

Päikese kauguse mõõtmise ajalugu: algus ja väljakutsed

Varasemates videotest oleme juba rääkinud sellest, kuidas vanakreeka astronoomid mõõtsid Maa läbimõõdu ja Maa ning Kuu vahelise kauguse. On arusaadav, et järgmine samm pidi olema katse mõõta Maa ja Päikese vahelist kaugust – ning nad astusid selle sammu. Paraku osutusid saadud tulemused pigem ebarahuldavateks, ja praegu räägimegi sellest, miks nii juhtus.

Samose Aristarchose katse ja selle piirangud

Meile juba tuttav Samose Aristarchos püüdis seda kaugust mõõta järgmiselt: "Vaatame Kuud, kui see on täpselt veerandis, nii et Maalt näeme valgustatud täpselt poolt selle kettast. Kus on sel ajal Päike? On selge, et see valgustab Kuud küljelt ja selle keskpunkt asub kuskil sellel joonel. Seega on nurk Kuu ja Päikese keskpunktide suundade vahel veidi alla 90 kraadi. Mõõdame selle nurga, leiame selle ja 90 kraadi nurga vahe ning avaldame Päikese kauguse Kuu kauguse kaudu."

Aristarchos proovis seda nurkade vahet mõõta ja tal õnnestus saada tulemus, et Päike on meist 20 korda kaugemal kui Kuu ja 20 korda suurem kui Kuu. Tegelikult teame me tänapäeval, et nende kauguste erinevus ei ole 20, vaid 400 korda, ja nurk, mida Aristarchos proovis mõõta, on 90 kraadist väiksem vaid ühe kuuendiku kraadi võrra. Tema meetoditega oli see kõik täiesti mõõtmatu.

Päikese läbimõõdu roll ja Veenuse üleminek

Lisaks, kui me teaksime Päikese läbimõõtu, teaksime kohe ka kaugust selleni, sest Päike on Maalt näha umbes poole kraadi nurga all. Seetõttu on Maa ja Päikese vaheline kaugus ligikaudu 110 korda suurem kui Päikese läbimõõt. See läbimõõt mõõdeti esimest korda 1761. aastal ja selle mõõtmise aluseks olid astronoomilised vaatlused üsna haruldase loodusnähtuse – planeedi Veenuse ülemineku – ajal Päikese kettalt. Sellise mõõtmise teostamiseks on vaja plaani, ja selle plaani me nüüd koos koostame.

Veenuse orbiit ja selle eripärad

Kõik te olete näinud Veenust õhtusel või hommikul taevast. Õhtul loojub ta silmapiiri taha Päikese järel ja hommikul tõuseb enne Päikest. Nii on see, sest Veenuse orbiit on Maa orbiidist väiksem. Veenus on, nagu astronoomid ütlevad, sisemine planeet. Selgub, et maksimaalne nurk, mille võrra Veenus Päikesest eemaldub, on 46 kraadi.

Sellest järeldub kohe, et kui Maa orbiidi raadius võtta mõõtühikuks (astronoomid nimetavad seda kaugust astronoomiliseks ühikuks), siis Veenuse orbiidi raadius võrdub siinusega 46 kraadi, mis on umbes 0,72 astronoomilist ühikut. Ja kui Veenus möödub Maa ja Päikese vahelt, on Maa ja Veenuse vaheline kaugus 0,28 astronoomilist ühikut.

Parallaksi printsiip: astronoomilise ühiku mõõtmise võti

See kõik on muidugi hea, aga kuidas me teada saame, millega võrdub astronoomiline ühik, kui me tahaksime seda näiteks kilomeetrites väljendada? Siin tuleb meile appi nähtus nimega parallaks. Et sellest aru saada, võtke kätte pliiats, sulgege vasak silm ja joondage pliiats mõne kauge esemega. Nüüd vahetage silmi – sulgege parem ja avage vasak. Näete, et pliiats on eseme suhtes liikunud. Vahetame uuesti silmi ja esemed ning pliiats joondusid uuesti. See juhtub seetõttu, et meie silmadest läbi pliiatsi otsa minevad nägemiskiired moodustavad omavahel teatud nurga, ja parema silma nägemiskiir läheb läbi pliiatsi otsa ühe eseme juurde, vasaku silma oma aga teise juurde.

Veenuse ülemineku ja parallaksi mõõtmisplaani

Nüüd oleme valmis koostama plaani Maa ja Päikese vahelise kauguse mõõtmiseks Veenuse ülemineku ajal Päikese kettalt parallaksinurga suuruse järgi. Plaan on järgmine:

Maakerale valitakse kaks punkti, mis on põhja-lõuna suunas laiuskraadi järgi võimalikult kaugemale paigutatud. Määratakse nende punktide vaheline vertikaalne kaugus (väike d). Nendest kahest punktist vaadeldakse Veenuse üleminekut Päikese kettalt, jälgides Veenuse keskpunkti asendit Päikese ketta serva suhtes. Lihtsustatult joonistades saame kaks märget – A ja B. Kolmnurkade proportsioonidest teame, et suure D -tähega tähistatud lõigu pikkus on 2,6 korda suurem kui väikese d -tähega tähistatud lõik. Kui

oleme kindlaks teinud, millise osa suure D-tähega lõik moodustas Päikese näivast läbimõõdust, saame teada Päikese läbimõõdu kilomeetrites. Ja teades seda läbimõõtu, leiame Maa ja Päikese vahelise kauguse.

Esimene rahvusvaheline teadusprojekt: Veenuse üleminek 1761 ja 1769

Just selliste mõõtmiste läbiviimine sai esimese suure rahvusvahelise teadusprojekti sisuks ajaloos. Vaatluspunktid tuli paigutada üle kogu Maa, ja seda suure varuga. Purjetamine näiteks Vaikse ookeani saartele võtab mitu kuud, ja kui kohale jõuad, võib sel päeval olla pilves. On arusaadav, et kalli ekspeditsiooni korraldamine vaid ühe astronoomilise vaatluse pärast oleks täiesti mõttetu.

Seepärast korraldati Veenuse ülemineku aastatel 1761 ja 1769 – esimesel korral 40 ja teisel korral 150 vaatlust. Märkimisväärne osa neist vaatlustest viidi läbi komplekssete ekspeditsioonidega, mis külastasid Maa kõige kaugemaid nurki. Mõnest neist ekspeditsioonist ja vaatlusest olete te tõenäoliselt isegi kuulnud. Näiteks kapten James Cook viis oma esimese ümbermaailmareisi ajal vaatlusi läbi Tahiti saarel. Mihhail Lomonossov, kes vaatlus Veenuse üleminekut oma kodus Peterburis, avastas, et seda planeeti ümbritseb atmosfäär. Selline nägi välja tüüpiline teleskoop, mille abil Veenuse asendit Päikese kettal vaadeldi – seda sai märkida otse ekraanile.

Tulemused ja Veenuse ülemineku haruldus

Kõigi nende vaatluste tulemusena tuvastati, et Päike on Maast 109 korda suurem ja kaugus Päikeseni, kui seda mõõta tänapäevastes ühikutes, on 150 miljonit kilomeetrit.

Siinkohal meie lugu lõpeb. Tahan veel kord meenutada, et Veenuse ülemineku nähtus Päikese kettalt on üsna haruldane. Kaks üleminekut on lahutatud 8-aastase perioodiga, kuid seejärel tuleb järgmiste üleminekute paari oodata üle saja aasta. Muide, viimane selline üleminekute paar vaadeldi üsna hiljuti – aastatel 2004 ja 2012. Kuidas aga tekib selline veider perioodilisus? Kirjutage oma mõtted selle kohta selle video kommentaaridesse YouTube'is.

Konspekt

- **Varasemad mõõtmised:** Vana-Kreeka astronoomid mõõtsid Maa läbimõõdu ja Maa-Kuu kauguse, kuid Maa-Päikese kauguse mõõtmised Aristarchose meetodil (Kuu veerandi järgi) olid ebatäpsed (Päike tegelikult 400x, mitte 20x kaugemal).
- **Päikese läbimõõt ja kaugus:** Päike on Maalt näha poole kraadi nurga all, mistõttu Maa-Päikese kaugus on umbes 110x Päikese läbimõõdust suurem. Päikese läbimõõd mõõdeti esimest korda 1761. aastal.
- **Veenuse üleminek:** Põhines planeedi Veenuse üleminekul Päikese kettalt, mis on haruldane nähtus.
- **Veenuse orbiit:** Veenus on sisemine planeet, mille orbiit on Maast väiksem. Maksimaalne eemaldumine Päikesest on 46 kraadi.
 - Maa orbiidi raadius = 1 astronoomiline ühik (AU).
 - Veenuse orbiidi raadius = $\sin(46^\circ) \approx 0,72$ AU.
 - Maa ja Veenuse vaheline kaugus ülemineku ajal = 0,28 AU.
- **Parallaksi printsiip:** Kauguste täpseks mõõtmiseks kasutati parallaksi – objekti näiva asendi muutumine vaatluspunkti muutudes (demonstreeritud pliiatsinäitega).
- **Mõõtmisplaani Veenuse ülemineku abil:**
 1. Valitakse kaks teineteisest geograafiliselt kaugemale (põhja-lõuna suunas) jäävat vaatluspunkti Maal.
 2. Mõõdetakse nende punktide vaheline vertikaalne kaugus (väike d).
 3. Vaadeldakse Veenuse üleminekut Päikese kettalt mõlemast punktist, jälgides Veenuse asendit Päikese suhtes.
 4. Kolmnurkade proportsioonide abil (suur $D = 2,6 \times$ väike d) määratakse Päikese läbimõõt kilomeetrites.
 5. Päikese läbimõõdu põhjal arvutatakse Maa-Päikese kaugus.
- **Rahvusvaheline teadusprojekt (1761 ja 1769):** Esimene suur rahvusvaheline teadusprojekt, mis hõlmas 40 (1761) ja 150 (1769) vaatlust üle maailma, sh James Cook Tahiti saarel ja Mihhail Lomonossov Peterburis (avastas Veenuse atmosfääri).

- **Tulemused:** Vaatluste tulemusena leiti, et Päike on Maast 109 korda suurem ja Maa-Päikese kaugus on umbes 150 miljonit kilomeetrit.
- **Veenuse ülemineku haruldus:** Nähtus on haruldane – kaks üleminekut on 8-aastase vahega, seejärel on üle saja aasta pausi. Viimased üleminekud olid 2004 ja 2012.