

HARTAI ÉVA,

# GEOLÓGIA

2



A Műszaki Földtudományi Alapszak tananyagainak kifejlesztése a  
TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében valósult meg.

## II. A FÖLD MINT ÉGITEST

### 1. BEVEZETÉS

A Föld egyedi, különleges bolygó. Különlegességét az adja, hogy – bár méretét és közetösszetételét tekintve hasonló a szomszédos bolygókhoz – felszínének nagy részét víz fedi, légköre oxigént és vízgőzt tartalmaz, és a víz harmadik halmazállapotában, jégként is jelen van. Még különlegesebbé teszi az élővilág, sokféleségével és rendkívüli változatosságával. E sajátosságok több tényező hatására alakultak ki, de ezek közül legmeghatározóbb bolygónk Naptól való távolsága volt. Ahhoz tehát, hogy megértsük a földi folyamatokat, meg kell ismernünk a Föld világegyetemben elfoglalt helyét és kialakulásának körülményeit.



*"A kék üveggolyó"*

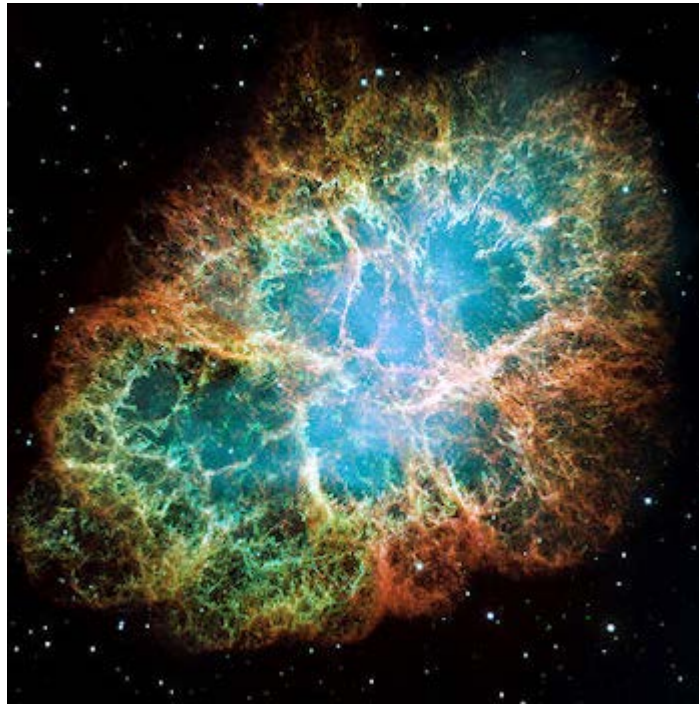
*Földünk a világűrben, ahogyan az Apollo 17 legénysége látta 1972. december 7-én*

### 2. A VILÁGEGYETEM KIALAKULÁSA

Az univerzum felépítésében két elem, a *hidrogén* és a *hélium* játszik fő szerepet. Ezek az elemek szolgáltatják a csillagok fűtőanyagát, beleértve a mi napunkat is.

A két elem keletkezésére jelenleg legelfogadottabb magyarázat az *ősrobbanás* ("big bang") elmélete. Eszerint körülbelül 15 milliárd évvel ezelőtt felrobbant az egész világegyetem anyagát magába foglaló, hihetetlenül sűrű kozmikus tömeg, anyagot és energiát lövellve a tér minden irányába. Az ősi univerzum egy táguló gázfelhőnek tekinthető, mely körülbelül 75 % hidrogénből és 23 % héliumból állt. Az összes többi elem körülbelül két százalékban volt jelen (ez az összetétel a jelenlegi univerzumra is jellemző).

Körülbelül egymilliárd év elteltével az "ősköd" kisebb felhőkre oszlott, amelyek a galaxisok kialakulásának kezdetét jelentették. Ezek a "protogalaktikus" gázfelhők még kisebb kozmikus felhőkből (más néven nebulákból) álltak, melyeket a gravitáció tartott össze.

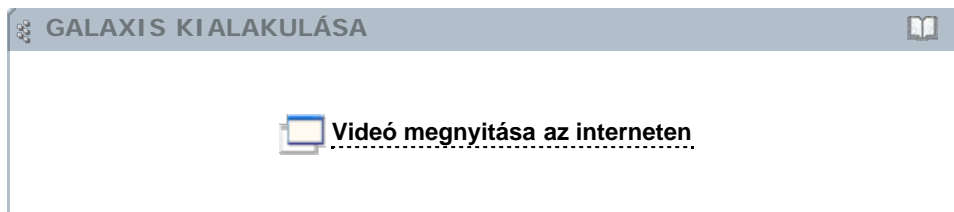


**A Crab (Rák) nebula [1]**

A nebula egy szupernova-robbanás maradványa, melyet 1000 évvel ezelőtt Kínában és Japánban feljegyeztek

A nebulák egyre sűrűsödtek, majd összeomlottak, ami hatalmas hőt termelt a felhő magjában. A hőmérséklet elérhette a 10 millió °C-ot. Ez a hőmennyiség termonukleáris reakciót indított el, melynek során a hidrogénatomból hélium jött létre. Így alakultak ki – és születnek napjainkban is – a csillagok, a galaxisok építőkövei. A fúzió következtében felszabaduló óriási energiát a csillagok fény és hő formájában sugározzák ki.

A mi Tejútrendszerünkhöz hasonló galaxis kialakulását a következő animáció mutatja:



**Jelmagyarázat:** zöld színezés: gázok; kék színezés: új csillagok; piros színezés: öreg csillagok;

A galaxisok számát 50 milliárdra becsülik, a csillagok száma minden galaxisban több százmilliárd. Eloszlásuk a világűrben nem egyenletes, galaxis-halmazokba csoportosulnak. A galaxisok lapult felépítésűek, spirális karokkal rendelkeznek, átmérőjük körülbelül százezer fényév. A galaxis központi részében egyes elméletek szerint egy hatalmas hipercsillag, más vélemények szerint *fekete lyuk* (extrém gravitációjú centrum) helyezkedik el. Az idősebb csillagok egyenletesen oszlanak el, a fiatalabb csillagokat a spirális karok tartalmazzák. A mi naprendszerünket is tartalmazó *Tejútrendszer* az univerzumban átlagos méretű galaxisnak tekinthető.



**Az Andromeda-galaxis [ii]**

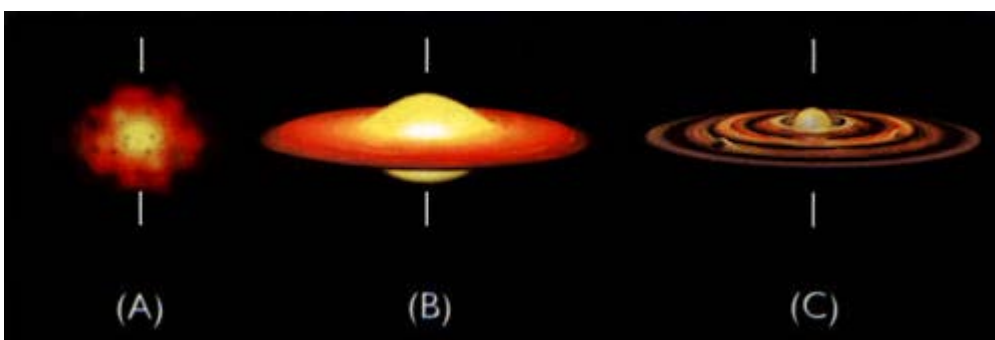
A Tejútrendszerhez hasonló, tőlünk 2,5 millió fényévi távolságra lévő csillagrendszer

A közvetlenül az ősrobbanást követően kialakult, idős csillagok közül napjainkban valószínűleg már csak kevés létezik. Ezekben a csillagokban a fúziós folyamat a hidrogén nagy részét felemésztette, és ez által a vas, valamint más nehéz elemek is létrejöttek. Mivel ezek a csillagok az átlagosnál nagyobb méretűek, az összehúzódnási folyamat hosszabb ideig tart, végül az egész csillagtömeg összeomlik a központi magba, és a csillag szupernovaként felrobban. A robbanás révén a nehéz elemek szétszóródnak, és a későbbi csillag-generációk alkotóelemeivé válnak.

### 3. A NAPRENDSZER KELETKEZÉSE ÉS FELÉPÍTÉSE

A nebulák (csillagközi gázfelhők) nagy része stabil, nem alakulnak csillagokká, csak abban az esetben, ha valamilyen külső hatás éri őket. Ilyen hatás lehetett egy körülbelül 5 milliárd évvel ezelőtti szupernova-robbanás (ezt is szokták "big bang"-ként emlegetni), ami a Naprendszer elődjének tekinthető nebula forgását és összehúzódnását eredményezte, ugyanakkor nehéz elemeivel hozzájárult annak anyagkészletéhez.

Az összehúzódnás hőt termelt, ami a központi részben elindította a fúziós folyamatot. Az "Ős-Napot" körülvevő gáz- és porfelhő a növekvő forgási sebesség következtében diszkosz-szerűen széttlapult, de a gravitáció megakadályozta, hogy anyaga szétszóródjon. Így egy stabil, dinamikus rendszer, egy forgástest jött létre, melynek alacsony forráspontú, illékony komponensei (mint a metán és ammónia) a rendszer külső, hidegebb zónáiban kondenzálódtak, ezzel a későbbi, nagyobb méretű, külső bolygók anyagát szolgáltatva. A magas olvadáspontú fém- és kőzetjellegű komponensek kondenzációja a Naphoz közelebb eső, melegebb övezetben következett be, így a belső bolygókat ezek építik fel.

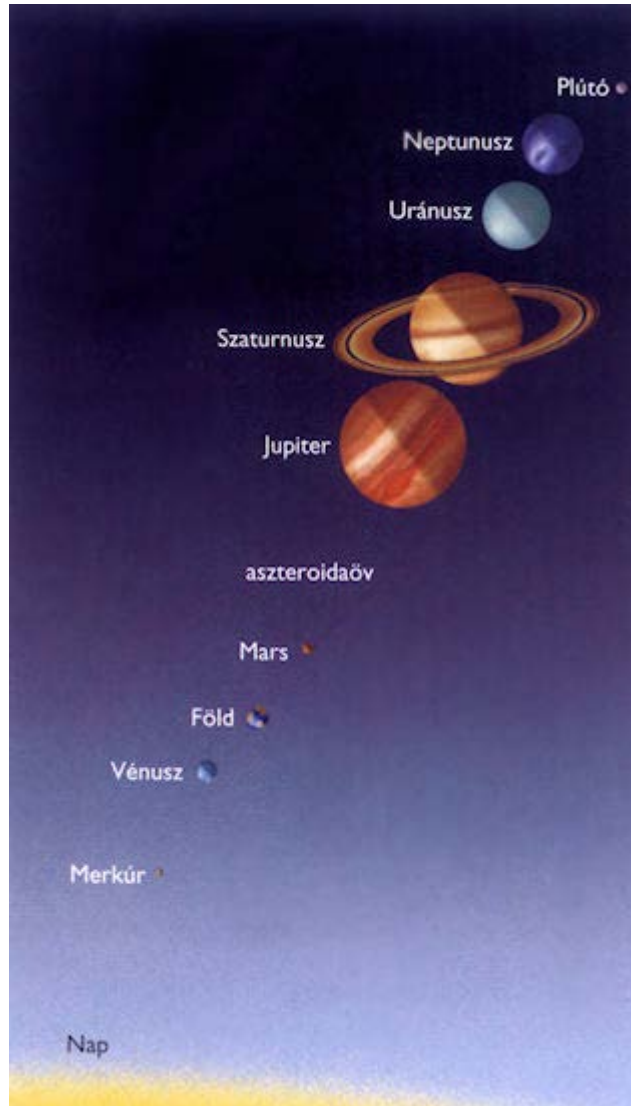
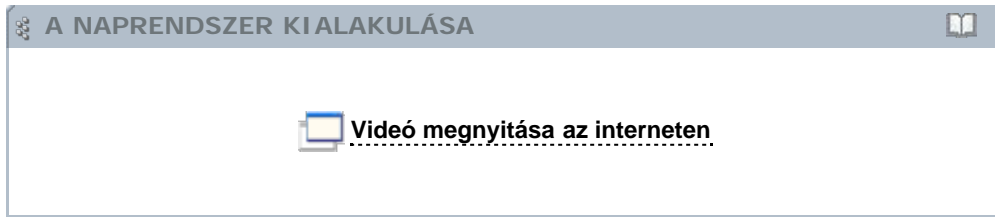


**A Naprendszer kialakulása**

A: A gáz és por anyagú kozmikus felhő sűrűsödni kezd. B: A tömeg a forgó mozgás miatt széttlapul. C: A külső részekből gyűrűk szakadnak le, melyeknek anyaga bolygókká tömörül

A lapult forgástest idővel gyűrűkre szakadozott, melyekben véletlenszerű ütközések és összetapadás révén gravitációs centrumok alakultak ki, majd ezek aszteroida-méretű (néhány száz kilométer átmérőjű) rögökké, úgynevezett **planetezimálokká** váltak. A **planetezimálok** összeütközése és összeforrása révén jöttek létre a bolygók, majd ezek gravitációs hatásukkal "befogták" a kisebb meteoritokat. Ezt a folyamatot nevezzük **planetáris akkréciónak**.

A Naprendszer kialakulásának folyamatát szemlélteti az alábbi animáció:



**A Naprendszer felépítése**  
*A méretkülönbségek jelzik a bolygók méreteinek eltérését*

A belső, úgynevezett Föld-típusú bolygók viszonylagosan kisméretűek, nagyobb sűrűségűek, és szilárd anyagokból (illetve belső öveikben részben olvadékból) épülnek fel. A külső, vagy Jupiter-típusú bolygók nagyobb méretűek, és gázokból állnak. A belső és külső bolygók közötti aszteroidaöv feltételezések szerint egy olyan gyűrű, amelynek anyaga nem tudott bolygóvá tömörülni.

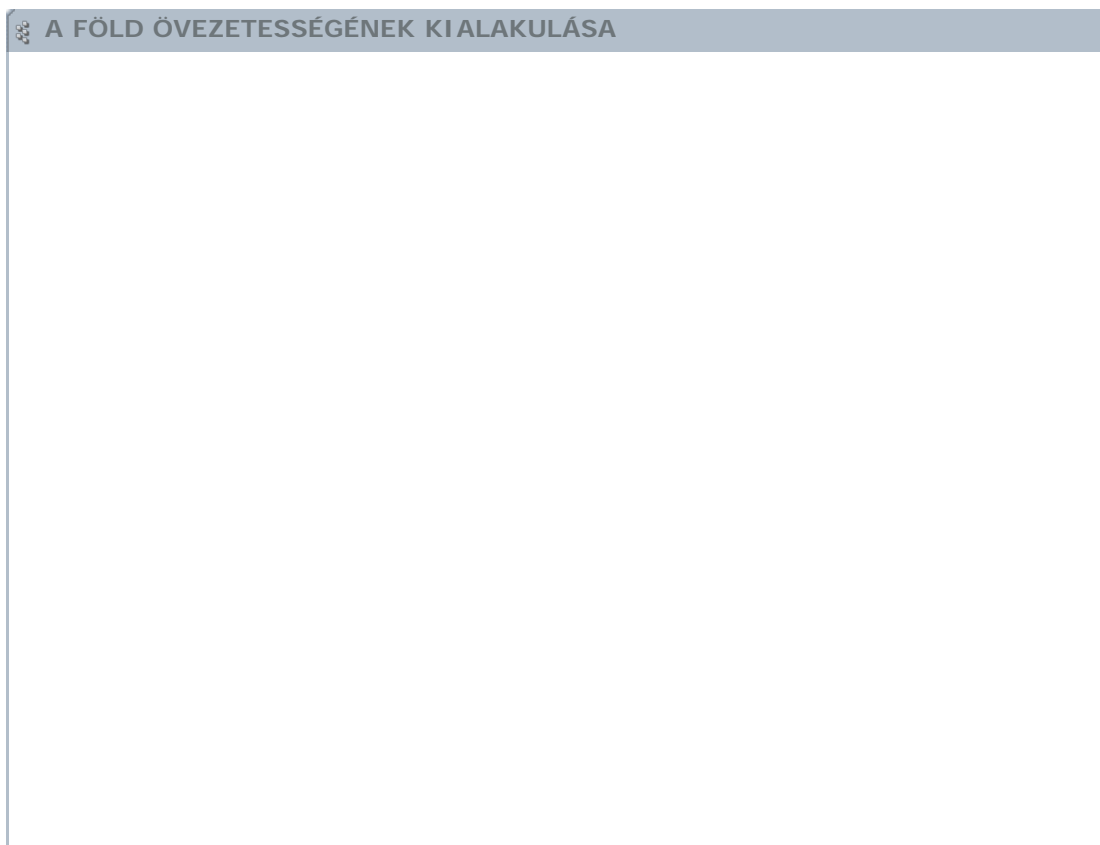
	Átmérő (km)	Tömeg (Föld = 1 egység)	Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	Holdak száma	1 nap hossza (földi órákban)	A Nap körüli keringési idő (földi években)	A Naptól való átlagos távolság (millió km)
Merkúr	4 880	0,055	5,44	0	1416	0,24	58
Vénusz	12 104	0,815	5,2	0	5832	0,62	108
Föld	12 756	1	5,52	1	24	1,00	150
Mars	6 787	0,108	3,93	2	24,6	1,88	228
Jupiter	142 800	317,8	1,3	16	9,8	11,86	778
Szaturnusz	120 000	95,2	0,69	18	10,2	29,5	1427
Uránusz	51 800	14,4	1,28	15	17,2	84,0	58
Neptunusz	49 500	17,2	1,64	8	16,1	164,9	4497
Plútó	6 000	0,003	2,06	1	154	247,7	5900

A Naprendszer bolygóinak adatai

#### 4. A FÖLD KORAI FEJLŐDÉSE

A bolygókká összeállt kozmikus anyag tömege (tekintsük most már csak a Naptól számított harmadik bolygót, a Földet) a planetáris akkréció miatt egyre nőtt. Meteoritok alapján feltételezik, hogy összetételében szilikátok és oxidok és vas-nikkel ötvözetek játszottak szerepet. Ezek a Föld akkori ős-állapotában, körülbelül 4,6 millió évvel ezelőtt, homogén eloszlásban voltak jelen.

A meteorit-becsapódások energiája a Föld hőmérsékletét növelte, mivel mozgási energiájuk hőenergiává alakult át. A hőmérséklet emelkedéséhez nagymértékben hozzájárult a radioaktív anyagok bomlásával felszabaduló energia is. Mivel a kőzetek rossz hővezetők, a folyamatok által termelt hőnek csak egy részét tudták elszállítani (**kondukción**, azaz a szilárd anyagokra jellemző hővezetés útján). A felhalmozódó hő a bolygók teljes anyagának megolvadásához vezetett, ami lehetővé tette az alkotóelemek fizikai és kémiai elkülönülését. A nehezebb elemek, mint a vas és a nikkel, a központi részbe tömörültek, ezt vették körül a könnyebb, vasban és magnéziumban gazdag szilikátvegyületek. A külső burokba rendeződtek a legkönnyebb *szilikátok* és *szilícium-* és *alumíniumoxidok*. Ilyen módon tehát a Föld egy magasan frakcionálódott, öves felépítésű testté vált.



A bolygók idővel a meteoritok nagy részét befogták, így a meteorit becsapódások csökkenése, valamint a radioaktív elemek fogyása miatt a hőtermelés csökkent. Ugyanakkor, az olvadékokra jellemző **konvekciós** hőáramlás jobb



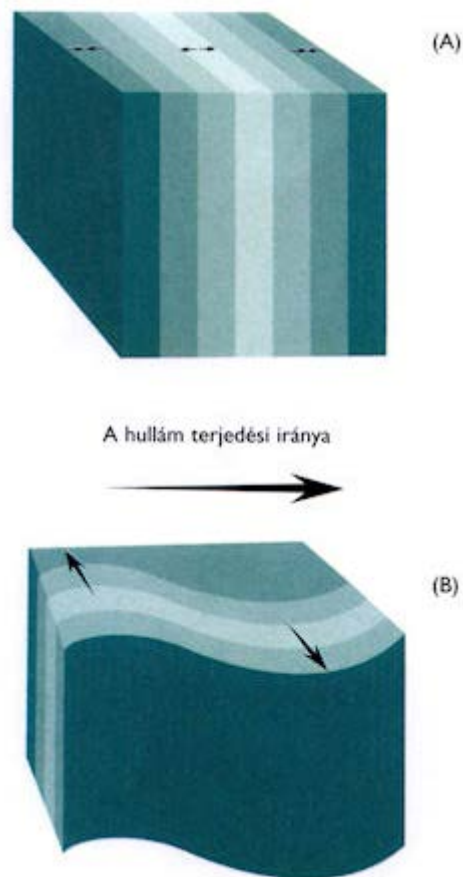
hőátadást biztosított, és a bolygók hűlni kezdtek. Körülbelül 4,2 milliárd évvel ezelőtt bekövetkezett legkülső vékony burok megszilárdulása (itt jegyezzük meg, hogy vannak szerzők, akik a szilárd kéreg kialakulásának időpontját helyezik 4,6 millió évvel ezelőtre, de általánosabban elfogadott a 4,2 millió év). A kéreg alatti olvadékból gázok szabadultak fel, és vulkánokon keresztül az atmoszférába kerültek. Így elsősorban *vízgőz*, mellette *széndioxid*, *metán* és *ammónia* alkotta a Föld korai légkörét.

## 5. INFORMÁCIÓK A FÖLD BELSŐ SZERKEZETÉRŐL A FÖLDRENGÉSHULLÁMOK ALAPJÁN

A Föld mélyebb zónáiról nincsenek közvetlen információink, hiszen a legmélyebb fúrás is csak 12 km mélységig hatolt le. Közvetett információval a földrengéshullámok szolgálnak, melyek mérésével következtethetünk a Föld belsejének sűrűség illetve halmazállapot változásaira, rideg vagy képlékeny jellegére.

A Föld belsejében haladó rengéshullámoknak alapvetően két fajtája van. A primer (P) hullámok megjelölésüket annak köszönhetik, hogy gyorsabban terjednek, így elsőként észlelhetők. Ezek a hullámok *longitudinálisak*, azaz rezgésük a tovaterjedés irányába mutató sűrűsödésekből és ritkulásokból áll, vagyis nyomáshullámok. A longitudinális hullámok szilárd anyagban és folyadékban is terjednek, bár az utóbbiban lelassulnak.

A később beérkező szekunder (S) hullámok *transzverzális* rezgések, azaz a kitérések iránya a terjedés irányára merőleges (nyíráshullámok). A folyadékok, melyek nyírófeszültséget felvenni nem tudnak, ezeket a hullámokat elnyelik.



### **A részecskék mozgása a földrengéshullámok terjedése során**

A P-hullámokban a részecskék a terjedés irányának megfelelően, a nyilakkal jelzett módon, oda-vissza mozgást végeznek (A). Az S-hullámokban a részecskék oszcilláló mozgása a hullámterjedés irányára merőleges (B)

A rengéshullámok harmadik típusát, a földfelszínen haladó, nagy pusztítást végző *felületi hullámokat* nem tudjuk használni a földszerkezet vizsgálatára.

A hullámvezetés képessége anyagi jellemző, amely elsősorban a sűrűségtől függ. Sűrűbb anyagban a hullámok gyorsabban, kisebb sűrűségű anyagban lassabban terjednek. Ha egy rezgéshullám két eltérő vezetőképességű anyag határfelületére érkezik, akkor sebessége változik, elhajlást vagy visszaverődést szenved, illetve elnyelődik. Ezeket a felületeket **diszkontinuitási felületeknek** nevezzük.

A földrengéshullámok tulajdonságainak vizsgálatával a **szeizmika** foglalkozik. Szeizmikus módszerekkel, az egész Földre kiterjedő észlelési hálózattal a rengéshullámok mélybeli elhajlásai vagy elnyelődései kimérhetők, így a diszkontinuitási felületek mélységére, az övek sűrűségére és halmazállapotára következtethetünk.

## 6. ÖSSZETÉTEL ALAPJÁN ELHATÁROLHATÓ FÖLDÖVEK

A szeizmikus észlelések tanúsága szerint a Föld belső anyagának sűrűségeloszlása nem homogén. A 6378 km egyenlítői sugarú Földben a sűrűség befelé növekszik, de nem egyenletesen: bizonyos mélységtartományokban ugrásszerűen megnő a hullámvezetési képesség, azaz változik az anyag sűrűsége. Ez elsősorban az anyagi összetétel változásával van összefüggésben, de okozhatja kristályszerkezeti átalakulás is. A kis vastagságú átmeneti zónákat, melyek a különböző sűrűségű egységeket egymástól elválasztják, diszkontinuitási felületeknek nevezzük.

Kémiai összetétel (és ugyanígy sűrűség és kristályszerkezeti változás) alapján a Föld belsejében 3 öv határolható el: mag, köpeny és kéreg.

### A mag

A Föld legbelső egysége a **mag**. Külső határa a 2900 km mélységben lévő **Gutenberg-Wiechert** felület. A mag fő alkotóelemei feltehetőleg a vas és a nikkel, ugyanis sűrűsége ezekhez áll közel, és bizonyos meteoritok anyaga is ilyen összetételű. A magot két egységre, külső és belső magra osztjuk. Ezeket az 5100 km mélységben lévő **Lehman-felület** választja el. Ez azonban nem anyagi változás határa, mert a belső és külső mag között valószínűleg nincs különbség összetételben. A változás a halmazállapotban jelentkezik, amire a későbbiekben térünk ki.

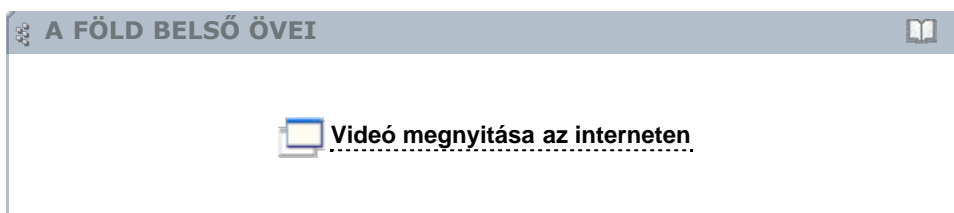
### A köpeny

A **köpeny** a **Gutenberg-Wiechert-felülettől** a 30 km-es átlagmélységben lévő **Mohorovičić-felületig** terjed. Összetételében a vas- és magnéziumszilikátok játszanak döntő szerepet. Átlagos sűrűsége 4,5 g/cm<sup>3</sup>. Az 1000 km mélységben húzódó **Repetti-felület** a köpenyt alsó- és felsőköpenyre tagolja. A felsőköpeny anyagát vulkanizmus által felhozott töredékek (zárványok) alapján ultrabázisos kőzetekkel (például peridotit) azonosítják. Az alsó köpeny anyagi összetételéről nincsenek közvetlen információink. Valószínűnek tartják, hogy az alsó - és felsőköpeny közötti sűrűségváltozásokat (a felsőköpeny kisebb sűrűségű) nem az anyagi összetétel változása, hanem kristályszerkezeti átalakulások okozzák.

### A kéreg

A Föld legkülső sűrűségi egysége a **kéreg**. Tömege a Föld tömegének kevesebb, mint 1%-át teszi ki. Alsó határát a P-hullámok jelentős sebességváltozásánál lehet megvonni. Ez a hely a **Mohorovičić-felület** (rövidebb nevén a "Moho"-ként is emlegetik), melynek mélysége 4-60 km között változik, az óceánok aljzatában 4-5 km, a kontinenseken a magashegységeknél maximum 60 kilométer. A kontinenseket felépítő kéreg a kontinentális kéreg. Összetétele a felső részén grániténak megfelelő (felső kéreg), sűrűsége átlagosan 2,7 g/cm<sup>3</sup>. A mélyebb zónákban a kéregösszetétel a gabbróhoz áll közel (alsó kéreg), sűrűsége 3-3,3 g/cm<sup>3</sup>. A két egységet a **Conrad-felület** választja el. Az óceánok aljzatában található óceáni kéreg uralkodóan bazaltos, nagyobb sűrűségű (átlagosan 3 g/cm<sup>3</sup>) kőzetekből épül fel.

A Föld belső öveinek arányát jól szemlélteti az alábbi animáció:

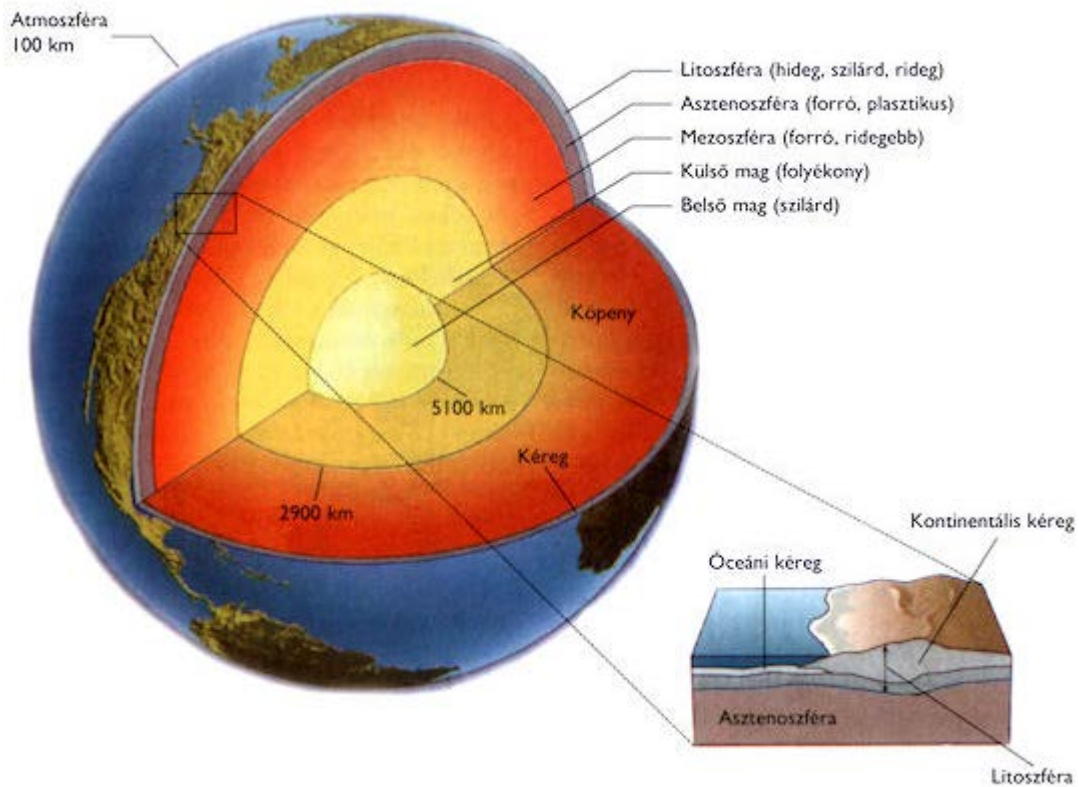




## 7. FIZIKAI TULAJDONSÁGOK ALAPJÁN ELHATÁROLHATÓ FÖLDÖVEK

A Föld belsejében nemcsak az anyagi összetétel változik övezetesen, hanem olyan fizikai tulajdonságok, mint a kőzetek szilárdsága, rideg vagy plasztikus jellege, illetve halmazállapota, amire szintén a földrengéshullámok vizsgálatából következtethetünk. Ezeknek a tulajdonságoknak a változása a dinamikus földi folyamatok szempontjából nagyobb jelentőségű, mint az anyagi összetétel szerinti tagolódás. Ezek adnak magyarázatot a Föld mágneses terének létezésére, és ezek szabályoznak olyan dinamikus folyamatokat, mint az óceánok szétnyílása vagy a hegláncok kiemelkedése.

Fizikai tulajdonságok alapján a Föld belsejében 5 öv határolható el: belső mag, külső mag, mezoszféra, asztenoszféra és litoszféra.



### A Föld belső övei

Kémiai alapon felosztható földövek: mag, köpeny, kéreg. Fizikai alapon felosztható földövek: belső mag, külső mag, mezoszféra, asztenoszféra, litoszféra. A külső, merev litoszférát a szilárd, de "gyenge" asztenoszféra követi, majd a mezoszféra ismét ridegebb. A külső mag folyékony, majd a belső mag – bár kémiai összetétele hasonló a külső magéhoz, az óriási nyomás miatt szilárd jellegű. A litoszférán belüli kéreg kontinentális és óceáni kéregre tagolható

### A belső és a külső mag

Az 5100 km alatti mélységben, a belső magban olyan óriási nyomás uralkodik (kalkulált értéke 1,4 millió MPa), hogy a vas-nikkel összetételű anyag a 3000-4000 °C-ra becsült hőmérséklet ellenére sem olvad meg. *A belső mag tehát a rengéshullámokkal szemben szilárd anyagként viselkedik.* A külső magban viszont a nyomás és a hőmérséklet közötti egyensúly miatt bekövetkezik az olvadás. *A külső mag tehát folyékony,* amire abból következtethetünk, hogy a transzverzális hullámokat elnyeli, a longitudinális hullámokat pedig lelassítja. A külső magban lezajló áramlásoknak köszönhető a Föld mágneses tere, mely a dinamó működési elvéhez hasonlóan gerjesztődik.

### A mezoszféra

A kőzetek szilárdságát a nyomás és a hőmérséklet befolyásolja. A nyomás növekedése a kőzeteket "erősíti", azaz nagyobb szilárdságúvá teszi, a hőmérséklet növekedése pedig "gyengíti" őket, vagyis plasztikussá válnak. A két tényező hatása szempontjából a köpeny és a kéreg együttesen három szilárdsági övre osztható. Ezek közül a legalsó

a **mezoszféra**, amely a *Gutenberg-Wiechert* felülettől, tehát 2900 km mélységtől körülbelül 350 km mélységig tart. A földrengéshullámok azt mutatják, hogy ebben a zónában, annak ellenére, hogy magas a hőmérséklet (jóval a felszíni nyomásviszonyok között tapasztalt olvadáspont fölött van), a *kőzetek mégis szilárdak*, mert tulajdonságaik kialakításában a nyomásnak van uralkodó szerepe.

## Az asztenoszféra

A felsőköpenyen belül, 350 km és 100-200 km közötti mélységben található a Gutenberg-féle alacsony sebességű zóna, az **asztenoszféra**. Ebben az övben az S-hullámok sebessége felülről lefelé haladva egyre jelentősebb mértékben csökken, bár teljesen nem nyelődnek el. Az anyag tehát szilárd, de a hőmérsékletnövekedés hatására "gyengévé", azaz plasztikussá válik. Természetesen, lefelé haladva a nyomás is növekszik, de a hőmérséklet szerepe itt erősebben érvényesül. Ezt az övet nevezzük asztenoszférának, melynek összetétele megegyezik a mezoszféráéval, attól csak képlékeny jellegében tér el. Ez teszi lehetővé az anyag igen lassú (cm/év) mozgását, vagyis a **konvekciós** hőáramok kialakulását.



## A litoszféra

A Föld legkülső, 70-200 km vastagságú, szilárd kőzetekből álló öve a **litoszféra**, mely magában foglalja a kérget és a köpeny legfelső részét, tehát nem anyagi egység. A litoszféra az asztenoszférához képest *merev, ridegen viselkedő* kőzetekből áll. Szilárdságát az okozza, hogy a mélyebb részein a hőmérsékletemelkedés ellenére a nyomásé a döntő szerep. A litoszféra egymáshoz képest állandó mozgásban lévő darabokból (lemezekből) áll. E mozgások vizsgálatával és értelmezésével a lemeztectonika foglalkozik.

## 8. ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK

### A FÖLD MINT ÉGITEST - ELLENŐRZŐ FELADATOK

Többször megoldható feladat, **elvégzése kötelező**.  
A feladat végső eredményének a mindenkor **legutolsó megoldás** számít.

**Döntse el, hogy az alábbi állítások igazak vagy hamisak!**

1. Az univerzumban a vas a leggyakoribb elem. 

I	H
2. Az ősrobbanás 15 milliárd évvel ezelőtt történt. 

I	H
3. A nebulák sűrűsödésével e termonukleáris reakció 10 ezer °C-on megindult. 

I	H
4. A galaxisok számát 50 millióra becsülik. 

I	H
5. A Naprendszer kialakulásához az anyagot egy szupernova-robbanás szolgáltatta. 

I	H

**Társítsa a megfeleltethető fogalmakat!**

Kattintással válasszon elemet, majd mozgassa a nyilakkal a kívánt helyre.

6. 

„gyenge” szilárd anyag	vas és nikkal
földmag	
Gutenberg-Wiechert felület	2900 km
15 milliárd év	ősrobbanás
kontinentális kéreg	asztenoszféra
	gránitos összetétel

**Társítsa a földövekhez a megfelelő fizikai állapotot!**

7. litosféra -
8. belső mag -
9. asztenoszféra -
10. mezosféra -
11. külső mag -

**Egészítse ki a táblázatot az alábbi földövek alsó és felső mélységhatáraival!**

A kitöltéshez válasszon először számot, majd kattintson egy pontozott vonalra!

2900, 0, 350, 100, 6370, 5000, 4-70

földöv	alsó mélységhatár (km)	felső mélységhatár (km)

külső mag		
kéreg		
asztenoszféra		
köpeny		
mezoszféra		
belső mag		

**Párosítsa a meghatározáshoz a fogalmat!**

A kitöltéshez kattintson először az adott szóra, majd a beszúrási helyére!

*szeizmológia, transzverzális hullám, földköpeny,  
Gutenberg-Wiechert felület, planetezimálok, litoszféra,  
planetáris akkréció, Mohorovičić felület, nebula, asztenoszféra*

24. A csillagközi gázfelhők nagy része stabil, nem alakulnak csillagokká, csak abban az esetben, ha valamilyen külső hatás éri őket:
25. A planetezimálok összeütközése és összeforrása révén jöttek létre a bolygók, majd ezek gravitációs hatásukkal "befogták" a kisebb meteoritokat:
26. A Naprendszerben előforduló, néhány száz kilométer átmérőjű rögök:
27. A később beérkező szekunder (S) hullámok transzverzális rezgések, azaz a kitérések iránya a terjedés irányára merőleges (nyíráshullámok). A folyadékok, melyek nyírófeszültséget felvenni nem tudnak, ezeket a hullámokat elnyelik:
28. A földrengéshullámok tulajdonságainak vizsgálatával foglalkozik:
29. A köpeny és a kéreg határfelülete, 4-60 km közötti mélységben húzódik:
30. Fizikai alapon elkülöníthető, 350-1000 km mélységhatárok között húzódó földöv, mely a hőmérsékletnövekedés miatt gyenge, lassú mozgásra képes, szilárd anyag:
31. A Föld fizikai alapon elkülöníthető, legkülső, 70-200 km vastagságú, rideg, szilárd kőzetekből álló öve:
32. A Gutenberg-Wiechert-felülettől a 30 km-es átlagmélységben lévő Mohorovičić-felületig terjed. Összetételében a vas- és magnéziumszilikátok

játszanak döntő szerepet. Átlagos sűrűsége  $4,5 \text{ g/cm}^3$ :

**33.** A mag és a köpeny határfelülete, 2900 km mélységben húzódik:

## BIBLIOGRÁFIA:

---

[i] <http://www.flickr.com>

[ii] <http://hirek.csillagaszat.hu>