

Teema 2. Maa kui planeet Päikesesüsteemis. Loengu materjalid.

Linnutee galaktika teke ja mõõtmed. Päikese asend galaktikas. Tingimused ja Päikese tulevik. Päikesesüsteemi planeedid ja asteroidid. Kosmiline tühjus. Päikesesüsteemi keemiline koostis ja vanus. Maa kliimaatilised vööndid ja aastaegade vaheldus. Sama teistel planeetidel. Maa ehitus: maakoor, vahevöö, välimine ja sisemine tuum. Maakoor. Litosfäär. Ookeaniline ja mandriline maakoor. Maakoore liikumised ja selle põhjused. Maa sisene soojus ja selle allikad. Geotermiline gradient. Geotermiline aste.

Maailmaruumi teke

Geoloogilises minevikus toimus suur plahvatus. Mis plahvatas? Aine, mille maht oli palju väiksem ja mille tihedus oli kolossaalne ning mille temperatuur oli miljardeid kraade. Seal ei olnud aatomeid ega toimunud meile teada olevad füüsikaseadused. Väga tugevasti kokkusurutud materjal hakkas Suurest plahvatuses alates laienema hirmsa kiirusega ning teeb seda siiani, kuigi on möödunud juba 15-20 miljardit aastat. Laienemine tõi kaasa temperatuuri languse, alguses tekkisid aatomite tuumad, seejärel aatomid ise. Sadade miljonite aastate järel tekkisid kogu aeg laienevast ülikuumade gaaside pilvest tähed ja nende kogumikud – **galaktikad**.

Kogu taevast hõlmab **Linnutee**, meie galaktika jälg universumis. Raske on täpselt öelda, kui palju on selles tähti, kuid on arvestatud, et nende arv on igatahes suurem, kui 100 miljardit. Ja Linnutee on ainult üks galaktikatest. Nähtavate galaktikate arv on aga 10 miljardit. Meie Päikesesüsteem asub küllaltki kaugel keskusest, umbes 2/3 raadiuse kaugusel. Galaktikad kujutavad endast ääretuid kettaid maailmaruumis, mis sageli on spiraalitaolise siseehitusega. Raske on ette kujutada meie kohta Universumis, mis tekkis 15-20 miljardit aastat tagasi Suure plahvatuses tagajärjel. Sadade miljonite aastate möödumisel hakkasid vesiniku ja heeliumi segust moodustuma miljardid galaktikad. Üks neist on Linnutee galaktika, kus asub Päikesesüsteem. See galaktika on "ainult" 100 tuhat valgusaastat läbimõõdus. **Valgusaasta** on kaugus, mille läbib valguskiir aasta jooksul kiirusega 300 000 km sekundis.

Umbes 5 miljardit aastat tagasi toimus üliuue tähe plahvatus. Selle kiirgusenergia ületas uue tähe kiirguse tuhandeid kordi. Võimas löögilaine hakkas kokku suruma tähtedevahelist ainet, seni kui sellest ei moodustunud juba tihedam gaasi- ja tolmutpilv. Tänu gravitatsioonijõududele see pilv tihenes ühe rohkem. Mõnekümne miljoni aasta pärast tõusis selle pilve keskuses temperatuur 10-12 miljoni kraadini Celsiuse järgi. Siis algasid termotuuma reaktsioonid ja süttis Päike, kõige tavalisem täht Linnutee galaktikas. Aga Päike tähendab meie jaoks elu. Maa saab oma ristlõikes Päikeselt 4×10^{26} J /sekundis. Astronoomid arvavad, et tuumakütust jätkub Päikesel veel umbes 5 miljardiks aastaks, nii et pole põhjust muretsemiseks. Kui vesiniku varud hakkavad lõppema, siis heeliumist Päikese tuum surutakse kokku ja välimised vööd laienevad. Päike muutub alguses punaseks gigandiks ja seejärel valgeks kääbuseks. Punase gigandi temperatuur langeb ja täht saab punase värvi, kuni vesinik lõplikult ära ei põle. Kui jääb järele ainult tuum, süttib heelium, ta põleb väga kõrgel temperatuuril, kuid valgustab nõrgalt. Kuid meil pole vaja sellest mõeldagi, mis kõik juhtub järgmise 5 miljardi aasta jooksul.

Tuleme tagasi meie **planeet Maa** juurde. Kui üliuue tähe plahvatus tõi kaasa Päikese moodustumise, siis tekkisid Päikese ümber ka tihenened aine rõngad, millest sadade miljonite aastate jooksul tekkisid veelgi enam tihenened osad, tulevaste planeetide tuumad. Kuid juba 4,5-4,6 (teiste andmete järgi 4,430+/-0,020) miljardit aastat tagasi oli Maa kui planeet juba olemas. Arvatakse, et tal olid juba siis sellised mõõtmed ja kuju.

Maa on üks üheksast Päikesesüsteemi planeetidest, mille läbimõõt on 40 astronoomilist ühikut. Astronoomiline ühik on kaugust Päikesest Maani, s.t. 150 miljonit km. Kõik Päikesesüsteemi planeedid jagunevad kahte rühma, **sisemisse (Merkuur, Veenus, Maa ja Marss)** ja välimisse (**Jupiter, Saturn, Uraan, Neptuun ja Pluuto**). Marsi ja Jupiteri vahel on asteroidide vöö, kust pärinevad praktiliselt kõik meteoriidid. Arvatakse, et see vöö on kümnenda planeedi tükid, mis on hävinud kosmilise tragöödia käigus. Asteroidid on nurgelised ebakorrapärase kujuga

taevakehad, mille mõõtmed ületavad sadu km: Tserera – 767 km, Pallaad – 483 km, Vesta – 385 km. Arvatakse, et nende koguarv võib ületada 150 tuhandet. Mõnikord nad lähenevad Maale, kui nende orbiidid ristuvad. Näiteks 1993.a. asteroid Ikarus möödus Maast ohtlikus kauguses.

Päikesesüsteemi mõned andmed.

Päike – Päikesesüsteemi keskus, 30 tuhat valgusaastat galaktika keskusest. Liigub kiirusega 250 km/sek ümber galaktika keskmiku. Ühe ringi teeb 250 miljoni aastaga. Päikese materjal on plasma. Keerleb ümber oma telje orbiidil erineva kiirusega, keskmiselt üks täisring 25,38 päevaga.

Koosis: 70 % vesinikku ja 30 % heeliumi. Diameeter – 1 392 000 km, 109 korda rohkem kui Maal. Maht – $1,412 \times 10^{27} \text{ m}^3$, mis on 1 300 000 korda rohkem kui Maal. Mass – $1,983 \times 10^{30} \text{ kg}$, mis on 330 000 rohkem Maa massist. Keskmise tihedus – $1,41 \text{ g/cm}^3$, ehk peaaegu poolteist korda rohkem kui vee tihedus. Vanus – ligilähedalt 5 miljardit aastat. Temperatuur pinnal – 6000° K , keskmis – $13\,000\,000^\circ \text{ K}$. Null Kelvini järgi on $-273,15^\circ \text{ C}$.

Planeedid:

Merkuur

Keskmine kaugus Päikesest – 57,9 milj. km (maksimaalne kaugus 220 milj. km). Teeb tiiru ümber Päikese 0,241 aastaga. Diameeter ekvaatoril – 4920 km. Maht võrreldes Maaga – 0,055, mass – 0,053. Kaaslasi ei ole. Temperatuur Päikesepoolsel pinnal $+430^\circ \text{ C}$, varjuküljel -170° C .

Veenus

Kaugus Päikesest – 108,2 milj. km (40 – 259 milj. km). Tiir ümber Päikese 0,62 aastaga. Diameeter – 12 100 km, maht 0,91 Maa mahust, mass – 0,815 Maa massist. Kaaslasi ei ole. Temperatuur pinnal $+480^\circ \text{ C}$. Täisring ümber oma telje – 243 ööpäevaga.

Maa

Kaugus Päikesest – 149,6 milj. km (maks. 152 000 000 – min. 147 000 000 milj. km). Diameeter – 12 756 km. Kokkusurutus poolustelt – $1/296$. Kaaslasi üks – Kuu. Temperatuur pinnal $+15^\circ \text{ C}$. Raadius ekvaatoril – 6 378 km, poolustel – 6 357 km. Maht – $1\,083 \times 10^{12} \text{ km}^3$, mass – $5,978 \times 10^{24} \text{ kg}$. Tihedus – $5,518 \text{ g/cm}^3$. Pindala – $510\,083\,000 \text{ km}^2$, mered ja ookeanid – $361\,455\,000 \text{ km}^2$ (70,92 %), maismaa – $148\,648\,000 \text{ km}^2$. Vanus – 4430 +/- 20 miljonit aastat. Keerulise kujuga kerataoline keha – geoid, keskmine kõrgus maismaal merepinnast 790 m. Ookeani keskmine sügavus on 3 930 m. Tiirleb ümber Päikese kiirusega 29,8 km/sek, teeb ühe tiiru 365 päeva 5 tunni 48 minuti ja 46 sekundiga. Tänu Maa telje kaldenurgale (23°) toimub aastaegade vaheldumine põhja- ja lõunapoolkeral. Oma telje ümber teeb Maa täistiiru 23 tunni 56 minuti 4,09 sekundi jooksul. See kutsub esile päeva ja öö vaheldumise.

Marss

Kaugus Päikesest – 227,9 milj. km (57 – 390 milj. km). Tiir ümber Päikese 1,88 aastaga. Diameeter ekvaatoril – 6800 km. Maht 0,150, mass – 0,107 Maa massist. Kokkusurutus poolustelt – $1/192$. Kaks kaaslast – Foobos ja Deimos. Pöörleb kiiresti ümber oma telje ja ta telg on kaldu nagu Maalgi, seepärast on jälgitavad aastaegade vaheldumine. Marsil on gigantne vulkaan Olympus Mons kõrgusega kuni 26 +/- 3 km ja diameetriga 500-600 km ning lõhed, sügavusega kuni 10 km. Selliseid Maal ei ole. Marsil ja Merkuuril on ka nõrk magnetväli, mida tõenäoliselt ei ole Veenusel. Marsi pinna keskm. temperatuur on -50° C .

Jupiter

Kaugus Päikesest – 778,3 milj. km (590 – 960 milj. km). Teeb tiiru ümber Päikese 11,86 aastaga. Ekvaatori diameeter – 142 700 km. Maht – 1 317,0 Maa mahust, mass – 318,0 Maa massist. Kokkusurutus poolustelt $1/16$. Kaaslasi – 16. Temperatuur pilvede pealispinnal -130° C . Teeb täisringi oma telje ümber 9,9 tunniga.

Saturn

Kaugus Päikesest – 1 428 miljonit km (1 200 – 1 650 milj. km). Teeb tiiru ümber Päikese 29,46 aastaga. Ekvaatori diameeter – 120 800. Maht – 762 Maa mahust, 95,22 – Maa massist. Kokkusurutus poolustelt – $1/10$. Kaaslaste arv – 17. Ühel neist, Mimsel on leitud kraater sügavusega 9 km. Temperatuur pilvede pealispinnal -180° C .

Uraan

Kaugus Päikesest – 2 872 miljonit km (2 585 – 3 150 milj. km). Tiiru ümber Päikese teeb 84,01 aastaga. Ekvaatori diameeter – 52 900 km. Maht – 50 Maa mahust, mass – 14,55 Maa massist. Kokkusurutus poolustel – 1/40. Kaaslaste arv – 5. Temperatuur pilvede pealispinnal -215° C.

Neptuun

Kaugus Päikesest – 4 498 miljonit km (4 300 – 4 680 milj. km). Teeb tiiru ümber Päikese 164,79 aastaga. Diameeter ekvaatoril – 49 200 km. Maht – 42 Maa mahust, mass – 17,23 Maa massist. Kokkusurutus poolustelt 1/50. Kaaslaste arv – 2. Temperatuur pilvede pinnal -200° C.

Pluuto

Keskmine kaugus Päikesest – 5 910 miljonit km (2 275 – 7 550 milj. km). Teeb tiiru ümber Päikese 247,7 aastaga. Diameeter ekvaatoril – 3 000 km. Maht – 1,3 Maa mahust, mass – 0,003 Maa massist. 1 kaaslane. Temperatuur -230° C.

Maa ainus kaaslane Kuu

Keskmine kaugus Maast – 384 400 km (maks. 406 700 km, min. 364 000 km). Pöörlemiskiirus – 3 680 km/h. Diameeter 3476 km (0,27 Maa diameetrist). Vanus – 4430+/-20 miljonit aastat. Kuul ei ole vett ja atmosfääri, temperatuur pinnal kõigub +130° C ja -185° C vahel valgustatud ja valgustamata küljel. Kuu on pööratud Maa poole kogu aeg ühe küljega, ta teeb tiiru ümber oma telje ühe ringi jooksul ümber Maa. Tagakülge pildistati esmakordselt 1959.a. kosmilise aparaadiga –Luna-3. Esimeste inimestena olid Kuul N. Armstrong ja E. Aldrin 20.juulil 1969.a. Kuult on toodud ekspeditsioonide ja automaatjaamadega umbes 5 tonni materjali uuringuteks. Kuu aktiivne uurimine on pärast 1976.a. ajutiselt seiskunud.

Kosmiline tühjus

Kõigi nende tiirlevate taevakehade vahel on kosmiline tühjus, kus siiski leidub üks vesiniku aatom 1 cm³ temperatuuril -170° C. Gaasipilvedes on tihedus palju suurem, aatomite arv seal ulatub mõnekümne tuhandeni. Temperatuur pilvedes tõuseb kuni 10 000° C lähedalasuvate tähtede kiirguse arvel. Sellisest gaasipilvest moodustus ka Päikesesüsteem. 98,7 % massist koondus selle keskmikku, planeetidele jäi ainult 1,3 %, millest Jupiteris on üle 99 %.

Päikesesüsteemi keemiline koostis ja vanus

Kogu Päikesesüsteem koosneb 83 keemiliselt elemendist, millest vesinik ja heelium moodustavad 99,9 %. Neist on moodustunud kosmiline ruum ja Päike. Kuid planeetidel on palju teisi elemente. Arvatakse, et nad on tekkinud tuumareaktsioonide tagajärjel.

Maa keemiline koostis

Arvestused näitavad, et Maa koosneb järgmistest elementidest: hapnik – 49,13 %, räni – 26,00 %, alumiinium – 7,45 %, raud – 4,20 %, kaltsium – 3,25 %, naatrium – 2,40 %, kaalium – 2,35 %, vesinik – 1,00 %, titaan – 0,61 %, süsinik – 0,35 %, kloor – 0,20 %, fosfor – 0,12 %, mangaan – 0,10 %, väävel – 0,10 %, fluor – 0,08 %, baarium – 0,05 %, lämmastik – 0,04 %. Kõik teised veelgi vähem. Maa sisemuses on esikohal raud – peaaegu 35 %, seejärel hapnik – umbes 30 %, räni on umbes 15 %, magneesiumi – 12 %. Muidugi keskmiselt. Ookeanide merevesi sisaldab järgmisi komponente: hapnik – 85,820 %, vesinik – 10,720 %, kloor – 1,890 %, naatrium – 1,056 %, magneesium – 0,140 %, väävel – 0,088 %, kaltsium – 0,041 %, kaalium – 0,038 %, broom – 0,006 %, süsinik – 0,002 %.

Maa kliimaatilised vööndid ja aastaegade vaheldus

Maa kui planeedi geoloogilisele tegevusele avaldavad suurt mõju kliimavööndid. Antarktikas ja Arktikas saared on kaetud igijää ja lumega, siin peaaegu ei toimugi murenemisprotsesse, mis on tavalised parasvöötmetes ja eriti intensiivsed troopikas. Selline kliimaatiline vöölisus on olnud tõenäoliselt ka kogu geoloogilise ajaloo vältel, kuigi on olnud üldise soojenemise ja jahenemise perioode. Selle põhjuseks on Maa pöörlemine oma kaldtelje ümber täisringiga ööpäeva jooksul ja ümber Päikese aasta jooksul. Aastaegade vaheldust on täheldatud ka Marsil, kuigi arvatakse, et suur osa valgeid polaarmütse talvel koosnevad tahkunud süsihappest.

Maa ehitus

Maa koosneb koorest, vahevööst ja tuumast. Maakoore on kõige pealne kiht, millega me vahetult kokku puutume igapäevases elus. Maakoore paksus ei ole ühesugune. Eriti tugevasti

erinevad paksuse poolest maakoore mandrilised ja ookeanilised osad. Mandritel on maakoore keskmiseks paksuseks 35-40 km, aga mägede all veelgi rohkem, näiteks Alpide all – 70 km, Himaalaja all isegi 90 km. Ookeanide maakoore on päris õhuke, keskmiselt 7-10 km, mõnel pool, näiteks Havai saared, ainult 5 km.

Maakoore kohta on saadud vahetult materjali puuraukudest, mis on puuritud ookeanilisse maakoore kuni 2 km sügavusele, mandrilisse Koola poolsaarel kuni 12 166 m sügavusele, kuid see on ainult 0,2 % Maa raadiusest. Kust siis pärinevad andmed sügavamate kihtide kohta?

Maavärinad kanduvad seismiliste risti- ja pikilainete kaudu väga suurtele kaugustele, tugevate maavärinate korral peegelduvad mitmeid kordi tagasi ja läbivad kõik Maa sfäärid. Maakoore paksus tehti ka kindlaks seismiliste meetoditega. 1909.a. toimus Balkaani poolsaarel tugev maavärin. Siis horvaatia geofüüsik Andria Mohorovichich uurides seismogrammi pani tähele, et umbes 30 km sügavusel lainete liikumiskiirus tunduvalt suureneb. Ka teised seismoloogid tõenda-sid, et igal pool toimub peaaegu sama. See tähendab, et on mingisugune piir, mis eraldab maakoort alumisest kihist. Seda piiri hakati nimetama Mohorovichichi piiriks või lihtsalt pinnaks Moho või M.

Seismogrammide näitasid ka, et maakoore on kõige paksem mägede all. Mägedel on juured, mis on seda sügavamad, mida kõrgemad on mäed. Sellel on mingisugune sarnasus veealuste jäämägedega. Kergematest kivimitest koosnevad mäed nagu ujusid tihedamas ja raskemas materjalis.

Mandriline maakoore erineb ookeanilisest mitte ainult paksuse, vaid ka koostise ja vanuse poolest. Ookeanide vanus ei ületa 150-170 miljonit aastat, mandrilise maakoore vanus ületab 3 miljardit aastat sageli.

Ookeaniline maakoore koosneb basaldist, raua- ja magneesiumirikastest magmakivimitest, mille peal on ainult õhukene setete kiht, kuni 1 km. Mandriline maakoore koosneb mitmest kihist, kõige pealmine koosneb liivakividest, savidest, lubjakividest ja teistest settekivimitest. Selle all on küllaltki paks kiht, mis koosneb moondekivimitest ja graniitidest peamiselt, seda nimetataksegi graniitseks vööndiks. Nende all on tavaliselt veel basaltide vööndid.

Maakoore all asub **vahevöö**, mis jätkub kuni 2900 km sügavuseni. Vahevöös on 82% kogu Maa mahust. Vahevöö koosneb ka ülemisest ja alumisest osast. Meile on praegu tähtsam teada, et vahevöös on veel vöönd, mis alumiste ja ülemiste kihtide suhtes on 100-1000 korda plastilisem. Ka seismiliste lainete kiirus väheneb tunduvalt. Osaliselt on materjal siin sulanud olekus, seepärast seda vööndit hakati nimetama **astenosfääriks**, mis tähendab “nõrka kihti”. Tema ülemine piir on 50-60 km sügavusel ookeanide all ja 100-120 km sügavusel mandrite all. Alumine astenosfääri piir asetseb vastavalt 400 km sügavusel ookeanide all ja 250 km sügavusel mandrite all. Seega astenosfäär on ookeanide all tunduvalt paksem. Geoloogidele on tähtis veel, et astenosfäärist ülevalpool asuvat tahket osa nimetatakse litosfääriks. Ja just litosfääri plaadid või laamad on need, mis määravad ära maakoore ehituse.

Vahevöös toimuvad masside aeglased liikumised, kuumenenud materjal tõuseb üles, jahtunud vajub tagasi vahevöösse. Vahevöö massid tõmbavad sellesse igavesse liikumisse kaasa litosfääri laamad, mis nagu jäätükid liiguvad astenosfääri pealispinnal, aga maapinnal kas lähevad lahku üksteisest, siis tekkivad ookeanid, või põrkuvad üksteisega, siis tekkivad mäeahelikud. Geoloogilise aja jooksul on olnud mitmed mägede moodustumise protsessid: 2,7 miljardit aastat tagasi, 1,9 miljardit aastat tagasi jne. kuni kaasajani välja. Ja need protsessid jätkuvad ka tulevikus. Maakoore laamade liikumist saadavad maavärinad, mis on eriti tugevad laamade kokku põrkumise korral, mille näiteks on Himaalaja mägede teke.

Vahevööst allapoole jääb Maa tuum. Tuum koosneb kahest osast, välimisest ja sisemisest. Kõik andmed näitavad, et sisemine tuum on tahke, alates 5100 km sügavusest. Ülemine tuum on vedelas olekus. Sisemine tuum koosneb suure osas rauast, arvatakse et raudmeteoriidid on sellise tuuma analoogideks. Sisemine tahke tuum pöörleb kiiremini, kui ülemine ja genereerib Maa magnetvälja, mis on üheks kaitsevööndiks elule. Geoloogilises ajaloos on sageli toimunud mag-netvälja pooluste orientatsiooni muutumist. Arvutitel koostatud mudelid näitasid selle võimalust.

Maa sisene soojus

Maa sisemuses tõuseb temperatuur 5000-6000° C. Selle põhjuseks on elementide radioaktiivne lagunemine, mille juures eraldub soojust. Seda soojust kasutatakse isegi praktilises elus. Mitmel pool on ehitatud elektrijaamu, mis töötavad Maa soojusel. Eestis on viimasel ajal hakatud Maa soojust kasutama individuaalelamute kütmiseks. Maa sisemine soojus on kõigi tektooniliste protsesside allikaks. Maakoore ehitus ja selle temperatuur ei ole igal pool ühesugune. Aladel, kus tegutsevad vulkaanid, on maakoore temperatuur kõrgem, vanadel mandritel – tunduvalt madalam. Temperatuuri tõusu hindamiseks kasutatakse termineid geotermiline gradient ja geotermiline aste.

Geotermiline gradient on suurus, mille võrra temperatuur tõuseb sügavuse suurenemisel 100 m võrra. Keskmiselt on see 3 kraadi.

Geotermiline aste on sügavus meetrites, mille juures toimub temperatuuri tõus 1° C võrra. Keskmiselt on see 30-40 m, kuid kristalsetes kivimites võib olla ka tunduvalt suurem, kuni 120-200 m.

Kordusküsimused teemale 1:

1. Millal ja kuidas moodustus Linnutee galaktika?
2. Kui suur on Linnutee galaktika läbimõõt valgusaastates?
3. Kuidas arvatakse, et tekkis Päike ja Päikesesüsteemi planeedid?
4. Kui vanaks loetakse Planeeti Maa?
5. Milline on temperatuur Päikese pinnal ja sisemuses?
6. Milline on Maa keskmine temperatuur?
7. Millised tingimused on teistel planeetidel?
8. Kas teistel planeetidel ja nende satelliitidel on teada vulkaanilist tegevust?
9. Mitu korda on Päike Maast suurem?
10. Milline on Päikesesüsteemi suurim planeet?
11. Kui palju satelliite võib olla ühel planeedil?
12. Mis on asteroidid?
13. Milline on kosmilise tühjuse tihedus ja temperatuur?
14. Milline on mandrilise ja ookeanilise maakoore ehitus?
15. Mida nimetatakse litosfääriks?
16. Mis on litosfääri laam?
17. Mis toimub laamade kokkupõrkel?
18. Milline on vahevöö ehitus?
19. Millest koosneb Maa tuum?
20. Mis on geotermiline gradient?
21. Mis on geotermiline aste?