



Guía Conceptual de Física

Tema: El nacimiento de una estrella.

Montoya

Clase 1

Nacimiento de una estrella.

Teoría del Big-Bang: Explosión de energía que genera materia, y esa materia parte con un plasma de iones que posteriormente forma las partículas atómicas: electrones, protones y neutrones y enseguida el primer átomo que es el átomo de hidrógeno. La distribución del universo se ha investigado ahora último, y es heterogénea la forma como se distribuye esa energía, esa radiación primaria que existe en todo el universo existen diferencias entonces de temperatura en ciertas zonas y se entiende que las zonas más frías fueron las que concentraron la materia en un principio. Esa distribución de materia, en forma heterogénea produjo algunos núcleos de concentración de materia, que en este caso sería hidrógeno, los cuales por un fenómeno gravitacional terminan descendiendo y formando estrellas de hidrógeno a partir de probablemente una nube de gas de hidrógeno, nube de gas que por los movimientos que ella tiene produce algunos sitios de concentración de materia, que van volviéndose cada vez más densos hasta que finalmente por una especie de colapso gravitacional la estrella se enciende.

Se han fotografiado nebulosas en donde se pueden apreciar pilares de materia que en sus puntas se visualizan estrellas que están naciendo. Las nebulosas podrían entenderse entonces como "incubadoras de estrellas".

Las estrellas emiten luz y energía de varias formas. Hay estrellas de rayos X, de neutrones, de luz visible, azules, blancas, azulinas, estrellas amarillas como el Sol y estrellas rojas, enanas blancas. El Sol brilla y emite energía porque en él se producen fusiones nucleares (unir dos átomos y generar un átomo más complejo), al unir dos átomos de hidrógeno se forma un átomo de helio, y al unir dos átomos de helio se pasa a carbón. Esto es lo que le sucede al sol, el sol "quema helio", si es que se puede decir quema, transformando la materia del sol, esa gran concentración de helio en carbón.

Quizás en miles de millones de años más el sol se va a convertir en una gigante roja que va a tener un diámetro que va a llegar hasta el cinturón de asteroides en un proceso de cambios y de transformación en el que se va a "comer" a Mercurio, Venus, La Tierra y Marte. Los físicos han calculado que existe una relación entre la masa y la energía que tiene y la posibilidad de convertirse desde una gigante roja a una enana blanca o a un hoyo negro, va a pasar él hidrógeno a helio, helio a carbón, con esto va a convertirse en una gigante roja y eso va a significar una gran expansión, una baja de la densidad y en un momento determinado esa situación colapsa gravitacionalmente y toda la materia se concentra en el centro de la estrella transformándose en ya sea un hoyo negro o en una enana blanca. Una enana blanca tiene una fracción del diámetro del sol y puede ser cien mil veces más brillante. En general, al parecer, las estrellas que tienen mayor razón masa-energía se convierten en hoyos negros. Esta es la hipótesis más probable dada las evidencias que existen. Con respecto a estos hoyos negros, se ha descubierto que en el remolino que se forma a la entrada de estos existen átomos de fierro entrando al hoyo a una velocidad de 90 millones de kilómetros por hora.

Tenemos un proceso entonces que empieza ya no a durar segundos, sino que a durar años y miles de años y, quizás millones de años para tener realmente el nacimiento de una estrella.

Para que ocurra el nacimiento de una estrella se ha especulado en un orden de un millón de años.

Formación de los planetas.

Comenzamos no medir el tiempo en nanosegundos ni en segundos, sino que empieza a medirse en años, miles de años y en millones de años y que hasta el momento han pasado entre doce mil y treinta mil millones de años desde la gran explosión. Esto permitiría tener actualmente la configuración que tiene el universo y el tipo de objetos que existen que serían respuesta o consecuencia de una evolución en esta cantidad de tiempo.

Hace unos diez mil millones de años, o menos, probablemente nace el sol, antes de los 5 mil millones de años, y nace como una estrella con un disco de materia a su alrededor, disco de materia que ocupa la actual posición de la eclíptica (plano donde están orbitando todos los planetas)

El disco de materia que nace alrededor del sol tiene una distribución de la materia disgregada o discriminada en el sentido que hacia el centro del disco se concentran los elementos que son mas pesados (mas allá del cinturón de asteroides los planetas tienen una conformación principalmente por elementos gaseosos, solamente Júpiter tiene un núcleo metálico con roca alrededor de el y líquidos y sólidos por fuera). La materia tiene diferentes características y una de las más importantes es el peso atómico y este divide a la materia sobre todo cuando se trata de efectos gravitacionales (interacciones gravitacionales entre la materia).

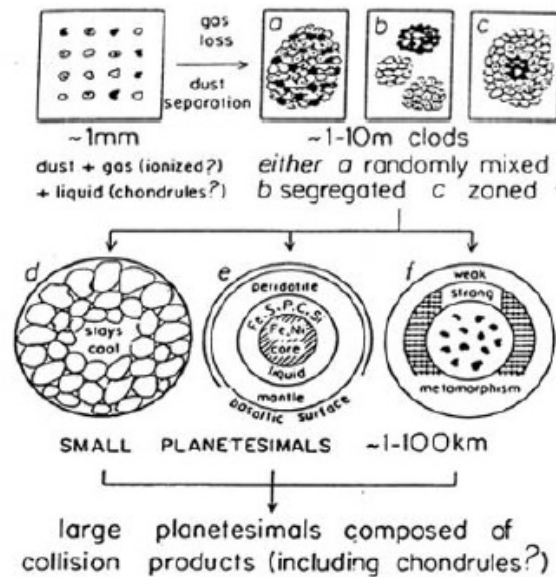


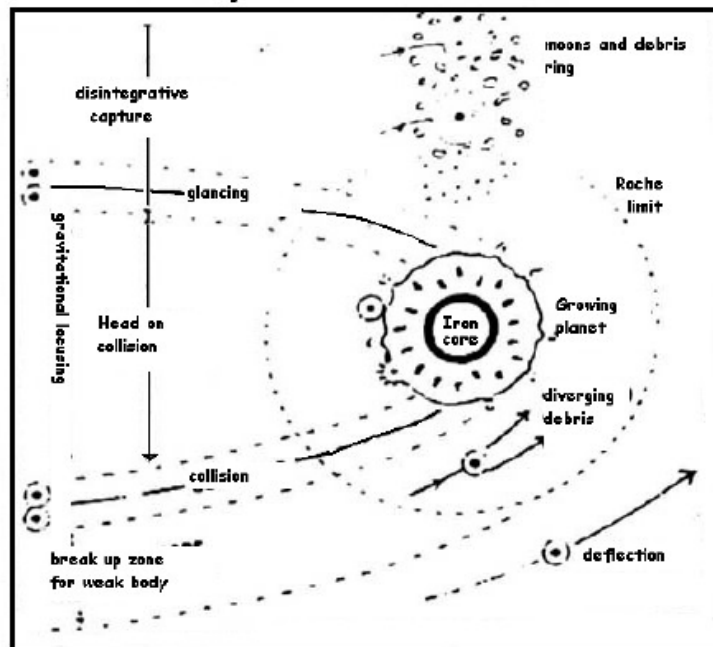
figura 1

Cuando revientan las estrellas se producen procesos termonucleares que hacen que no solo se fusionen un par de átomos, se fusionan muchos, y, como la materia siempre busca el equilibrio, originalmente hay una misma cantidad de protones que de electrones que van a girar alrededor de un núcleo y eso va a conformar entonces los elementos mas complejos, los elementos mas pesados.

Las estrellas pueden considerarse como las "fabricas de materiales en nuestro universo", universo que tiene una distribución heterogénea de la materia y donde se concentra empieza a formarse cuerpos: estrellas fundamentalmente, agrupaciones de estrellas, nebulosas, etc. Se han fotografiado estrellas con discos de materia, discos que son huecos en el centro, lo que correspondería a los planetas rocosos en nuestro sistema solar. Este vacío se genera porque toda la materia que estaba en ese disco esta ahora concentrada en algunos planetas que giran alrededor de ese sol. Toda la materia que nace como partículas de 1 mm de polvo, de gas, gas ionizado y algunos líquidos (figura 1), y esto es algo que se ha obtenido a partir de meteoritos y de ese tipo de información (podemos con estos antecedentes especular). Estas partículas se habrían agrupado en racimos azarosamente mezclados, o partículas segregadas, o partículas ordenadamente agrupadas. Estos racimos tendrían dimensiones de 1 a 10 m, y estos a su vez empezarían a juntarse para llegar a formar pequeños *planetecimales* que, especulando podrían haber estado formado por un núcleo de Fe, Ni, un núcleo líquido alrededor formado por Fe, S, P, C y Si, un manto de Peridotita (roca que tiene minerales en general de baja cantidad de Si, entonces son rocas básicas que pertenecen actualmente al manto de la tierra, formadas por piroxenos y olivinos, mucho magnesio, silicatos de hierro y un poco de sílice), y finalmente una cubierta que es la superficie basáltica. Las dimensiones de estos planetecimales habrían sido de 1 a 100 Km.

Los planetecimales, ubicados al centro del disco de materia estelar (mas pesados) se habrían encargado de limpiar la órbita alrededor del sol: al hacerse más grandes atraen a los objetos más pequeños que están a su alrededor y que están en el paso de sus órbitas. Empieza a producirse un proceso de acresion planetaria y crecimiento del planeta (figura4). En este proceso los planetas adquieren energía. Se calcula que la temperatura que habría en estas situaciones iniciales, como disco planetario, estaría en los 100 °K para el nacimiento de los planetecimales (precursores de los planetas).

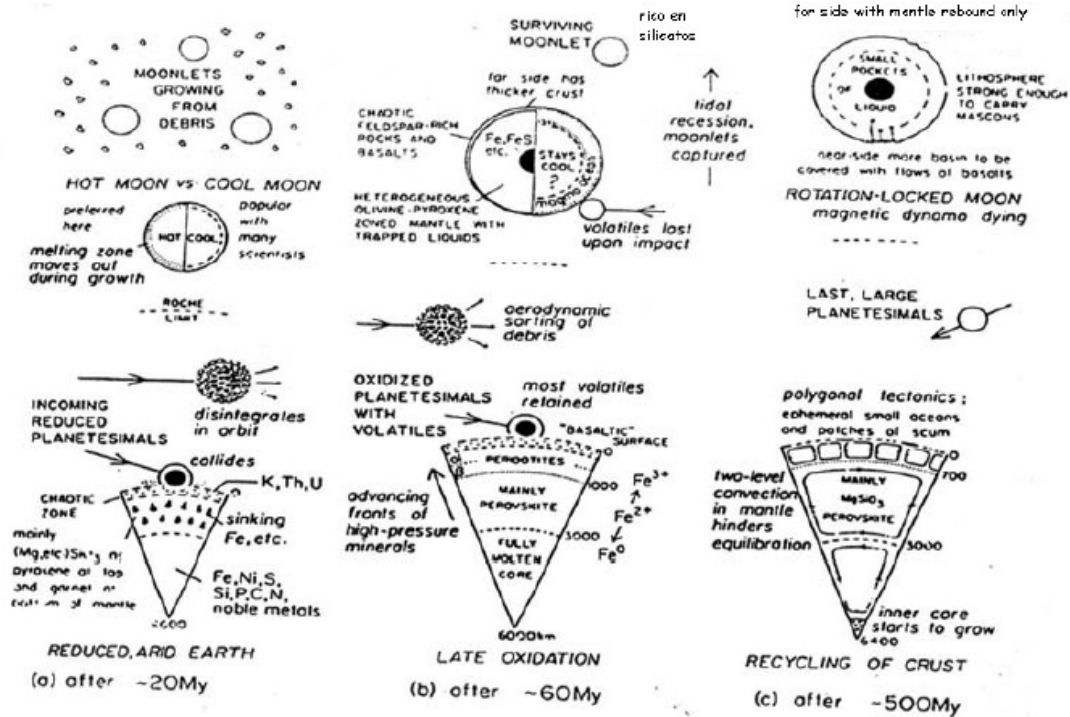
figura 4



En el proceso siguiente que es la, acresion de los planetecimales, van ganando no solamente materia sino que energía. El paso de la energía cinética a energía calórica y aumenta la temperatura de tal forma que en la superficie probablemente exista mas liquido que sólido. Esa situación va a permitir que la segregación de materia que tenemos en este disco planetario empieza a ser posible en este planeta.

La Tierra

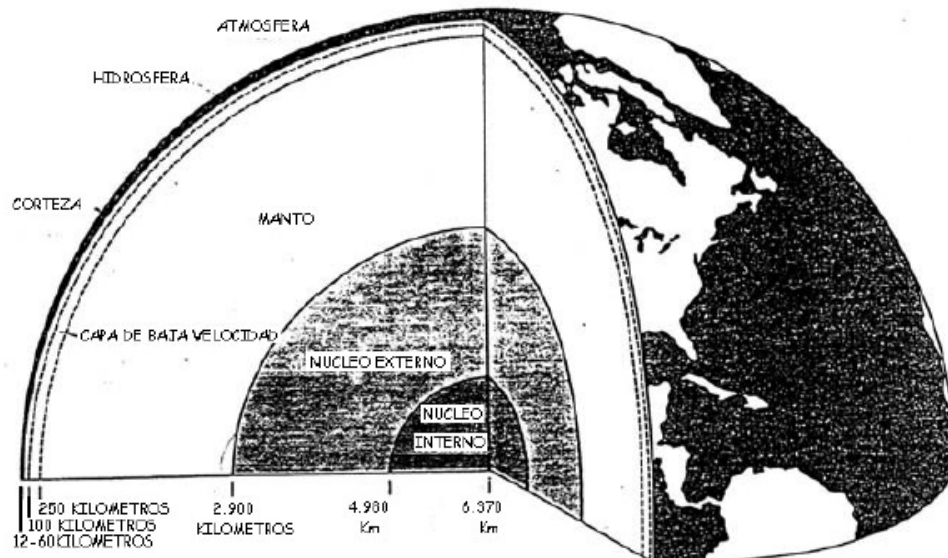
Después de 20 Ma tenemos entonces una Tierra reducida y más o menos limpio al rededor de ella con una mayor cantidad de materia concentrada y un planeta de 4000 Km de radio que esta recibiendo las colisiones de los objetos que existen en su paso en el trayecto planetario (figura 2). Va a tener una cubierta caótica donde ocurren estas colisiones y donde todo esta revuelto y donde mucha de la materia esta fundida. Eso va a permitir entonces que los materiales pesados como el hierro y todos los que son similares al Fe empiecen a irse hacia el centro (es liquido por lo tanto tiene una buena movilidad).



Eso va a producir entonces la concentración del Fe, Ni, S, menos cantidad de Si, P, C, N, pero muchos metales nobles (platino, oro, etc. Elementos pesados en general) en la parte central de este planeta que esta naciendo. 60 Ma después el planeta a crecido 2000 Km de su radio. Hasta los 3000 Km del radio (la mitad del planeta) una bola de liquido formado principalmente de Fe y Ni y los elementos afines a ellos. Desde los 3000 a 5000 Km un manto formado principalmente por perovskita (silicato de magnesio $MgSiO_3$), en donde podemos encontrar Fe reducido de valencia 2 (Fe^{2+}) y desde los 5000 Km hasta la superficie el hierro aparece como Fe^{3+} (o sea en un estado de oxidación mayor). Esta franja, de aprox. unos 900 Km, esta conformada por peridotitas con mayor cantidad de Fe que las partes mas profundas. Finalmente, después de 500 Ma de producido el nacimiento del planetesimal, la tierra alcanza un radio de 6400 Km (actualmente 6370 Km de radio ecuatorial). Cuando se consolida el planeta en volumen, a una temperatura bastante más grande, vamos a tener entonces el comienzo de la solidificación de este núcleo de hierro que esta completamente fundido. Este núcleo empieza a crecer, y crece a expensas del núcleo liquido. El crecimiento o la solidificación es un proceso exotérmico: pasar de fundido a sólido necesariamente se elimina energía. Al liberar energía, y eso se produce en la superficie de esta bola de Fe sólida que esta empezando a crecer, va a calentar él liquido que esta en contacto con esa superficie, y si se calienta él liquido se va a producir una perdida de densidad de el y se eleva topándose con el manto inferior sólido, formado principalmente de perovskita, y por lo tanto no puede seguir subiendo y se desplaza

lateralmente calentando al manto traspasándole la energía. Al traspasarle la energía él liquido se enfría, y si se enfría desciende para volver a calentarse y volver a subir creándose una celda convectiva. El manto se calienta y por esto sube llegando hasta los 700 Km de profundidad y se desplaza lateralmente la materia, traspasa su energía al estrato superior, y baja para volver a calentarse y comenzar nuevamente un ciclo. Las velocidades con que la parte sólida se desplaza fluctúan por los 300 Ma, y la parte liquida se desplaza a velocidades normales nuestras, pueden ser m/s, y presiones altísimas con temperaturas de 5000 ° C. A estas temperaturas muchas de sus partículas o de sus elementos pueden estar ionizados (átomos con carga eléctrica), que con el desplazamiento provoca una corriente eléctrica. Esta corriente eléctrica genera un campo magnético. El campo magnético de la tierra, entonces, se debe al movimiento del liquido caliente ionizado del núcleo externo, núcleo externo que esta creciendo.

La situación actual del planeta se ve en la siguiente figura.



Tiene una corteza que varía entre 12 y 70 Km. En general la corteza oceánica tiene un espesor de 10-12 Km y la corteza continental tiene un espesor máximo de 70 Km, con un promedio que varía entre los 30-35 Km. bajo la corteza existe el manto, separado por la *discontinuidad de Mohorovicic*. Hay una discontinuidad mecánica: la velocidad de las ondas sísmicas se transmite a diferente velocidad siendo mayor en el manto que en la corteza, y hay una discontinuidad mineralógica de roca y química. En general la corteza esta formada por elementos más livianos que el manto y a su vez el manto esta formado por elementos más livianos que el núcleo. En el núcleo, que se divide en un núcleo externo que es liquido y en uno interno que es sólido, están concentrado los materiales mas pesados fundamentalmente el Fe (el Fe es uno de los elementos principales del planeta), el Si y el O son los otros dos elementos de mayor abundancia en la Tierra y en general en los planetas interiores también: Mercurio, Venus, la Tierra y Marte (planetas rocosos). En Mercurio no existe actividad tectónica y la temperatura que hay en la superficie fluctúa en los 300-400 °C, su tamaño es de aprox un 70-80% de la Tierra, Venus es del mismo tamaño de la tierra y es tectónicamente activo, tiene un efecto invernadero gigantesco que provoca temperaturas de superficie de unos 400-450 °C, en general la mayor parte de los volátiles de Venus esta en las nubes, tiene tierra seca. A estas temperaturas de la superficie de Venus significaría para nosotros que esas rocas son metamórficas, o sea están sufriendo cambios en la misma superficie. Venus es un planeta

todavía dinámico, y eso tiene que ver con el volumen, al igual que la Tierra "se mueve". Marte es también un planeta muerto, no tiene actividad tectónica y su tamaño es bastante menor que la Tierra y ya se le terminó su energía al igual que la Luna.

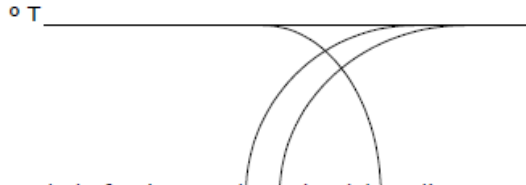
Tenemos, como resumen, la Tierra con una corteza que en los océanos es de alrededor de 12 Km y en los continentes unos 35 Km alcanzando un espesor máximo de 70 Km aprox en el altiplano frente a Iquique en la cordillera de los Andes. Entre los 12 y los 60 Km y hasta los 80 o 150 Km encontramos el manto litosférico. Ese manto litosférico mas la corteza forman la litosfera de la tierra, y, como su nombre lo indica, es una esfera de roca que conforma la superficie de la Tierra y que forma las placas tectónicas, en cuyos bordes se concentra la mayor cantidad de actividad sísmica, volcánica, magmática, de mineralización, etc. La mayor parte de los procesos que dan cuenta de la evolución de los elementos superficiales se producen en los bordes de las placas litosféricas. Bajo la litosfera existe una capa de baja velocidad de transmisión de ondas sísmicas. Por ejemplo las ondas sísmicas en los sedimentos que rellenan la cuenca de Santiago se transmiten alrededor de 3 o 3.2 Km/s. en roca debe aumentar a 3.8-4 Km/s en superficie y si comenzamos a profundizar el aumento a los 100 Km debe fluctuar en los 8 Km/s. Mientras más denso el material las ondas sísmicas se transmiten más rápido. La profundidad litosférica varia entre 80-150 Km y nos encontramos que hay una caída fuerte desde unos 8 Km /s a 3.5 Km/, para volver a aumentar y ponerse mas o menos en la misma pendiente que tenia antes a 200-300 Km de profundidad. O sea hay una capa de unos 200 Km, 300 máximo, en algunas partes muy delgada y en otras partes inexistentes, de baja velocidad de transmisión de ondas sísmicas. Esto ocurre porque la densidad de la capa es menor debido a que contiene liquido, poco pero tiene (no mas de un 5% de su volumen esta fundido), y las ondas sísmicas no se transmiten muy bien a través del liquido. El contacto, entonces, entre los granos no es completo, a veces hay liquido entre medio lo que amortigua. Ese liquido además lubrica todos los granos y les permite tener un comportamiento de tipo plástico, por lo tanto podríamos decir que la litosfera, que es una capa rígida hecha de roca esta flotando arriba de la astenósfera, que es esta capa plástica. Eso permitiría entender que bloques que tienen raíces tan profundas como los 70 Km en el altiplano se eleven los 6 o 7 Km que tienen los edificios volcánicos. (el altiplano es un bloque gigantesco que tiene unos 2000 o 3000 Km de largo por unos 500 o más Km de ancho y que esta todo sobre 4000 m de altura.). La raíz de eso entonces llega a la máxima profundidad, lo mismo ocurre en los Himalayas, en los Andes, en todas las cordilleras en general las raíces de estas se internan en mas profundidad mientras más elevada sea la misma. Estos bloques, que están flotando sobre la Astenosfera, se pueden compensar gravitacionalmente, es decir, si un bloque se levanta en alguna otra parte otro bloque baja, y esa compensación tiene que ver con volumen y densidad, y el movimiento, si un bloque grande se levanta puede bajar otro bloque más pequeño, pero de mayor densidad. La corteza oceánica y la litosfera oceánica son en general baja, más densa que la litosfera continental, eso hace que el promedio de profundidades sea alrededor de 5000 m baja el nivel del mar y que el promedio de altura de los continentes no pasa de los 500 o 1000 m sobre el nivel del mar.

El manto superior llega hasta los 700 Km de profundidad y tiene el manto litosférico, el manto astenosférico, y la capa que va mas abajo de la astenósfera se llama mesosfera.

¿Por que se produce un porcentaje de fusión en la astenósfera?

La astenósfera esta formada por una asociación de minerales que tienen una composición conocida. Los minerales de más baja temperatura de fusión se empiezan a fundir alrededor de los 1000 °C y terminan de fundirse a los 2000 °C aprox. en superficie. Podemos decir entonces que para pasar de sólido a liquido vamos a tener un rango de temperatura en la cual se va a ir produciendo una fusión parcial hasta que se complete la fusión total de este sólido que pasa a liquido. La inclinación del gradiente termal y la inclinación de esta franja van siendo distintas debido a la presión. A medida que se adentra en la tierra esta tiene mayor temperatura. Donde se intersecta el gradiente termal con la franja significa que a esa profundidad se tiene un 2 o 3% fundido y un porcentaje restante de esa composición de roca sólida.

Más abajo de la intersección está la mesosfera (sólida) y más arriba de ella está la litosfera que también es sólida.



El espesor de la franja va a depender del gradiente térmico que exista, en general en la Tierra los gradientes térmicos mayores se encuentran en los lugares donde hay cadenas volcánicas o en las zonas de borde de placas (calor). Las temperaturas o los gradientes térmicos entre placas descienden bastante (en el cordón volcánico del sur, que comienza en el volcán Tupungato y termina en el volcán Hudson, debe andar alrededor de los 60 °C por Km), pero en una zona escudo, en Sudáfrica, donde está la mina de oro más profunda, el gradiente térmico debe andar por los 10 °C/Km o quizás menos (3400 m tienen la galería más profunda de la mina). Dependiendo de la inclinación que tenga el gradiente vamos a tener más o menor porcentaje de fusión, si la inclinación es mucha no va a ocurrir la intersección, siempre se va a mantener sólido. Esto es lo que ocurre bajo las zonas escudo (zonas muy viejas, alejadas de los bordes de las placas)

A los 2900 Km llega el manto inferior (entre los 700 y los 2900 Km) (magnesio fundamentalmente), una capa de 2200 Km de espesor, y entre los 2900 y los 4980 Km está el núcleo externo que es líquido (Fe, Ni, aparece Si, S, y algunos otros elementos que son más comunes), y entre los 4980 y los 6370 Km tenemos el núcleo interno sólido (Fe, Ni), el manto superior contiene fundamentalmente Fe (ferroso), y tanto en la corteza oceánica como en la continental abunda el Si (Si y Al en la continental y Si y Mg en la oceánica). La corteza continental está más elevada porque es la más liviana, es como la escoria de todo este sistema evolutivo y de segregación de material, lo más liviano flota y lo más pesado se va abajo (por suerte existen excepciones, por lo tanto tenemos yacimientos de Cu, Au también arriba en superficie). Seguramente más al manto debe existir agua y algunos otros elementos livianos pero en una proporción muy baja.

La discontinuidad de Gutenberg está ubicada en los 2900 Km entre el manto inferior y el núcleo externo.