di anni cioè finche ci sarà idrogeno da bruciare in elio; nelle regioni più vicine all’interno. Le regioni interne della porto nebula più vicine al sole cominciano un processo di accrezione lungo il disco ; il materiale è in orbita quasi kepleriana attorno al proto sole e inizialmente si tratta di gas e polvere, la polvere per attrazione elettrostatica e per affinità chimica si agglutina in corpi sempre più grandi granuli poi batuffoli ciottoli sapete benissimo che anche sui pavimenti di casa la polvere ha una tendenza a formare , ad aggregarsi e non sto scherzando: è una scherzo fino ad un certo punto perché i fenomeni chimici che producono questo effetto sia lo stesso anche nella polvere interstellare fino a formare dei corpi dell’ordine dei km di diametro ; a questo punto la aggregazione diventa molto più veloce perché gli oggetti cominciano ad esercitare un’attrazione gravitazionale tra di loro e quindi gli oggetti più grossi tendono ad attrarre gli oggetti più piccoli e quindi a diventare sempre più grossi e quindi c’è una crescita esponenziale del diametro degli oggetti più grandi a spese di quelli più piccoli fino a formare un certo numero di embrioni planetari che poi nell’evoluzione successiva se si incontrano tra di loro si fondono formando un pianeta più grande e essenzialmente si arriva alla situazione in cui i corpi rimassi grossi sono gli unici che potevano rimanere, è una specie di selezione naturale: se ci fossero due corpi abbastanza grossi e troppo vicini da disturbarsi gravitazionalmente succederebbe qualcosa o si attraggono e diventano un corpo unico oppure la perturbazione gravitazionale mutua farebbe sì che l’orbita di uno dei due corpi viene modificata, questo poteva andare a sbattere da un’altra parte, su un altro planetesimo o essere espulso addirittura dal sistema solare e comunque diciamo la conformazione del sistema che rimane è la massima possibile perché tutta la materia che è incompatibile con queste attrazioni reciproche viene spazzata via; tutto questo processo avviene contemporaneamente alla nascita del proto sole quindi ad un certo punto rimangono gli embrioni di pianeti di massa molto più piccola di quella di un pianeta ma comunque considerevole: decine , centinaia di km di dimetro più tutto il materiale --- ma quando il sole comincia a entrare nella sua fase t –tauri produce un vento solare così intenso che tutto il materiale minuto viene spazzato e quindi a questo punto l’accrezione del materiale minuto cessa e gli embrioni planetari che ci sono ci sono e l’accrescimento finisce lì.

Nel sistema solare esterno l’accrescimento è un po’ più lento per vari motivi: intanto c’è un minor densità di materiale perché il disco andando verso l’esterno diventa più spesso per motivi dinamici e quindi la densità per unità di volume è più bassa e quindi l’accrescimento è più lento poi il materiale rimane in questa ziona più a lungo perché siccome siamo più lontani dalla stella centrale, il vento solare ha un effetto minore e quindi quella pulizia prodotta dal vento solare da parte della stella t – tauri avviene più lentamente e l’altro motivi è che i periodi orbitali sono più lunghi e quindi gli oggetti esterni per la legge di Keplero, più sono lontani più hanno un periodo di rivoluzione lungo più la loro velocità è bassa e quindi anche la frequenza con cui possono incontrarsi è minore e quindi ci impiegano di più ad accrescere e questi sono già dei motivi che giustificano il fatto che i pianeti esterni sono più grossi: perché hanno avuto più tempo a disposizione per accrescersi; un altro motivo molto importante è il gradiente termico cioè quando la stella centrale comincia ad essere calda comincia a riscaldare ovviamente le regioni più interne e si crea un gradiente di temperatura che va dall’interno all’esterno cioè le regioni periferiche rimangono fredde e quelle interne si scaldano; allora questo vuol dire che gli elementi volatili che come abbiamo visto compongono il 98, 99% del materiale solare, in questa regione sono allo stato di gas e quindi sono difficilmente aggregabili nei pianeti e in questa regione possono essere liquidi o allo stato solido e quindi più facilmente aggregabili e questo spiega quella differenza di composizione tra i pianeti interni che sono piccoli nei disegni non sono in scala e costituiti essenzialmente da silicati – roccia e metallo – ferro e quelli esterni che sono grandi e composti essenzialmente da idrogeno; la differenza di composizione non è dovuta al fatto che i pianeti esterni non hanno elementi pesanti ma ce li hanno nella proporzione della proto nebula solare cioè il 2%, all’interno di giove c’è un nocciolo che è piccolo rispetto a giove ma è più grande della terra ed è fatto di elementi pesanti quindi è una grossa terra che costituisce il cuore di giove tranne che la terra ha solo questo nucleo roccioso e tutto il materiale volatile non ha potuto accrescere mentre invece giove oltre a questi 2% ha un altro 98% percento di idrogeno che fa il grosso della massa quindi questo meccanismo genetico spiega sia la differenza di composizione che la differenza di dimensione tra il sistema solere esterno e il sistema solare interno.

Ho finito con questa parte.

Se avete domande o osservazioni…

D. questa teoria sulla formazione del sistema solare è accertata? Per esempio spesso sento che i pianeti crescono , si formano unitamente la formarsi del proprio sole… non vengono dopo …

R. questa è una teoria che era in voga nel ‘700 ma che sembra non supportata né da quello che si può calcolare come conto di moto orbitale, idrodinamica

D e nessuno ha mai sentito l’idea che la terra si sia formata prima del sole e degli altri pianeti?

R. no questo francamente no

D. perché la terra è diversa dagli altri pianeti?

R. Delle differenze ci sono ma rientrano sempre in quella variazione di composizione chimica che è spiegabile non con precisione non è che questa teoria riesca a prevedere tutto; crea un panorama generale in cui praticamente tutti gli astronomi adesso credono; i particolari sono abbastanza sotto esame,sotto discussione.

(32:42)

(24:14)

(18:00)

()