



H.TOOMING

PÄIKESE-  
KIIRGUS  
MAAPINNAL

A

N 59316

A-17346

EESTI NSV POLIITILISTE JA TEADUSALASTE  
TEADMISTE LEVITAMISE ÜHING

---

---

H. TOOMING

PÄIKESEKIIRGUS  
MAAPINNAL

Nr. 290

---

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS TALLINN 1960



## 1. AKTINOMEETRIA — TEADUS PÄIKESE KIIRGUSENERGIAST

Me rõõmustume, kui pärast kestvat vihmasedu pilverünka varjust ilmub nähtavale hele päikeseketas või kui ta pärast talvepakast üha kõrgemalt käies kuulutab peatselt algavat kevadet. Kuid harva mõtleme sellele, et Päike on kogu selle energia allikaks, mida me Maal kasutame. Esimesel silmapilgul ei ole Päikese tähtsus igakord nii hõlpsasti läbinähtav. Näib nagu ei oleks Päikesel talvel Maa elus suurt kaasa rääkida. Talvel kulgeb Päikese tee taevavõlvil madalalt ja soojusehulk, mida ta meile saadab, on üpris väike. Seetõttu peab Maa põhjarajoonides talvel paratamatult ruume kütma. Kuid kütmiseks kasutame me ikkagi Päikese energiat, mis on salvestunud kasvuprotsessi vältel puudesse. Ilma kütteaineteta ei töötaks elektrimasinad ega transpordivahendid. Kütused, nagu põlevkivi, kivisüsi, nafta ja turvas, on geoloogiliste protsesside vahendusel tekkinud taimsetest ja loomsetest organismidest. Kuid ka need kauges minevikus eksisteerinud elusorganismid arenesid ja kasvasid tänu Päikesele.

Taimede poolt kogutud päikeseenergia arvel toituvad inimesed. Ka tuul, vooluveed ja rändavad pilved on oma energia saanud päikesekiirgusest. Veidi järele mõeldes leiame, et Päike mõjustab kõiki Maal toimuvaid loodusnähtusi, muud energiaallikad on võrdlemisi tühise tähtsusega. Täiskuu poolt Maale antud energia moodustab ainult ühe sajatuhandiku osa Maale langevast päikeseenergiast. Tähistäeva valgusenergia on sellest veelgi tuhat korda väiksem. Veidi rohkem, ühe kahetuhandiku osa Päikese kiirguseenergiast, moodustab soojushulk, mida maapind saab Maa sisemuses olevate radioaktiiv-

sete ainete lagunemisel tekkinud maakera sisemisest soojusest.

Käesolevas brošüüris ei puudutata Päikese mõodete ja ehitusega seotud küsimusi, milledega lugeja võib tutvuda astronoomiaalase populaarteadusliku kirjanduse või õpikute kaudu. Me seame oma eesmärgiks vaadelda mõningaid probleeme, milledega tegeleb aktinomeetria<sup>1</sup> — atmosfäärifüüsika haru, mis uurib Päikese kiirgusenergia muundumist Maa atmosfääris, maapinnal ja veekogudes.

Kõik teadusharud alustavad oma arengut faktilise materjali kogumisega. Kui on salvestatud piisavalt andmeid, osutub võimalikuks teha üldistusi, leida seoseid ja seaduspärasusi faktilise materjali rägastikus. Aktinomeetria ei ole lõplikult väljunud esimesest, vaatlusmaterjali kogumise faasist, kuigi mõningaid nähtusi seletab ta juba ammendavalt. Seepärast peab lugeja arvestama, et edaspidises esituses peame kohati paratamatult piirduma ainult faktilise materjali tutvustamisega.

Kas sellepärast on aktinomeetria mahajäänud teadusharu, et ta, piirdudes kõige üldisemate seoste kirjeldamisega, ei suuda veel kõiki nähtusi ammendavalt põhjendada? Sugugi mitte! Tuleb arvestada, et aktinomeetria on noor teadusharu, mis oma esimesi samme astus alles möödunud sajandi lõpul ja käesoleva sajandi algul. Ta sündis ajajärgul, mil füüsikalised teadused hakkasid tormiliselt arenema. Alles teiste füüsikaliste teaduste edusammudega tekkisid eeldused ka aktinomeetria arenemiseks. Nõuab ju atmosfäärifüüsika areng eelnevalt füüsikaliste teaduste kõrget taset üldse. Newtoni, Descartes'i Fresneli, Rayleigh' ja teiste teadlaste põhjanevate töödega optika vallast pandi teoreetiline alus atmosfääri optikaliste nähtuste kirjeldamisele. Termoelektrilise nähtuse ja fotoefekti avastamine lõi võimalused Päikese kiirguse mõõtmiseks. Tekkisid esimesed aktinomeetria-jaamad. Suured teened aktinomeetria-jaamade võrgu organiseerimisel on professor Kalitini, kelle juhtimisel alustas käesoleva sajandi algul toleaegse Peterburi lähedal Pavlovskis tööd esimene aktinomeetria-jaam maailmas. Kalitini, Savinovi, Mihhelsoni jt. vene õpetlaste poolt

---

<sup>1</sup> *Aktinos* — kiir (kreeka keeles).  
*Mètron* — mõõt (kreeka keeles).

rajatud aktinomeetria alussambaid on tugevdanud hiljem nõukogude teadlased Kondratjev, Šifrin, Jaroslavtsev, Janiševski jt.

Praegu hõlmab aktinomeetriaajaamade võrk peaaegu tervet maakera, kaasa arvatud Arktika ja Antarktis. Kogutud vaatlusandmed võimaldavad teha järeldusi Päikesese kiirgusenergia jaotuse kohta maakeral ning hinnata päikesekiirguse mõju Maal toimuvatele loodusnähtustele.

Hästi, me mõõdame küll päikesekiirgust paljudes maakohtades, pikaajaliste mõõtmisseeriatega abil saame teada, kui palju üks või teine paik saab keskmiselt mis tahes ajavahemikul soojusenergiat Päikeselt, kuid mis sugust praktilist kasu on aktinomeetristest mõõtmistest? Mis on aktinomeetriste mõõtmiste kaugemaks eesmärgiks? Igapäevastest kogemustest teame, et ilm mängib sageli vingerpussi isegi kutselisele ilmaennustajale — sünoptikule. Enamasti on niisugusel juhul kriitika ilmajaama aadressil viljatu. Harva on siin süüdlaseks sünoptik. Ilmaennustuse ebaõnnestumise põhjust tuleb otsida mujalt. Maailma teaduse varasalve ei ole kogunenud veel piisavalt teadmisi, et ette näha kõigi ilmastikuprotsesside edaspidist kulgemist. Aktinomeetria kaugemaks eesmärgiks ongi üksikasjaliselt tundma õppida päikesekiirguse mõju ilmastikunähtuste kujunemisele. Viimasel ajal arendatakse üha intensiivsemalt kahe või enama teadusharu piirimail olevaid probleeme. Põllumajanduslike kultuuride saagikuse tõstmiseks on vaja tundma õppida päikesekiirguse osatähtsust taimekasvule. Selles küsimuses on aktinomeetriaal koostöös bioloogia ja agronoomiaga suured rakenduslikud perspektiivid. Meditsiini ja aktinomeetria vaheline koostöö kulgeb peaasjalikult ultraviolettkiirguse doseerimise ja selle mõju uurimisel päikesevannide võtmisel.

Eesti NSV-s teostatakse süstemaatilisi aktinomeetriaal mõõtmisi alates 1950. aastast, millal Tartusse, Eesti NSV Teaduste Akadeemia Füüsika ja Astronoomia Instituudi juurde asutati aktinomeetriaajaam. Praegu on aktinomeetriaalne uurimistöö Eesti NSV-s kõigiti kaasaja teaduslik-tehnoloogilisel tasemel ning esialgselt aktinomeetriaajaamast Eesti NSV Teaduste Akadeemia juures on välja kujunenud Füüsika ja Astronoomia Instituudi atmosfääri-füüsika sektor, kus uuritakse Eesti NSV territooriumi kiir-

gusrežiimi. Aktinomeetrilisi mõõtmisi teostatakse ka Kuusiku, Triikoja ning Tooma meteoroloogiajaamas. Kuna aktinomeetria on noor teadusharu, siis on täiesti mõistetav, et seni ei ole Eestis ilmunud ühtki sellealast populaarteaduslikku väljaannet. Järgnevas püüame seda lünka mõnevõrra täita.

## 2. PÄIKESEKIIRGUSE SPEKTRAALNE KOOSTIS

Edaspidises käsitluses tuleb meil sageli kokku puutuda päikesekiirguse mitmesuguse toimega. Seepärast peame eelnevalt mõningal määral tutvuma päikesekiirguse spektraalse koostise küsimusega.

Juba 1666. aastal asetaski tuntud inglise teadlane Isaac Newton päikesekiirte teele klaasprisma ja lahutas valge valguse seitsmeks põhivärvuseks — spektriiks. See lihtne katse, mida igaüks võib korrata, näitab, et valge valgus ei ole liht-, vaid liitvalgus, kus põhivärvusteks on punane, oranž, kollane, roheline, helesinine, tumesinine ja violet. Valge päikesekiir koosneb kindlas vahekorras liitunud mitmevärviliste kiirte segust.

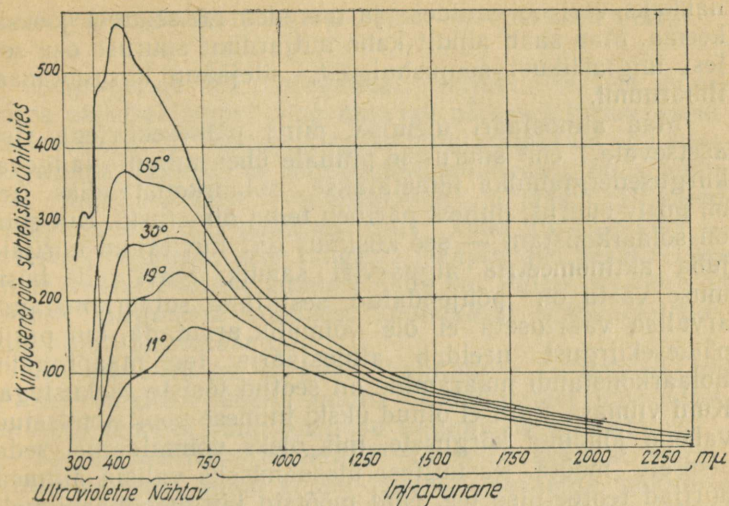
Valgus kujutab endast elektromagnetilist lainetust. Igale lainetusele on iseloomulik lainepikkus. Igapäevases elus mõistetakse päikesekiirguse all ainult valgust. Tegelikult aga nägemisaistingut inimese silmas tekitab ainult üks osa Päikese kogukiirgusest. Normaalse inimese silm reageerib kiirgusele, mille lainepikkused on vahemikus 0,36—0,76 mikronit ( $\mu$ )<sup>1</sup>. Kiirgust, mida silm ei näe, nimetatakse nähtamatuks kiirguseks. Seda jaotatakse kahte ossa:

1) ultravioletne kiirgus, mille lainepikkused on väiksemad kui 0,36  $\mu$ ,

2) infrapunane kiirgus, mille lainepikkused on suuremad kui 0,76  $\mu$  (joonis 1).

Päikese kiirgusenergia spekter on graafiliselt kujutatud joonisel 1. Joonise horisontaalteljele on kantud kiirguse lainepikkused (millimikronites), vertikaalteljele mitmesugustele lainepikkustele vastavad kiirgusenergia hulgad. Joonis annab ettekujutuse, millises energeetilises vahekorras on liitunud mitmesuguse lainepikkusega kiired Päikese kogukiirguseks.

<sup>1</sup> Mikron ( $\mu$ ) = 0,001 mm.



Joon. 1. Päikese kiirgusenergia spektraalne jaotus atmosfääri ülemisel piiril (ülemine kõver) ja maapinnal pärast puhta ja kuiva atmosfääri läbimist Päikese mitmesuguse kõrguse korral (joonisel on Päikese kõrgused antud kraadides).

Päikesekiirguse spektris on kõige suurema energiaga rohelised kiired, lainepikkusega 0,55 mikronit. Ultravioletsete kiirte energia Päikese spektris on maapinnal väike, kuna suurem osa ultravioletseid kiiri ei jõua maapinnani — atmosfääris leiduv osoon neelab nad teel. Silmale nähtamatud infrapunased kiired annavad aga umbes poole Päikese koguergiast. Hommikul, aga eriti õhtutundidel muutub Päike punakaks, sest punaste kiirte osatähtsus Päikese kogukiirguses kasvab.

### 3. PÄIKESE KIIRGUSENERGIA VÄLJASPOOL MAA ATMOSFAARI

Uhes minutis kiirgab Päike teda ümbritsevasse maailmaruumi  $5,328 \cdot 10^{27}$  kalorit soojust. Selle soojushulgaga võiks sulatada 2,4-kilomeetrise läbimõõduga silindrikujulise jääsamba, mille pikkus võrdub Maa ja Päikese vahelise kaugusega, s. t. ligikaudu 150 miljonit kilomeetrit. Kui see tohutu suur soojusehulk langeks tervikuna Maale,

hakkaks vesi ookeanides ja meredes 1,5 sekundi jooksul keema. Maa saab ainult kahe miljardiku suuruse osa sellest hiiglaslikust soojushulgast, ülejäänud kiirgub maailmaruumi.

Maa atmosfääri ülemisel piiril päikesekiirtega risti asetsevale  $1 \text{ cm}^2$  suurusele pinnale ühes minutis langevat kiirgusenergia hulka nimetatakse solaarkonstandiks. See on püsiv suurus, millest pärineb tema nimetuski. Kui suur on solaarkonstant — see küsimus on huvitanud uurijaid juba aktinomeetria algpäevist saadik. Huvi selle küsimuse vastu on põhjendatud, sest ilma solaarkonstandi arvulise väärtuseta ei ole võimalik arvutada, kui palju päikesekiirgust neeldub atmosfääris teel maapinnale. Solaarkonstandi määramine on seotud tõsiste raskustega. Kuni viimase ajani ei olnud ükski inimese poolt sepitsetud vahend jõudnud kõrgusele, mis oleks võimaldanud seda otseselt mõõta. Raskustest ülesaamiseks valisid mitmed uurijad teoreetilise tee. Nad mõõtsid kiirgust maapinnal, kiirguse nõrgenemist atmosfääris arvutasid aga teoreetiliste valemitega. Ülemaailmsel aktinomeetriaalasel konverentsil 1957. a. Torontos tehti kokkuvõtte paljude teadlaste pikaajalisest tööst ja leiti, et solaarkonstandi väärtuseks võib lugeda 1,98 kalorit ruutsentimeetrile minutis. Seega Maa atmosfääri ülemisel piiril langeb igale kiirtega risti asetsevale  $1 \text{ cm}^2$  suurusele pinnale ligikaudu 2 kalorit Päikese kiirgusenergiat minutis. Enne maapinnani jõudmist tuleb kiirgusel läbida Maa atmosfäär. Siin aga toimub kiirguse nõrgenemine.

Mõõtes päikesekiirtega risti asetatud  $1 \text{ cm}^2$  pinnale langeva kiirgusenergia suurust, leiame, et see on maa-kera mistahes kohas väiksem kui solaarkonstant. Nii ei ületa erakordselt puhta õhu korral päikesekiirguse väärtused Tartus 1,4, Taškendis 1,5, polaarvööndis asuva Tihhaja lahe ääres 1,3 kalorit ruutsentimeetrile minutis. Kõige soodsamatel tingimustel jõuab maapinnale vaid 70—80% atmosfääri ülemisele piirile langevast kiirgusest. Alljärgnevatel lõikudes vaatlemegi neid tegureid, mis nõrgendavad päikesekiirgust tema teekonnal atmosfääri ülemiselt piirilt maapinnale.

#### 4. PÄIKESEKIIRGUSE HAJUMINE MAA ATMOSFÄÄRIS

Isegi puhas õhk nõrgendab hajutamise teel mõnevõrra päikesekiirgust ning muudab päikesekiirguse spektraalset koostist. Päikesekiirguse hajutajateks on õhu koostisgaaside hapniku ja lämmastiku molekulid, õhus leiduvad tolmuosakesed, veepiisakesed ja jääkristallikesed. Maapinnale jõuab päikesekiirgus kahe kiirgusvoona — otsese kiirgusena, mis langeb maapinnale paralleelsete kiirte voona Päikese suunast (siis kui Päike paistab), ja hajusa kiirgusena kõikidest suundadest (päikesekiirgus, mis hajub atmosfääris).

Kui kõne all on kiirguse hajutamise küsimused, siis ei saa vaikides mööda minna mõningatest nähtustest, millised tekivad tänu kiirguse hajumisele atmosfääris.

Sageli imetleme esteetilist elamust pakkuvat sügavsinist taevast, ometi ei tea igaüks taevasina tekkimise põhjust. Mõned arvavad, et õhk on sinist värvi. Selline arvamus oli levinud ka sadakond aastat tagasi, olgugi et juba Leonardo da Vinci (1452—1519), mitmekülgne itaalia kunstnik ja teadlane, oli veendunud, et taevasina pole tingitud taeva oma värvusest. Goethe oma värviõpetuses seletab juba võrdlemisi tõepäraselt taevasina tekkimist, sidudes seda päikesekiirte hajumisega atmosfääris. Sügava ja laia huvidemaailmaga inimesena uuris Goethe kirjandusliku tegevuse kõrval ka loodusteaduslikke küsimusi. Väärrib tähelepanu, et Goethe nimetas esimesena õhku sumedaks keskkonnaks, milline mõiste on tänapäevani eluõiguse säilitanud valguse hajumise õpetuses.

Täpsema seletuse taevasina tekkimisele andis inglise teadlane Rayleigh. Rayleigh näitas, et päikesekiirgus hajub õhus. Õhu koostisgaaside molekulid hajutavad kõike rohkem lühikese lainepikkusega violetseid ja siniseid kiiri (hajunud valgus on sinine), milles seisnebki taevasina tekkimise saladus. Täpsemalt kõlab Rayleigh' seadus<sup>1</sup> järgmiselt: hajumine väikestelt osakestelt (väik-

<sup>1</sup> Rayleigh' seaduse lihtsustatud matemaatiline kuju on järgmine:

$$i = \frac{\text{const.}}{\lambda^4};$$

kus  $i$  tähistab ühes ruumiühikus hajunud valguse intensiivsust ja  $\lambda$  valguse lainepikkust.

semad kui 0,1 valguse lainepikkust) on pöördvõrdeline kiirguse lainepikkuse neljanda astmega.

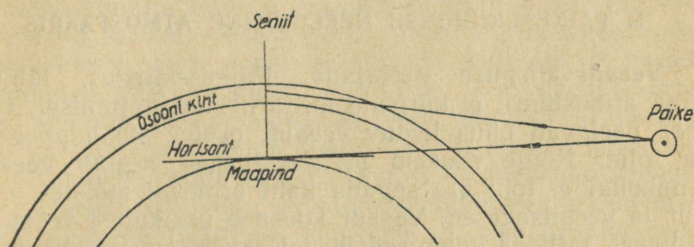
Mida vähem on õhus suuri osakesi, seda sinisem on taevas. Kahe vihmasaju vaheajal, kõrgrõhkkonna piirkonnas, on taevas sügavsinine. Vihmasajud puhastavad õhu tolmust ja muudavad ta läbipaistvaks.

Tõustes merepinnast kõrgemale, muutub õhk üha puhtamaks ja sügavsinisemaks. Väga suurtel kõrgustel, mis on kättesaadavad ainult raketitele ja maakaaslastele, on õhk väga hõre — seal hajutatakse päikesekiiri üsna vähe. Atmosfääri ülemisel piiril näib taevalaotus mustana, mida läbib silmipimestav päikesekiirte vihk.

Rayleigh' seadus valguse hajumise kohta kehtib täpselt ainult ideaalse ehk nn. Rayleigh' atmosfääri puhul, mis koosneb õhu koostisgaaside molekulidest. Loomulikult on Rayleigh' atmosfäär ainult kujuteldav. Reaalses atmosfääris on peale õhu koostisgaaside molekulide veel veeauru, tolmu, suitsu, soolakübemekesi jne. Reaalne atmosfäär erineb tunduvalt ideaalsest ehk Rayleigh' atmosfäärist. Täpsemad teoreetilised arvutused näitavad, et kui arvestada üksnes valguse hajumisega reaalses atmosfääris, siis õhtul ja hommikul peaks taevas seniidis omandama roheka värvuse. Igapäevasest kogemusest teame, et see nii ei ole. Taevasina muutub seniidis Päikese madala asendi korral isegi sügavamaks. Mõni aeg tagasi (1953. a.) avastati, et taeva sinise värvuse kujunemist mõjustab paarikümne kilomeetri kõrgusel asetsev osoonikiht. Osoon omab sinist värvust, sest ta laseb läbi siniseid kiiri, neelab aga rohelisi ja kollaseid kiiri. Madalal asetseva Päikese kiired, langedes kaldu osoonikihile, läbivad seal pika teekonna, mille kestel tugevasti neelduvad rohelised ja kollased kiired. Seniidi ümbruses jõuavad atmosfääri peamiselt sinised kiired, mille hajumine saab taeva sinise värvuse kujunemisel määravaks hommiku- ja õhtutundidel (joonis 2). Päikese värvus muutub hommiku- ja õhtutundidel punaseks. Horisondil asetseva Päikese kiired, läbinud atmosfääris pika teekonna, mille kestel eriti tugevasti hajuvad ja neelduvad violetsed, sinised ja rohelised kiired, jõuavad vaatele ja silma peamiselt kollaste ja punaste kiirtena. Osoonikiht Päikese värvuse kujunemisele otsustavat mõju ei avalda, sest maapinnale langevate päikesekiirte teekond on osoonikihis

palju lühem kui atmosfääri kõrgematesse kihtidesse langetaval kiirtel (vt. joonis 2).

Juhul kui päikesekiired langevad pilvele, kus kiirguse hajutajaiks on veepiisakesed või jääkristallikesed, hajuvad



Joon. 2. Päikese madala seisu korral on päikesekiirte teekond osoonikihis seda pikem, mida kõrgematesse õhukihtidesse kiired langevad.

kõik kiired võrdselt<sup>1</sup> ja pilved näivad valgeina. Mõnikord muutub taevaskahvatusiniseks juba päev enne, kui ilmuvad madalrõhkkonna saabumist iseloomustavad kiudpilved. See nähtus viitab niiskuse kasvamisele õhus ja peatsele vihmajule.

**Päikese ja taeva ebatavaline värvus.** Harukordadel on Päikese ja taeva värvus hoopis eriskummaline. Kui õhtu- ja hommikutundidel oleme tavaliselt harjunud Päikest nägema punasena, siis 26. ja 27. septembril 1950. a. paistsid Päike ja Kuu Lääne-Euroopas sinistena, taevaskahvatusiniseks näis aga punasena — värvid asetsesid täiesti vastupidiselt tavalisele. Aga me teame juba, et Päikese punane ja taeva sinine värvus on tingitud sellest, et atmosfäär neelab ja hajutab lühilainelist kiirgust rohkem kui pikemalainelist. 1950. a. sügisel asetleidnud juhul pidi aga pikemalaineline kiirgus rohkem neelduma ja hajuma kui lühilaineline. Pikemalaineline kiirgus neeldub ja hajub ainult siis tugevasti, kui õhus on väga palju suuri kiirgust hajutavaid osakesi tolmu või suitsu näol. Päikese ja taeva ebatavalise värvuse efektid saavad järelikult tekkida kas tolmu- või liivatormide, vulkaanide pursete või metsa- ja stepitulekahjude tagajärjel. Ülal-

<sup>1</sup> Kõik kiired hajuvad ühtemoodi, kui kiirguse hajutajateks on suured osakesed (lõbimõõdukt suuremad kui 0,01 millimeetrit).

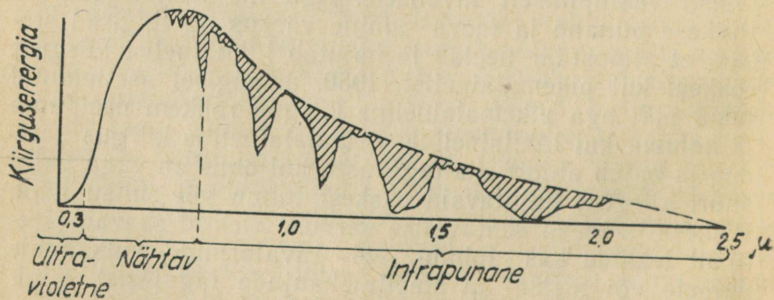
kirjeldatud juhul oli taeva ja Päikese ebanormaalse värvuse põhjuseks suur metsatulekahju Kanadas, kust suured suitsupilved kandusid Euroopasse.

## 5. PÄIKESEKIIRGUSE NEELDUMINE ATMOSFÄÄRIS

**Veeaur kiirguse neelajana.** Päikesekiirgus, läbides Maa atmosfääri, ei nõrgene mitte üksnes hajumisel, vaid teda neelavad õhus leiduv veeaur, osoon, süsihappegaas ja tolm. Kõige rohkem päikesekiirgust neelab veeaur. Siinkohal ei tohi ära segada kaht erinevat mõistet: veeaur ja veepiisakesed. Veeaur koosneb üksikutest veemolekulidest, millede kaugused üksteisest on suured. Veeauru me õhus ei näe. Veepiisakesed kujutavad endast aga üksteisele väga lähedal asetsevate veemolekulide koondisi, mida on võimalik ka silmaga näha. Nii koosnevad pilved ja udu rohkearvuliste veepiisakeste kollektiivist.

Alljärgnevalt vaatame, kuidas atmosfääris leiduv veeaur päikesekiirgust nõrgendab. Selleks tutvume joonisega 3, kus punktiiriga on tähistatud Päikese kiirguseenergia spektraalne jaotus atmosfääri ülemisel piiril ja pideva joonega päikesekiirguse spektraalne jaotus maapinnal, s. t. pärast seda, kui päikesekiired on läbinud atmosfääri.

Pika teekonna vältel atmosfääri ülemiselt piirilt maapinnale neelab atmosfääris leiduv veeaur osa päikesekiirgusest. Kiirguse spektrit kujutav kõver muutub. Viirutatud



Joon. 3. Päikese kiirguseenergia spektraalne jaotus atmosfääri ülemisel piiril ja maapinnal pärast veeauru läbimist.

alad joonisel 3 näitavad, millise lainepikkusega kiiri veeaur takistab maapinnale jõudmast. Selgub, et veeauru neelamisalad asuvad peamiselt spektri infrapunases osas. Leides, kui suure osa moodustab viirutatud alade pindala punktiirjoonega ja horisontaalteljega piiratud pindalast, saame teada, mitu protsenti päikesekiirgust neelatakse veeauru poolt. Mõõtmised näitavad, et veeaur nõrgendab päikesekiirgust keskmiselt 17 protsendi võrra. Kui muutub veeauru sisaldus õhus, muutub ka neeldunud kiirguse hulk. Õhus oleva veeauru hulga kasvamisel suurenevad viirutatud alad või n. ö., tugevnevad veeauru neeldumisribad. Õhu veeauru sisaldavuse vähenemisel spektri neeldumisribad nõrgenevad. See asjaolu leiab kasutamist meteoroloogias õhu niiskuse määramisel. Selleks tuleb mõõta mõnele suuremale neeldumisribale vastava lainepikkusega kiirguse intensiivsust. Õhu veeauru sisaldavuse suurenemisel nõrgeneb õhus veeauru poolt neelatava kiirguse intensiivsus, veeauru hulga vähenemisel intensiivsus kasvab. Sel põhimõttel töötavad spektroskoopilised hügromeetrid.

Võrreldes kiirguse intensiivsust Päikese sama kõrguse korral polaaraladel ja troopikas, selgub huvitav asjaolu: troopilistes rajoonides on kiirgus nõrgem kui polaarpiirkondades. Seda tingib asjaolu, et troopikas on õhus palju niiskust. Siinjuures ei tohi aga silmapaari vahele jätta asjaolu, et Päike on erinevatel geograafilistel laiustel samal kõrgusel erineval kellaajal. Nii näiteks on Tartus 12. aprillil Päike 40° kõrgusel kohalikul keskpäeval, Ašhabadis aga hommikul kella 8 paiku. Lõuna pool tõuseb Päike keskpäevaks hoopis kõrgemale kui põhjapoolsetes rajoonides. Seepärast saavad troopilised piirkonnad kogu päeva jooksul rohkem päikesekiirgust.

«**Ultravioletne öö**». Võrdlemisi ammu oli teada, et Päike peaks kiirgama lühilainelist ultravioletset kiirgust. Kuid mõõtmisel ei avastatud märkimisväärse ultravioletse kiirguse olemasolu maapinnal. Akadeemik S. I. Vavilovi sõnade järgi valitseb Maal alatine «ultravioletne öö» ja ka päeval võib jälgida kvartslampide ultraviolettkiirte levimist, kartmata, et päikesekiired segaksid nende vaatlemist. Ultravioletset kiirgust ei õnnestunud avastada ka mõõtmisel kõrgmäestikes ega aerostaatidel. Päikesekiirguse spekter katkes ultravioletses osas 290 millimikroni kohal, vaatamata sellele, et õhu koostisgaasid lämmastik

ja hapnik on läbipaistvad palju lühematele valguslainetele. Kauaks ajaks jäi see asjaolu mõistatuseks. Alles 1913. aastal näitasid prantsuse teadlased Fabry ja Buisson, et stratosfääris leiduv osoon neelab Päikese spektrist lühemaid laineid. Hilisemad uurimised stratostaatide ja raketide abil tõestasid, et maapinnalt kõrgemale tõustes jääb päikesekiirte teel asetseva osooni hulk väiksemaks. Päikese ultravioletsesse spektrisse ilmuvad lühemate lainepikkustega kiired. Kõrgemale tõustes venib päikesekiirguse spekter üha pikemaks. Selgus, et kõige suurema osoonisisaldavusega on õhukiht, mis asetseb 20—30 kilomeetri kõrgusel. Kuigi selles kihis on osooni palju rohkem kui maapinna lähedal, on tema koguhulk atmosfääris ikkagi võrdlemisi väike. Kui kogu atmosfääris leiduv osoon koguda maapinnale, siis normaalse rõhu juures (760 mm) saame maakera katta ainult 3 mm paksuse kihiga. Sellest tagasihoidlikust osoonikogusest piisab, et takistada lühilaineliste ultravioletsete kiirte pääsu maapinnale. Osooni poolt neelatud kiirgusenergia moodustab ligikaudu 2 protsenti maakeralangevast Päikese kiirgusest. Sellest hoolimata on osoonikihi tähtsus määratu suur. Ultravioletne kiirgus, mida neelab osoon, mõjub surmavalt elusorganismi rakkudele. Juba tühine osa ultravioletsest kiirgusest, mis jõuab maapinnale, võib päikesevannidega liialdamisel põhjustada tõsiseid põletushaavu. Mis juhtuks siis, kui osoonikihti ei oleks, see on kõigile ilma pikemata selge. Mõõdukates hulkades põhjustab ultravioletne kiirgus naha pigmenteerumist. Pigment täidab organismi kaitsefunktsiooni, kusjuures naha intensiivne pigmenteerumine on omane tervetele ja tugevatele inimestele. Ultravioletne kiirgus aitab kaasa rahhiidivastase D-vitamiini moodustumisele nahas, hävitab inimese vaenlasi — pisikuid ja viiruseid, tõstab organismi vastupanuvõimet ja immuunsust.

Kevadel on osooni palju rohkem kui sügisel, põhja pool rohkem kui lõunas. Eriti palju on osooni Arktikas pärast polaaröö lõppemist. Lõunapoolsete soojade õhumasside saabumisel osooni hulk atmosfääris väheneb 20—30 protsendi võrra, külma arktilise õhu sissetungimisel võib aga kahekordistuda.

Vaatlusandmed näitavad, et osoonihulga kasvamisele kaasneb enamasti õhutemperatuuri langus 5,5—9 kilomeetrilises õhukihis ja kasv 14 kilomeetri kõrgusel. Kui

das on ilmastik mõjustatud osoonihulga muutumisest, see küsimus on veel lõplikult selgitamata. Üksikasjalisema seose leidmine ilmastikunähtuste ja õhu osoonisisalduse muutumise vahel avab tulevikus avaraid võimalusi ilmaprognooside täpsustamiseks.

**Tolm — päikesekiirguse nõrgendaja.** Peale atmosfääri koostisgaaside ja veeauru nõrgendab päikesekiirgust ka tolmu, mida suuremal või vähemal määral alati hõljub õhus. Tolm nõrgendab eriti tugevasti ultravioletseid kiiri. Tolmune õhk on pisikuterohke ja ebatervislik. Kuurordid ja sanatooriumid ehitatakse seepärast puhta õhuga mereäärsetesse või metsarikastesse kohtadesse, kus ultravioletset kiirgust on märgatavalt rohkem.

Väga palju tolmu satub õhku maapinnalt, eriti maakera kuivadest, taimkatteta rajoonidest. Suurteks tolmu-kolleteks on kõrbed, kust tuul kannab hiiglaslikke tolmu-masse peaaegu üle terve maakera laiali.

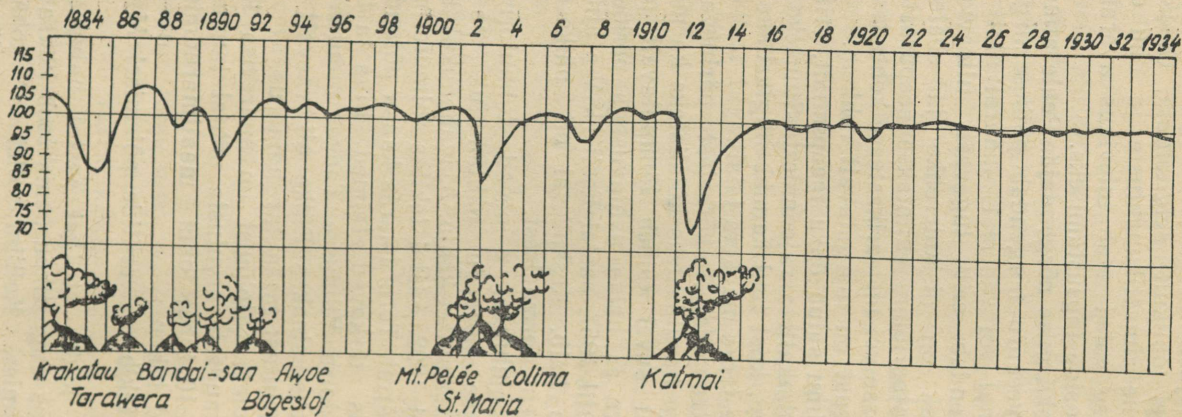
Tolmurikkad troopilistest kõrbetest pärinevad õhumassid ei ole väga haruldasteks külalisteks ka meil Eestis: peaaegu igal suvel esineb lämmatavalt palavaid valkjassinise taeva ja halva nähtavusega perioode. Nii näiteks oli 16. juulil 1957. aastal Eesti NSV-s atmosfääri läbipaistvus väga halb. Keskpäeval oli päikesekiirgus poole võrra väiksem normaalsest.

Harukordsetel juhtudel esinevad tolmutormid, mis muudavad Päikese peaaegu nähtamatuks, peale selle tekitavad nad materiaalselt kahju. Ajavahemikul 28. aprillist kuni 5. maini 1892. aastal tekitas tolmutorm Ukrainas palju meelehärmi. Torm haaras kaasa põldudele külvatud vilja, kattis tärkavad taimed liiva ja tolmuga. 2. maiks jõudis torm Vilniusse. Taevas muutus õudustekitavalt punaseks, sinakas Päike oli vaevalt nähtav, saabus päikesevarjutust meenutav hämarus.

Atmosfääris olevast tolmust on suur osa kosmilise päritoluga. Ligikaudsete arvutuste põhjal langeb Maale ööpäevas umbes 10 tuhat tonni maailmaruumist atmosfääri sadestunud tolmu.

Palju tolmu tekib meteoriitide põlemisel Maa atmosfääris.

Prof. Kalitin leidis, et igal aastal halveneb atmosfääri läbipaistvus augustikuus, mis toob kaasa päikesekiirguse nõrgenemise. Kalitini oletuse kohaselt on selle põhjuseks asjaolu, et Maa satub augustis kosmilise



Joon. 4. Atmosfääri läbipaistvuse muutumine vulkaanide pursete tagajärjel (protsentides, võrreldes keskmise läbipaistvusega).

tolmu pilvesse, mis perseiidide<sup>1</sup> vooluga tiirleb ümber Päikese.

Märgatavat päikesekiirguse nõrgenemist põhjustab vulkaanilise päritoluga tolm. Nii paiskas Krakatau vulkaani purse 1883. aastal õhku suure osa Krakatau saarest. Mitmekümne kilomeetri kõrgusele sattunud väga peeneks pihustatud tolm püsis õhus neli aastat, kandudes õhuvooludega ümber maakera. Ekvatoriaalsetes maades oli kogu taevast kaetud kõrgkihtpilvi meenutava sombakihiga. India ookeani kohal kattis somp täielikult Päikese. Tekkisid omapärased optilised nähtused: tugevnes hämarikuvalgus, hämariku kestus kasvas, ööd muutusid erakordselt valgeiks, Kuu ja tähed omandasid ebatavalise sinaka värvuse. Vahetevahel ilmus Päikese ümber värvi-  
line rõngas.

Väga halvaks muutus atmosfääri läbipaistvus Euroopas pärast Alaska poolsaarel asuva Katmai vulkaani purset 6. juunil 1912. aastal. Mõne nädala möödudes jõudis õhku paiskunud tolm Euroopasse. Päikesekiirgus nõrgenes tavalisega võrreldes 60—70 protsendi võrra, üksikutel päevadel aga oli ainult  $\frac{1}{5}$  normaalsest.

**Päikesekiirguse nõrgenemine pilvedes.** Kõige suuremad päikesekiirguse «vaenlased» on veepiisakesed ja jääkristallikesed. Üksik veepiisake või jääkristallike ei suuda muidugi nimetamisväärselt päikesekiirgust nõrgendada. Kuid arvestades seda, et sõltuvalt pilve liigist on pilve  $1 \text{ cm}^3$  ruumalal 50—1400 veetilka ja pilved küünivad 5—6 kilomeetri paksuseni, on nad võimelised hajutama ja neelama kogu päikesekiirguse. Kiirguse hulk, mida saab üks või teine maakera rajoon aastas, sõltub seega suurel määral sellest, kui suur on pilves päevade arv ja antud rajooni keskmine pilvisus.

Professor Kalitini mõõtmised näitavad, et suvisel keskpäeval lasevad 6—8 kilomeetri kõrgusel asetsevad kiudpilved läbi keskmiselt 82% Päikese otsesest kiirgusest, 2—6 kilomeetri kõrgusel asetsevad kõrgrümpilved — 28%, madalad kihtpilved aga neelavad päikesekiirguse pea-aegu täielikult. Pilved, nõrgendades Päikese otseseid kiiri,

---

<sup>1</sup> Perseiidide vool — üks paljudest meteoriparvedest, mis tiirleb ümber Päikese kindlat orbiiti mööda. Tiirlemisel ümber Päikese läbis-  
tab maakera kindlatel päevadel aastas meteorivoole, mil meteor-  
kehade langemine Maa atmosfääri eriti sageneb.

suurendavad samal ajal hajusat kiirgust. Võrreldes selge taeva hajusa kiirgusega, suurendavad kiudpilved hajusat kiirgust 2,4, kihtpilved 2,8 ja kõrgrünkpilved isegi 3,7 korda. Kui taevas on üksnes poolpilvedes ja Päike paistab pilvede vahelt, võib summaarse kiirgusena, s. o. Päikese otsese ja hajusate kiirte summana, maapinnale langeda tunduvalt suurem energiahulk kui selge taeva korral. Päikese otsesed kiired pääsevad takistamatult maapinnale, lisaks saab maapind pilvede poolt hajutatud kiirgust, mis on suurem kui täiesti selge taeva hajuskiirgus. Kindlasti on väga paljud, eriti aga fotohuvilised, teadlikud, et valgus on eriti ere siis, kui taevas on osaliselt kaetud rünkpilvedega. Tiheda täispilvisuse korral päikesekiired hajuvad pilvedes ning maapinnale jõuab vaid tühine osa päikesekiirgust.

**Kiirguse nõrgenemine linnades.** Linnades sisaldab õhk alati palju rohkem tolmu ja suitsu kui maal. Suurlinnades kaotab taevas helesinise värvuse ja omandab lillakashalli tooni. Ainult tugev tuul võib suitsuvinet mõnevõrra hajutada. Arvutused näitavad, et Londonis sadestub aastas igale ruutkilomeetrile keskmiselt 100 tonni vabrikukorstnate ja transpordivahendite poolt õhku paisatud tahma ja tolmu. Linnade suitsu- ja tolmurikas õhk nõrgendab tunduvalt päikesekiirgust, eriti aga ultravioletses piirkonnas. Seepärast on linna õhus igasuguseid baktereid hoopis rohem kui maal. Mõõtmised suurlinnades (Berliinis, Bostonis, Viinis ja mujal) näitasid, et päikesekiirgus linnas moodustab 70—80% kiirgusest, mida saab linna ümbrus. Pühapäevadel kiirgus mõnevõrra tugevneb, kuna osa vabrikuid ei tööta. Märgatavalt kasvab päikesekiirgus suvel, mil majades ei kõeta ahje. Õhu suur tahma-, tolmu- ja gaasidesisaldavus soodustab linnades udude tekkimist, mis näiteks Londonis neelavad talvel poole, suvel ühe kolmandiku päikesekiirgusest. Linnades esinevad udud takistavad inimorganismile kahjulike gaaside ja suitsu hajumist. Londonis kasvab udupäevadel õhu süsihappegaasi sisaldavus 0,04-lt 0,14 protsendini. Suureneb kahjulike väevliühendite kontsentratsioon õhus, mis võib viia traagiliste tagajärgedeni. Ajavahemikul 24. jaanuarist kuni 14. veebruarini 1889. a. põhjustas udu Londonis 2994 surmaga lõppenud õnnetusjuhtumit. 4. kuni 9. dets. 1952. a. hukkus Londoni udus üle 4000 inimese. Üks udupäev Lon-



Joon. 5. Eksponaat hügieeniaselt näituselt Londonis: iga elaniku kohta langeb Londonis maapinnale aasta jooksul selline kogus tahma (D. O. Svjatski ja T. N. Klado järgi).

donis tekitab 20—50 tuhande naelsterlingi ulatuses kulusi, mis on seotud ööpäevase tänavate valgustamisega, tahmunud majade remondiga, liiklusõnnetustega ja mitmesuguste muude kahjudega. Gaasiderikas õhk ei kahjusta mitte üksnes inimesi, vaid ka loomi ja taimi. Kasutades süsihappegaasi oma elutegevuseks, aitavad taimed puhastada linna õhku. Rohkete haljasaladega linnades on õhk tervislikum. Samal ajal toovad taimed end ohvriks mitmesugustele linna õhus leiduvatele kahjulikele gaasidele. Eriti tundlikud on okaspuud, mis suurlinnades surevad välja. Langeb ka viljapuude saak. Võrdluskatse näitas, et kirsid andsid Berliinis ainult 17 kg saaki puu kohta, samal ajal kui provintsis ulatus saak 24,5 kilogrammini. Need faktid panevad mõtlema, kuidas võidelda linna õhku saastavate gaaside, tahma ja tolmuaga. Suurlinnades minnakse üle elektrienergia kasutamisele. Vabrikute korstnad varustatakse tahma- ja gaasipüüdjatega — filtritega.

Teine tee läbitöötatud gaasidest vabanemiseks seisneb selles, et viimaseid ei juhita mitte õhku, vaid maa-alusesse kanalite võrku. Võib kõne alla tulla võimsate ventilaatorite rakendamine, milliseid juba pikemat aega kasutatakse õhu puhastamiseks kaevandustes. Sellised masinad on võimelised läbi laskma kuni 600 tuhat liitrit õhku tunnis. Kui asetada linna igale ruutkilomeetrile üks masin ja ühendada ta maa-aluse kanalite võrguga, on võimalik 14 m kõrgusest õhukihist ära juhtida mootorsõidukite ja osaliselt ka vabrikute poolt tekitatud gaase ja kahjulikkeprodukte. Selle projekti elluviimisel peaksid nõrgenema linnade udud ja linnad muutuma päikesepaistelisemaks.

## 6. PÄIKESEKIIRGUSE JAOTUS MAAKERAL

Kuidas jaotub päikesekiirgus maakeral, kui palju saavad maakera erinevad rajoonid kiirgust — nende küsimuste lahendamine on aktinomeetria põhiülesandeks. Enamik loodusnähtusi on kiirguse jaotusest sõltuv. Nii sõltub ühe või teise koha kliima sellest, kui palju antud koht saab Päikese kiirgusenergiat. Päikese kiirgusenergia suurusest on mõjustatud taimede kasv. Erinevates kiirgustingimustes on erinev taimestik ja loomastik. Päikesekiirguse jaotuse tundmine maakeral lubab otsustada, kuhu tasub püstitada heliotehnilisi seadeldisi<sup>1</sup>.

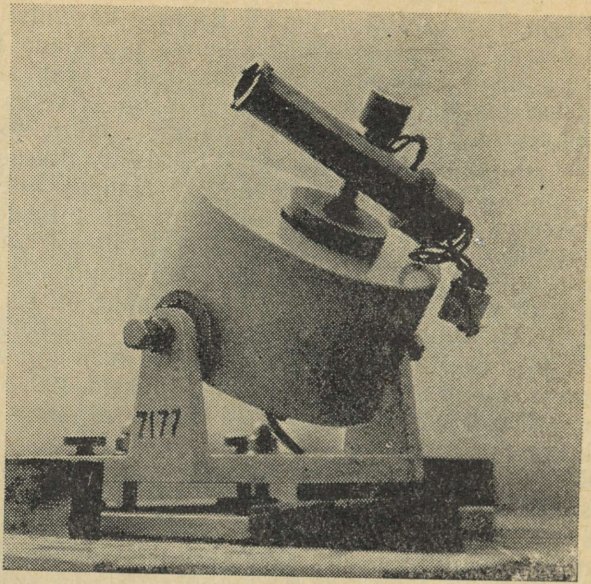
Esialgu näib, et kiirguse jaotuse kindlaksmääramiseks maakeral ei olegi vaja mõõta päikesekiirgust erinevates maakohtades. On ju Päikese kõrguse ja päeva pikkuse muutumine määratud astronoomias üldtuntud valemi abil, piisab sellest, kui teame lisaks solaarkonstanti, et arvutada kiirguse jaotust terve maakera ulatuses.

Tõsi, arvutused annavad ligikaudse pildi päikesekiirguse jaotusest maakeral. Saame tuletada nn. solaarkliima valemi, mille abil võime leida, kui palju päikesekiirgust saab mistahes maakera koht ükskõik millisel aasta- või kellaajal, eeldusel, et maakeral puuduks atmosfäär. Viga, mis kaasneb selle eeldusega, sõltub suurel määral sellest, kui võrd pilvisus, õhuniiskus, tolmu- ja saadavus ja teised eelpool kirjeldatud põhjused mõjustavad maakera ühes või teises kohas päikesekiirte teekonda

<sup>1</sup> Seadeldised, mis võimaldavad päikesekiirgust kasutada tehniliseks otstarbeks.

atmosfääris. Teades aga erinevate kohtade keskmist pilvisust ja õhu läbipaistvust, võib valemteid täiendada nii, et nad arvestaksid viimaste mõju kiirgusele. Igapäevasest kogemusest on teada, kuivõrd muutlik on pilvisus, eriti aga rümpilvedega suvepäeval. Rännates lõputu voorina, katavad nad kas täielikult või ainult osaliselt päikeseketta, samas aga vabastavad nad ta mõneks hetkeks intensiivseks kiirguseks. Peale selle ei ole erinevate pilvede kiirgustnõrgendav mõju ühesugune — valemitega on seda väga raske arvestada. Valemid annavad ainult väga ligikaudse pildi päikesekiirguse jaotusest maakeral. Et saada täpsemat ettekujutust kiirguse jaotusest maakeral, on vaja kiirgust mõõta. Tänapäeval on terve maakera kaetud aktinomeetriaajaamadega võrguga. Kõige rohkem, 190, on neid Nõukogude Liidus, kusjuures 14 asub Arktikas ja 4 Antarktikas.

**Päikese otsene kiirgus.** Päikese otsese kiirguse mõõtmiseks kasutatakse instrumente, mida nimetatakse pürheeliomeetriteks ja aktinomeetriteks. Aktinomeetriteliste instrumentide ehitamisel kasutatakse peamiselt termoelektrilist nähtust. Kui joodame otsapidi kokku kahest erinevast metallist või sulamist, näit. manganiinist ja konstantaanist traadikesed, saame nn. termopaari ehk termoelemendi. Kui jootekohta soojendada, tekib ahelas, kuhu on lülitatud termoelement, nõrk elektrivool, nn. termovool. Kiirguse mõõtmisel kasutataksegi seda nähtust sel teel, et päikesekiirte teele asetatakse mustaks tahmatud pind, mis soojeneb ning annab soojuse üle termoelemendile. Termoelemendis tekitatud nõrka elektrivoolu mõõdetakse väga tundlike galvanomeetrite abil. Mida suurem on päikesekiirguse intensiivsus, seda suurem on termovool. Nõukogude Liidus kasutatakse peamiselt Janišeovski aktinomeetrit. See koosneb torust, mille abil suunatakse Päikesele toru põhjas asetsev termopatareiga ühendatud mustaks tahmatud hõbeplaat. Suuremates jaamades registreeritakse Päikese otsest kiirgust vastavate instrumentide, aktinograafide abil, millised kellamehhanismi abil hoiavad aktinomeetri toru pidevalt Päikesele suunatuna. Kiirguse muutumisele kaasnevad nõrga elektrivoolu muutused, mis registreeritakse vastava vooluregistreerija — galvanograafi lindile. Galvanograafi lindilt määratakse kindlaks kiirgusenergia, mis langeb tunni aja jooksul Päikese otseste kiirtega risti asetsevale ruutsentimeetri suurusele



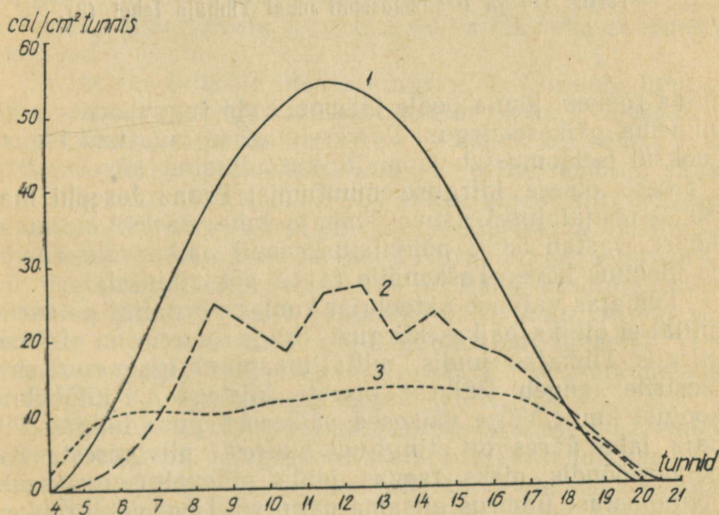
Joon. 6. Aktinograaf — Päikese otsese kiirguse registreerija (foto E. Selleke).

pinnale. Korrutades seda tunni keskmise päikesekõrguse siinusega, leiame kiirgusenergia, mis tunni jooksul langeb horisontaalsele pinnale. Liites tunnikiirguse väärtused kokku, saame päeva jooksul maapinnale langenud kiirgusenergia hulga. Nii võime leida kuude, samuti aasta jooksul maapinnale langenud Päikese otsese kiirgusenergia hulgad. Selgel päeval on Päikese otsese kiirguse maksimum kohalikul keskpäeval, millal Päike on kõige kõrgemal. Kohalik keskpäev on erineva geograafilise pikkusega kohtades Moskva aja järgi erinevatel kellaaegadel: Tartus kell 13.13, Tallinnas kell 13.21, Haapsalus kell 13.26, Kingissepas kell 13.30. Tartus saab suvise pööripäeva paiku kohalikul keskpäeval maapinna iga ruutsentimeeter päikesekiirtelt keskmiselt 60 kalorit soojust tunnis. Iga ruutmeetri kohta tuleb aga võrdlemisi soliidne soojushulk — 600 tuhat kalorit ehk 600 kilokalorit. Selle soojushulgaga

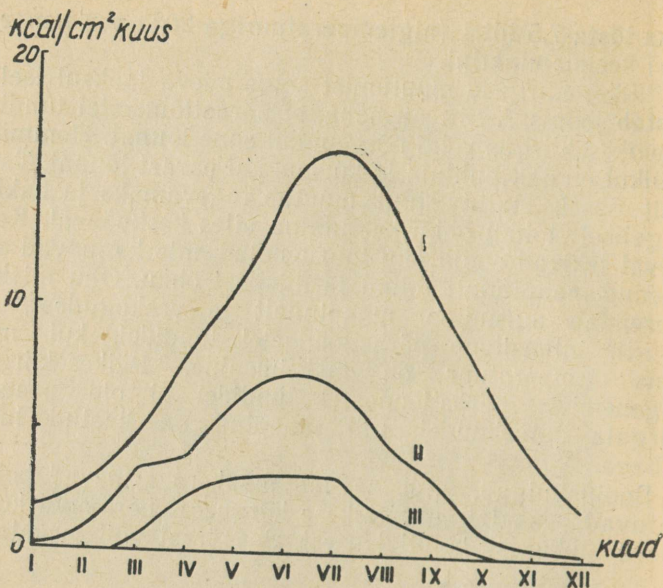
võiks tõsta 7,5 liitri (algtemperatuuriga 20°) vee temperatuuri keemispunkti.

Päikesekiirguse muutumist selge päeva jooksul iseloomustab joonis 7. Siit on näha, et pärastlõunastel tundidel on päikesekiirgus veidi nõrgem kui enne lõunat. Hommiku-poolikul on õhk puhtam ja kuivem kui pärast lõunat. Tavaliselt ööseks taltuv tuul muutub tugevamaks ja hakkab hulgaliselt tolmu õhku keerutama alles keskpäeval. Keskpäeval tekivad sooja õhu tõusuvoolud, mis kannavad soojenenud maapinnalt tolmu ja niiskust õhku. Õhu niiskust suurendab aurumine maapinnalt ja veekogudest, mis on eriti intensiivne pärastlõunastel tundidel, kui maapinna temperatuur on maksimaalne. Päikesekiirguse nõrgenemist pärastlõunastel tundidel ei ole peaaegu märgata talvekuudel, mil maapind on kaetud lumevaibaga.

Soojushulgad, mida saavad maakera erinevad kohad, sõltuvad peaaesjalikult Päikese kõrgusest horisondi kohal, päeva pikkusest ja pilvisusest. Seepärast võib arvata, et



Joon. 7. Päikese otsese (1) ja hajusa (3) kiirguse päevane kulg selgel ja hajusa kiirguse päevane kulg (2) muutliku pilvisusega kevadpäeval Tartus.



Joon. 8. Päikese otsese kiirguse aastane kulg Taškendis (1), Tartus (2) ja Franz-Josephi maal Tihhaja lahel (3).

mida rohkem lõuna poole läheme, seda tugevamaks peaks minema päikesekiirgus. Päikesekiirguse muutumist aasta jooksul iseloomustab joonis 8, kus alumine kõver näitab Päikese otsese kiirguse muutumist Franz Josephi maal  $80^{\circ},3$  põhjalaiusel asuva Tihhaja lahe ääres. Keskmine kõver vastab  $58^{\circ},3$  põhjalaiuskraadil paiknevale Tartule ja ülemine kõver Taškendile ( $41^{\circ},3$  põhjalaiusel).

Tihhajas valitseb oktoobrist kuni veebruarini polaaröö, millal ei ole ka päikesekiirgust. Kõige suurem on päikesekiirgus Tihhajas juulis, millal maapinna igale ruutsentimeetrile langeb Päikese otseste kiirtega 3,2 kilokalorit soojust kuus. Väga väikesed päikesekiirguse hulgad Tihhaja lahe ääres on tingitud suurest pilvisusest. Kui polaarvööndis oleks taevas juulis pidevalt selge, saaks põhjapooluse ümbrus niisama palju või isegi veidi rohkem päikesekiirgust kui ekvatoriaalsed alad. Esimesel pilgul võib see väide tunduda absurdseks. Endastmõistetavalt oleme ekvaatoriga harjunud siduma lämmatavat kuumust,

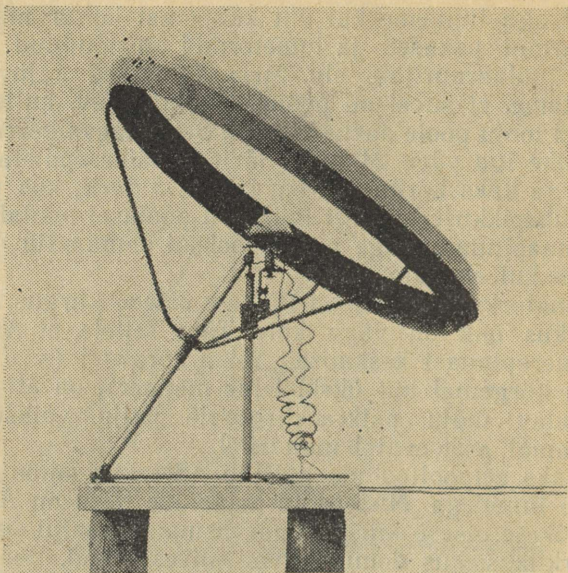
poolust aga tunneme kui üht külmemat kohta maakeral, kus karmid pakased ja lumetormid on nõudnud paljude julgete polaaruurijate elu. Meie kahtlused hajuvad, kui meenutame, et suvel on poolusel polaarpäev, mille vältel Päike ei looju poole aasta jooksul. Selge taeva korral paistab Päike iga päev 24 tundi järjest, päikesepaiste kestus on seega kaks korda suurem kui ekvaatoril, kus päev ja öö on ühepikkused. Kuigi Päike on poolusel madalal, langeks maapinnale selge päeva jooksul samapalju päikesekiirgust kui ekvaatoril.

Silmatorikavalt suur on Päikese otsene kiirgus Antarktis, kus õhk on väga kuiv. Tänu sellele, et Antarktis asub merepinnast keskmiselt 2 km kõrgusel (s. o. umbes 1,5 km kõrgemal kui ükski teine manner), on atmosfääri nõrgendav mõju päikesekiirgusele palju väiksem kui madalamal asetsevatel mandritel.

Lisaks eelpooltoodule paistab Antarktis silma rohkete selgete ilmadega. Nimetatud asjaolude tõttu on Antarktis Päikese otsese kiirguse päevasummad palju suuremad kui Arktikas, kus domineerivad pilves ilmad. Peame aga lisama, et Päike ei jõua märgatavalt sulatada lõputuid kiirgust tugevasti tagasipeegeldavaid lume- ja jäävälju, millised polaarpäevale järgneva polaaröö pakases uuesti kasvavad.

Tartus on Päikese otsese kiirguse maksimum juunis, millal maapinna iga ruutsentimeeter saab 7 kilokalorit soojust kuus, seega üle kahe korra rohkem kui samal ajal Tihhajas. Kõige pimedamal kuul, s. o. detsembris, saab Tartus iga  $\text{cm}^2$  0,09 kilokalorit Päikese otsest kiirgust, see on umbes 80 korda vähem kui juunis. Märtsi- ja aprillikuu Päikese otsese kiirguse väärtused Tartus on peaaegu võrdsed, vaatamata sellele, et aprillis on Päike tunduvalt kõrgemal kui märtsis. Selle põhjuseks on asjaolu, et märtsis valitseb meil tavaliselt antitsükloonaalne ilmastik, mis toob kaasa palju päikesepaistet. Aastalõikes on märtsis Eesti NSV-s kõige rohkem selgeid päevi.

Eesti NSV on kiirguse tingimuste poolest võrdlemisi halvas olukorras. Lõuna pool asetsevas Taškendis on Päikese otsene kiirgus juunis üle kahe korra, detsembris aga umbes 20 korda suurem kui samal ajal Tartus. Kõige päikesepaistelisel juunikuul saab Eesti NSV Päikese otsest kiirgust umbes niisama palju kui Taškent märtsi- või oktoobrikuul.



Joon. 9. Püranograaf — hajusa kiirguse registreerija. Kiirguse vastuvõtjaks on klaaskupliga termoelektriline püranomeeter (keskel). Püranomeetrile langevad ainult hajunud kiired, kuna Päikese otseseid kiiri varjab rõngakujuline ekraan (foto E. Selleke).

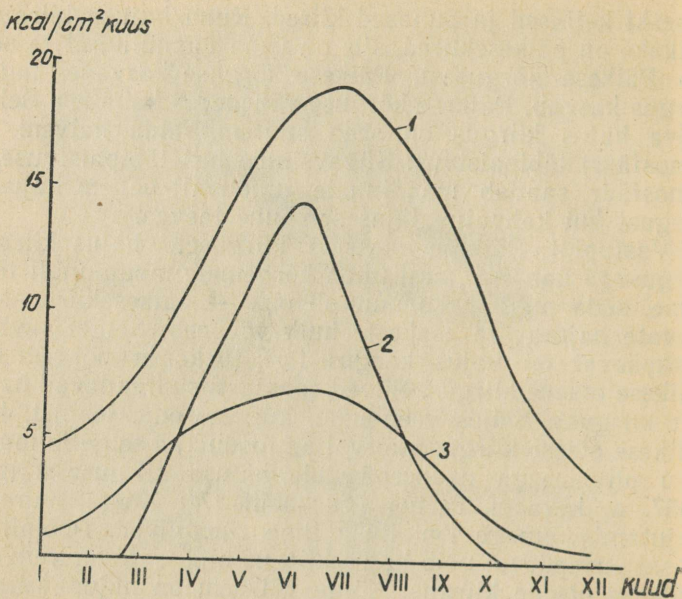
**Atmosfääri hajus kiirgus.** Kolmkümmend aastat tagasi peeti peamisteks soojusenergia kandjateks Päikese otseseid kiiri. Hajusale kiirgusele ei omistatud peaaegu mitte vähimatki tähelepanu, teda ei osatud siis veel õieti mõõtagi. Viimase paarikümne aasta jooksul on olukord põhjalikult muutunud. Me omame korralikke hajusa kiirguse mõõteriistu-püranomeetreid ning teame, et maapinna kiirguserežiimis omab hajus kiirgus Päikese otsese kiirguse kõrval võrdlemisi suurt tähtsust. Erinevalt Päikese otsesest kiirgusest, mis jõuab maapinnale suunatud kiirte voona, tuleb hajus kiirgus taeva laotuse kõikidest punktidest. Ka spektraalselt koostiselt erineb hajus kiirgus Päikese otsesest kiirgusest. Selge taeva hajus kiirguses on ülekaalus violetsed ja sinised kiired. Pilves taeva hajus kiirguses domineerivad nii nagu Päikese otseses kiir-

guseski kollased ja punased kiired. Kuna hajusa kiirguse allikaks on päikesekiired, siis on üsna loomulik, et ta sõltub Päikese kõrgusest. Päikese kõrguse kasvades hajus kiirgus kasvab, Päikese kõrguse vähenedes kahaneb. Selge taeva hajus kiirgus on seda suurem, mida halvem on atmosfääri läbipaistvus. Sügavsinine hea läbipaistvusega atmosfäär saadab maapinnale tunduvalt vähem hajusat kiirgust kui kahvatuvalkjast sombune taevas.

Vastupidi Päikese otsesele kiirgusele hajus kiirgus kõrgusega kahaneb, sest mida kõrgemale maapinnalt tõuseme, seda puhtamaks muutub õhk — päikesekiirte teel olevate hajutavate osakeste hulk väheneb. Selgel suvisel keskpäeval on hajus kiirgus ligi 10 korda nõrgem kui Päikese otsene kiirgus. Pilved enamasti suurendavad hajusat kiirgust. Selles veendume, kui vaatame joonist, kus Päikese otsese kiirguse kõrval on toodud ka selge ja muutliku pilvisusega naaberpäevade hajusa kiirguse käigud 1957. a. kevadel Tartus (vt. joonis 7). Kõige suurema hajutamisevõimega on ilusa ilma rümpilved. Poolpilves ilusal suvepäeval võib hajus kiirgus olla isegi suurem kui Päikese otsene kiirgus. Kõige väiksem on hajus kiirgus madalate kiht- ja vihmapiilvede korral.

Talvel, kui lumevaip katab maapinda, on hajus kiirgus märgatavalt suurem kui Päikese sama kõrguse korral suvel. Teame, et koos esimese lumega kaob sügispäevade hallus — ilm muutub valgemaks. Lumikate peegeldab suure osa langevast kiirgusest tagasi atmosfääri, kust pilved osa kiirgust jällegi tagasi maapinnale suunavad. Korduva pilvede ja maapinna vahelise peegeldumise lõpptulemusena hajus kiirgus maapinnal suureneb. Nii näitavad uurimused, et Päikese sama kõrguse korral on hajusa kiirguse väärtused talvel Tartus selge ilmaga 1,2—1,3, madala lauspilvisuse korral aga 1,6—2,2 korda suuremad kui suvel samades tingimustes.

Eriti suurt tähtsust omab hajus kiirgus põhja-polaarvööndis, kus Päikest on harva näha ja peamiseks soojusenergia kandjaks on hajus kiirgus. See selgub jooniste 8 ja 10 võrdlemisel. Antarktises on hajusa kiirguse osatähtsus võrreldes Arktikaga hoopis väiksem, sest Antarktises on palju selgeid päevi ja suurem osa kiirgust tuleb Päikese otseste kiirte näol. Tartus moodustab hajus kiirgus üle poole maapinnale langevast kiirgusenergiast. Eriti suur on hajusa kiirguse osatähtsus Eesti NSV terri-



Joon. 10. Hajusa kiirguse aastane kulg Taškendis (1), Tihhas (2) ja Tartus (3).

tooriumil pilvistel sügis- ja talvekuudel. Nii ületab Tartus detsembrikuu hajusa kiirguse väärtus 6—7-kordselt Päikese otsese kiirguse väärtuse. Märksa väiksem on hajusa kiirguse osatähtsus päikesepaistelises Taškendis. Hajusa kiirguse väärtused Taškendis ei ületa talvekuudel üle kahe korra Päikese otsese kiirguse väärtusi.

**Summaarne kiirgus.** Seni vaatlesime Päikese otsest ja hajusat kiirgust eraldi. Maapind aga saab soojusenergiat samaaegselt nii Päikese otseste kui ka hajusate kiirte näol. Ilmastikuprotsessid ja taimekasv sõltuvad mõlema kiirguse koosmõjust. Praktika nõuete seisukohalt on otstarbekas vaadelda, kui palju kiirgusenergiat langeb maapinnale Päikese otseste ja hajusate kiirte summana, ehk nagu aktinomeetrias nimetatakse, summaarse kiirgusena.

Tutvume lühidalt summaarse kiirguse jaotusega maaeral. Selleks vaatleme tabelit 1, kus on antud keskmised soojushulgad, mis langevad summaarse kiirgusena aasta

jooksul maapinnale maakera erinevates kohtades. Vaatluskohtad on tabelis väheneva geograafilise laiuse järjekorras:

Tabel 1

Summaarse kiirguse aastasummad

| Koht         | Geograafiline laius | Summaarne kiirgus kcal/cm <sup>2</sup> aastas | Koht        | Geograafiline laius | Summaarne kiirgus kcal/cm <sup>2</sup> aastas |
|--------------|---------------------|---|-------------|---------------------|---|
| Tihhaja laht | 80,3                | 53  | Budapest    | 47,5                | 100   |
| Tiksi laht   | 71,6                | 70  | Jevpatoria  | 45,9                | 122   |
| Jakutsk      | 62,0                | 88  | Veneetsia   | 45,4                | 108   |
| Helsingi     | 60,2                | 78  | Kara-Dag    | 44,9                | 124   |
| Pavlovsk     | 59,7                | 82  | Nizza       | 43,7                | 134   |
| Stokholm     | 59,4                | 75  | Toronto     | 43,7                | 108   |
| Tartu        | 58,3                | 82  | Chicago     | 41,8                | 90  |
| Sverdlovsk   | 56,9                | 82  | Taškent     | 41,3                | 135   |
| Riia         | 56,5                | 82  | New York    | 40,8                | 95  |
| Minsk        | 53,9                | 83  | Washington  | 38,9                | 120   |
| Varssavi     | 52,2                | 86  | Fresno      | 36,7                | 161   |
| Karlsruhe    | 49,1                | 98  | Santa Maria | 35,9                | 170   |
| Pariis       | 48,8                | 95  | Honolulu    | 21,3                | 184   |

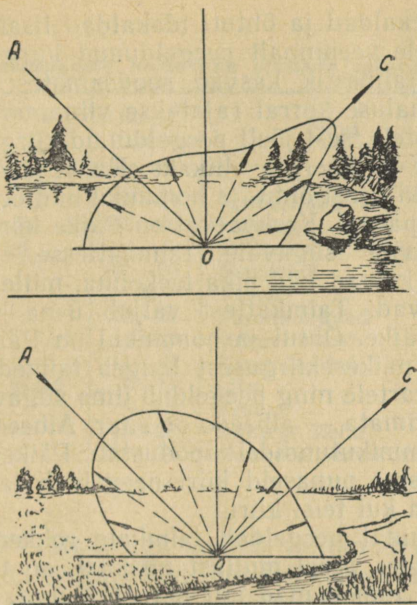
Näeme, et geograafilise laiuse vähenedes summaarne kiirgus järk-järgult kasvab. Paistab silma, et mõned kohad saavad teiste umbes samal laiusel asuvate kohtadega võrreldes hoopis rohkem summaarset kiirgust. Eriti torkab see silma Nizza puhul, mis on kuulus oma päikese-paisteliste ilmadega. Tabelis 1 on toodud ka summaarse kiirguse aastaväärtus Tartus, mis on leitud viieaastase ajavahemiku (1954—1959) keskmisena. Osutub, et Tartu saab aastas ligikaudu niisama palju summaarset kiirgust kui temaga enam-vähem samal laiuskraadil asetsevad Pavlovsk, Sverdlovsk ja Riia. Suitsu- ja tahmarikastes suurlinnades Torontos, Chicagos ja New Yorgis on aga summaarne kiirgus tunduvalt väiksem nende geograafilisele laiusele vastavast normist. Näeme, et summaarse kiirguse aastasummad küünivad sõltuvalt koha laiuskraadist peaaegu kuni 190 kcal/cm<sup>2</sup> aastas. Arvatakse, et mõnedes Sahaara kõrbe vähese pilvisusega piirkondades, kus ei ole mõõtmisi teostatud, võib summaarse kiirguse aastasumma küündida 200 kcal/cm<sup>2</sup>.

Summaarse kiirguse aastasummad põhja-polaarvöön-  
dis on tunduvalt väiksemad kui väiksematel laiuskraadi-  
del. Nagu me varem nägime, on see tingitud suurest pil-  
visusest. Antarktises aga on detsembris summaarse kiir-  
guse summad suuremad kui kuskil mujal maakera piir-  
konnas suvekuudel. Tänu rohkele päikesepaistele, õhu  
kuivusele ja Antarktise suhteliselt suurele kõrgusele üle  
merepinna, on sealsed summaarse kiirguse väärtused võr-  
reldavad ainult kiirgussummadega kõrgmäestikes, mis  
asetsevad ekvaatori piirkonnas. Erakordselt suurte sum-  
maarse kiirguse väärtuste üheks oluliseks põhjuseks on,  
lisaks eelpoolnimetatutele, hajusa kiirguse kasvamine kor-  
duva kiirguse peegeldumise tulemusena atmosfääri ja era-  
kordselt puhta lumega kaetud maapinna vahel. Ka sum-  
maarse kiirguse aastasumma Antarktises (Mirnõis, 66,5°  
l.-l.) — 91 kcal/cm<sup>2</sup> aastas osutub suuremaks kui Tar-  
tus või Riias ning on ligikaudu võrdne 45—50° põhja-  
laiuskraadide summaarse kiirguse aastasummadega.

## 7. KIIRGUSE PEEGELDUMINE MAAPINNALT. ALBEEDO

Kõik Päikese otsesed, samuti atmosfääris hajunud  
kiired, mis langevad maapinnale, ei jää jäägitult Maa  
kasutusse. Sõltuvalt aluspinna omadustest, peegeldatakse  
teatav osa päikesekiiri atmosfääri ja maailmaruumi tagasi.

Peegelpinnalt peegeldumisel kehtib tuntud peegeldu-  
mise seadus, mille kohaselt kiir, mis langeb suunas AO,  
peegeldub suunas OC (vt. joonis 11), kusjuures peegeldu-  
misenurk võrdub kiirte langemisnurgaga. Peegelpindu loo-  
duses me peaaegu ei kohta. Looduslikud pinnad ei pee-  
gelda kiirgust mitte üksnes peeglilise peegeldumise ehk  
reflektoorse peegeldumise suunas (joonisel suund OC),  
vaid ka teistes suundades. Pind hajutab valgust mitme-  
sugustes suundades (joonisel punktiiriga tähistatud noolte  
suunas), sealjuures mõnes suunas rohkem, teises vähem.  
Siledad pinnad (vaikne veepind) peegeldavad suurema  
osa kiirgust, nagu jooniselt nähtub, reflektoorse peegel-  
dumise suunas. Karedad pinnad (rohi, viljapõllud, mets  
jne.) peegeldavad aga peamiselt langeva kiire suunas  
tagasi. Seepärast, seisest seljaga Päikese poole, võime  
tähelepanelikul vaatlusel märgata, et rohi on heledam kui  
Päikese suunas vaadates.



Joon. 11. Peegeldumine siledalt (ülal) ja konarlikult looduslikult pinnalt (E. M. Sifrina järgi).

Peegeldumist looduslikelt pindadelt iseloomustatakse suurusega, mida nimetatakse albeedoks. Albeedo on arv, mis näitab, mitu protsenti maapinnale langevast summaarsest kiirgusest peegeldub. Albeedo uurimine omab suurt praktilist tähtsust. Teades albeedot, saame kindlaks määrata, kui palju maapinnale langevast summaarsest kiirgusest neeldub ja läheb maapinna soojendamiseks. Taimkatte albeedost sõltub kiirgushulk, mis neeldub taimedes ja kulub taimede kasvuprotsessis. Looduslike pindade albeedo ei ole püsiv suurus, ta sõltub paljudest tegureist, milledega lühidalt tutvume allpool.

Looduslike pindade albeedo sõltub päikesekiirte langemisnurgast. Nii näiteks peegeldab vesi väga madala Päikese korral 60—70% kiirgust tagasi. Päikese kõrguse suurenedes vee albeedo väheneb 2—3 protsendini. Vee suure albeedo tõttu saavad hommikutundidel sisevee-

kogude läänekaldad ja õhtuti idakaldad lisaks ülalt tulevale kiirgusele veepinnalt peegeldunud kiirgust. Seetõttu kaldaäärne taimestik kasvab soodsamates kiirgustingimustes. Võimaluse korral rajatakse viinamarjaistandused jõgede kallastele, sest jõelt peegeldunud kiirgus on taimedele tähtsaks lisaenergia allikaks. Ka viljapõllud ja rohi peegeldavad kiirgust õhtu- ja hommikutundidel hoopis rohkem kui keskpäeval. Keskpäeval on Päike kõrgel, päikesekiired tungivad sügavale taimkattes, peegelduvad lehelt lehele, käivad läbi pika teekonna, mille vältel tugevasti neelduvad. Taimkattest väljub üsna vähe kiiri — albeedo on väike. Õhtul ja hommikul on Päike madalal. Suurem osa päikesekiirgusest langeb taimede ülemistele lehtedele ja vartele ning peegeldub ilma sügavamale taimkattes tungimata — albeedo on suur. Albeedo kasvamist õhtu- ja hommikutundidel soodustab Päikese punaseks muutumine, sest punaseid kiiri peegeldab taimkate mitu korda rohkem kui teisi kiiri.

Pärast lõunat peegeldab taimkate rohkem kui enne lõunat. Kogudes öösel mullast niiskust, on taimed hommikul hoopis tumedamad kui pärast lõunat. Päeva jooksul aurustub suur osa kogutud veest, taimed muutuvad heledamaks — albeedo suureneb. Albeedo suurenemisel neelatakse vähem päikesekiiri, lehtede kuumenemine ja vee aurumine neilt vähenevad — taimede närbumise oht kaob. See huvitav kaitsefunktsioon on välja kujunenud pikaajalises taimede arenguprotsessis.

Tabelis 2 on toodud mõningate looduslike pindade albeedode keskmised väärtused.

Eriti suur on peegeldamisvõime lumel. Värskest sadanud koheva lume albeedo ulatub kuni 90, harukordsetel juhtudel isegi 98 protsendini. Sula, mäardunud lume albeedo langeb kuni 40 protsendini. Kevadtalvel päevitume väga kiiresti, sest tugevale päikesekiirgusele lisandub lumelt peegeldunud kiirgus. Mäestikes ja polaaraladel on lumi väga puhas ja õhk päikesekiirtele harukordset läbipaistev. Silmade pimestamise vastu tuleb seal kasutada kaitseprille.

Mulla albeedo oleneb mulla niiskusest — niiskuse kasvades albeedo väheneb. Viljapõldude albeedo muutub koos taimede arengufaasiga. Seepärast on tabelis 2 viljapõldude albeedo väärtused antud vahemikkudena, kusjuures vähim albeedo vastab taimede arengu algstaadiumile,

## Mitmesuguste looduslike pindade albeedod

| Pind                        | Albeedo<br>% | Pind              | Albeedo<br>% |
|-----------------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Värske kohev lumi           | 80—94        | Kartulipõld       | 19           |
| Puhas tihke lumi            | 70—80        | Lutsern           | 23—32        |
| Vana määrdunud<br>sula lumi | 40—50        | Talirukis         | 18—23        |
| Merejää                     | 36           | Maisipõld         | 12—26        |
| Kuiv muld                   | 18—24        | Puu vill          | 20—22        |
| Niiske muld                 | 16—18        | Tammeladvad       | 18           |
| Märg muld                   | 11—16        | Männiladvad       | 14           |
| Läbiligunenud muld          | 8—11         | Kuuseladvad       | 10           |
| Vana kulu                   | 7—15         | Liiv              | 30           |
| Noor rohi                   | 16—20        | Vesi              | 5            |
| Lopsakas rohi               | 20—24        | Inimese keha      | 35           |
|                             |              | Maakera tervikuna | 40           |

teine albeedo väärtus aga kuulub valminud viljale. Paremini väetatud viljapõllud on tumerohelised — nende albeedo on väiksem kui kehvadel pinnasel kasvavatel viljadel. Kui põld on paremini väetatud, siis lisaks sellele, et taimedel on pinnases piisavalt toitaineid, neelab ta ka väiksema albeedo tõttu rohkem päikesekiiri — taime kasv on intensiivsem. Põllu albeedo suurus lubab teataval määral otsustada pinnase toitainete sisaldavuse üle.

Albeedo uurimisel on terve rida praktilisi rakendusi. Suurte maa-alade kaardistamiseks kasutatakse lennukitelt tehtud maapinna ülesvõtteid, nn. aerofotosid. Aerofotode dešifreerimisel on vaja kindlaks määrata, millised looduslikud pinnad või esemed fotol esinevad. Maanteede, hoonete ja muude hõlpsasti äratuntavate objektide eristamine ei valmista raskusi. Tülikam on otsustada, kas tegemist on männi- või kuusemetsaga, nisu- või maisipõlluga. Teades ühe või teise loodusliku pinna albeedo, võime lennukilt määratud albeedo järgi otsustada, millise põllu või metsaga meil fotol tegemist on. Lihtsam on see siis, kui teame, kui palju antud pind peegeldab mitmesuguse lainepikkusega kiiri, s. t. kui tunneme pinna spektraalset albeedo. Näiliselt kaks päris ühte värvi pinda võivad kiirgust erinevalt peegeldada. Määrates lennukilt kummagi pinna spektraalse albeedo, on hoopiski lihtsam neid pindu eristada.

Kuumadel päevadel on teedeinsenerid mures, sest asfalt muutub pehmeks. Eriti sagedane on see ebameeldiv nähtus lõunapoolsetes, päikesepaistelistes rajoonides. Asfaldi albeedo on väga väike ja peaaegu kõik päikesekiired neelduvad temas. Itaalia insenerid tulid mõttele lisada asfaldile aineid, mis suurendavad albeedot. Selline asfalt on punakas ning ei kuumene liialt.

Viljade närbumise ohu korral puistatakse kuivades maakohtades põllud üle õlgedega, mis peegeldavad tunduva osa päikesekiirgust tagasi. Pinnase niiskuse kadu aurumise teel väheneb. Kui aga soovitakse rutem vabaneda lumest, külvatakse põldudele tahma, mis vähendab lume albeedot ja soodustab sulamist.

Ilmade ennustamisel ei piisa sellest, kui teame, milliste omadustega on meie territooriumile lähenev õhumass antud momendil. Tähtis on teada, millise albeedoga alasid õhumass läbib enne meieni jõudmist. Teekonna vältel soojenevad õhumassid mitmesuguse albeedoga territooriumidel erinevalt — väiksema albeedoga pindade kohal rohkem, suurema albeedoga rajoonides vähem. Läbides lumega kaetud maa-alasid, võib õhumass jahtuda. Ilmaennustajal-sünoptikul on vaja ette näha, kuidas muutub, või nagu öeldakse, kuidas transformeerub õhumass teekonnal lähtekohast meieni. Selleks aga on vaja tunda õhumassi teel oleva aluspinna albeedot.

## 8. MAA JA ATMOSFAÄRI SOOJUSKIIRGUS

Kõik kehad kiirgavad soojust, kusjuures kiirguse intensiivsus sõltub keha temperatuurist ja kiirgava keha või pinna omadustest. Kui inimese keha temperatuur on enam-vähem võrdne ümbritsevate kehade temperatuuriga, siis me ei tunne ümbrusest meile langevat soojuskiirgust, sest ise kiirgame umbes sama palju ümbrusesse. Kõik aga oleme kindlasti tundnud, kuidas köetud ahi kiirgab välja soojust. Nii kiirguvad kõik kehad, soojemad rohkem, jahe-  
damad vähem. Jäätükk levitab enda ümber külma nii, nagu ahi soojustki. Kas peale soojuskiirguse on siis olemas veel mingisugune külmakiirgus? Ei, külmakiiri pole olemas. Jäätükk kiirgab nagu kõik teised kehadki, kuid vastavalt oma madalale temperatuurile hoopis vähem. Viibides jaheda keha vahetus läheduses, kaotame kiirguse

teel soojust rohkem kui juurde saame, mille tagajärjel meie keha jahtub.

Absoluutselt musta keha kiirgus on määratud Stefan-Boltzmanni seadusega, mille järgi kiirguse intensiivsus on võrdeline kiirgava keha absoluutse temperatuuri neljanda astmega. Füüsikas nimetatakse absoluutselt mustaks kehaks või pinnaks sellist keha või pinda, mis kõik temale langevad kiired neelab. Looduses absoluutselt musti kehasid peaaegu ei esine. Ainult tahma võib ligikaudu lugeda absoluutselt mustaks kehaks. Nii kummali-sena, kui see ka ei tundu, on meie Päike absoluutselt must keha ja suurem osa musta keha kiirgusseadusi on kõigepealt leitud päikesekiirguse uurimisel. Kuna absoluutselt must keha neelab rohkem kiirgust kui ükski teine reaalne keha, siis kiirguse seadustest järgneb, et ta peab ka teistest sama temperatuuriga kehadest rohkem kiirgama. Kui vaatleme mitut keha, mis kõik omavad ühesuguse temperatuuri, siis kõige rohkem kiirgab see keha, mis on kõige sarnasem absoluutselt mustale kehale. Absoluutselt musta keha kiirguse arvutamine ei valmista meile erilisi raskusi. Hoopis raskem on arvutada reaalsete pindade, näiteks maapinna või pilvede kiirgust, mida ei saa lugeda absoluutselt mustadeks.

Saksa teadlase Falckenbergi uurimused näitavad, et looduslikud pinnad ei erine oluliselt absoluutselt mustast kehast spektri pikalainelises, silmaga nähtamatus soojuskiirguse piirkonnas. Nii neelab valge liiv 89% temale langevast soojuskiirgusest, ülejäänud 11% aga peegeldab. Veepind neelab 92%, 8% peegeldab. Kuuseokkad neelavad 96%, peegeldavad 4%. Inimese nahk neelab 95% ja peegeldab 5%. Falckenbergi väljenduse järgi on kõige mustem maapinnal tuntud keha värskeltsadanud lumi. Kui arvestada, et värskel lumi neelab 99,5% temale langevast soojuskiirgusest, siis on see Falckenbergi paradoksi nime all tuntud nähtus kõigiti põhjendatud.

Nii nagu kõik teised kehad, kiirgab ka Maa soojuskiirgust, mis läheb atmosfääri ja maailmaruumi. Kui Maa ainult saaks Päikeselt kiirgust ilma seda ära andmata, siis aastate jooksul peaks maakera temperatuur tõusma. Kuna maakera keskmised temperatuurid jäävad aastate jooksul peaaegu muutumatuks, siis võib oletada, et Maa kaotab enam-vähem sama palju soojust kui ta Päikeselt saab.

Teades maapinna temperatuuri ja neelamisvõimet, võime välja arvutada soojushulga, mida maapind peaks välja kiirgama. Kui puuduks atmosfäär, siis Maa soojuskiirgus lenduks jäägitult maailmaruumi. Tegelikult aga atmosfäär laseb läbi Päikese lühilainelise kiirguse, mis soojendab maapinda, maapinna enese soojuskiirgust aga takistab maailmaruumi pääsemast. Maa soojuse kiirgamist maailmaruumi takistavad atmosfääris leiduvad gaasid ja veeaur, mis neelavad osa maakiirgust. Neelatud kiirguse arvel soojenedes kiirgab atmosfäär ise soojuskiirgust maapinnale. Atmosfääri soojuskiirguse osa, mis jõuab maapinnale, nimetatakse atmosfääri vastukiirguseks. Maapinna ja atmosfääri vastukiirguse vahet aga tuntakse maapinna efektiivse kiirguse nime all. Efektiivne kiirgus näitab, kui palju maapind kaotab soojuskiirgust. Olgu näiteks maapinna temperatuur 20°C, atmosfääri keskmine temperatuur aga 10°C. Stefan-Boltzmanni seaduse järgi võib ligikaudu välja arvutada, et maapinna iga ruutsentimeeter kiirgab atmosfääri minutis 0,610 kalorit soojust. Atmosfäär kiirgab vastu 0,530 kalorit. Lahutades Maa kiirgusest atmosfääri vastukiirguse, saame efektiivse kiirguse väärtuseks  $0,080 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{min}}$ . Tähendab, maapinna iga ruutsentimeeter kaotab antud juhul 0,08 kalorit soojust minutis.

Peamiseks Maa kiirguse neelajaks atmosfääris on veeaur, mis neelab soojuskiirgust peaaegu kogu soojuskiirguse spektri ulatuses (Maa ja atmosfääri soojuskiirgus asub lainepikkuste vahemikus 4—40 mikronit), välja arvatud lainepikkuste vahemik 8,5—12 mikronit. Kahjuks langeb suurem osa Maa kiirgusest just sellesse vahemikku, mistõttu vahemikku 8,5—12 mikronit nimetatakse mõnikord ka atmosfääri «aknaks». Atmosfääri «akna» kaudu kiirgub osa Maa soojust maailmaruumi.

Kui oleks võimalik lisada atmosfääri gaasi, mis ei kahjustaks inimese tervist ja neelaks tugevasti soojuskiirgust atmosfääri «aknale» vastavas spektri piirkonnas, võiksime muuta kogu maakera kliimat. Tugevasti neelavad maapinna soojuskiirgust pilved. Pilvede oma kiirgusest satub üks osa maailmaruumi, teine osa aga maapinnale. Pilvede kiirgus on seda suurem, mida kõrgem on nende temperatuur. Atmosfääri alumises 10-kilomeetrilises kihis kahaneb õhutemperatuur kõrgemale

tõustes iga kilomeetriga keskmiselt  $6^{\circ}$  võrra. Seepärast on madalamal asetsevad pilved soojemad ja nende kiirgus suurem. Pilvisuse tihenemisel atmosfääri vastukiirgus kasvab, Maa ja atmosfääri vastukiirguse vahe — efektiivne kiirgus — aga kahaneb. Pilved etendavad vaiba osa, mis kaitseb Maad jahtumise eest. Üldtuntud on tõde, et pilvised talvapäevad on hoopis soojemad kui selged talvapäevad. Pilves öödel esineb harva öökülma. Suits ja udu vähendavad maapinna efektiivset kiirgust — vähendavad maapinna jahtumist. Seepärast öökülma ohu korral tehakse aedades ja põldudel kõige külmemal ajal, tavaliselt enne Päikese tõusu, suitsu. Piisab temperatuuri tõstmisest  $1-3^{\circ}$  võrra, et kaitsta taimi hävinemisest, sest öökülmade puhul langeb temperatuur harva alla  $-3$  kraadi.

### 9. KIIRGUSBILANSS

Eelnevalt nägime, et maapind saab Päikese kiirgusenergiat nii Päikese otseste kui ka atmosfääris hajunud kiirtena. Tutvusime üksikasjaliselt Päikese kiirgusenergia jaotusega maakera üksikute kohtade vahel. Veendusime, et kogu päikesekiirgus ei neeldu maapinnas — osa, sõltuvalt maapinna üksikute kohtade albedost, peegeldub tagasi atmosfääri ja maailmaruumi. Maapinnas neeldunud päikesekiirte toimel maapind soojeneb ja hakkab ise soojust välja kiirgama. Soojuse kaotust Maa oma kiirguse näol tasakaalustab osaliselt atmosfääri vastukiirgus.

Maapinnal toimuvate ilmastiku- ja taimekasvuprotsesside mõistmiseks on meil vaja teada, milline on eelpoolkirjeldatud kiirgusvahetuse lõppresultaat. Selleks on meil vaja teada maapinnale langenud ja maapinnalt lahkunud kiirgusenergia vahet või nagu aktinomeetrias öeldakse — kiirgusbilanssi. Kiirgusbilansi suurusest pikema aja jooksul sõltub antud maakoha kliima. Nii on suurema kiirgusbilansiga kohad soojemad, väiksema kiirgusbilansiga kohad külmemad. Pikaajaliselt negatiivse kiirgusbilansiga Arktika ja Antarktika aga on erakordselt karmi kliimaga. Meie geograafilisel laiusel on maapinna kiirgusbilanss suvepäevadel positiivne, sest maapind saab Päikeselt ja atmosfäärilt rohkem kiirgust, kui ta peegeldamise ja soojuse väljakiirgamise teel ära

annab. Umbes 1,5 tundi enne Päikese loojangut muutub kiirgusbilanss negatiivseks ning terve öö vältel kaotab maapind soojust. 40—60 minutit pärast Päikese tõusu muutub kiirgusbilanss uuesti positiivseks. Tiheda pilvkatte ilmumine päeval toob kaasa kiirgusbilansi vähenemise, sest pilvedega kaasnev atmosfääri vastukiirguse teatav kasv ei suuda kompenseerida samaaegset summaarse kiirguse vähenemist. Öösel, vastupidi, pilved, suurendades atmosfääri vastukiirgust, suurendavad ka kiirgusbilanssi. Ööpäeva keskmine kiirgusbilanss on meil suvekuudel positiivne. Eesti NSV-s muutub kiirgusbilanss negatiivseks detsembris ja püsib sellisena märtsi lõpuni — lumikatte sulamiseni.

Geograafilise laiuse suurenemisega kiirgusbilansi aastaringse muutuse amplituud suureneb, kuid väheneb perioodi kestus, mille jooksul kiirgusbilanss on positiivne. Näiteks Saraatovis on kiirgusbilanss positiivne 9 kuu jooksul, kuid Tihhaja ja Tiksi lahe ääres ainult 4 kuu vältel. Antarktise rannikul polaarjoone ümbruses on kiirgusbilanss negatiivne 8 kuu vältel, Pionerskaja vaatlusjaamas ( $\varphi=69,7^\circ$  l.-l.) 10 kuu jooksul. Veelgi kõrgematel laiuskraadidel on kiirgusbilanss negatiivne terve aasta jooksul, s. t. lumepind kaotab siin pidevalt soojust. Vaatamata erakordselt suurele summaarsele kiirgusele on kiirgusbilanss negatiivne, sest 80—90% kiirgusest peegeldub lumeväljadelt tagasi. Lisaks sellele moodustab maapinna soojuskaotus soojuse väljakiirgamise teel 25—30% sellest kiirgusest, mis langeb summaarse kiirgusena maapinnale. Negatiivse kiirgusbilansi tõttu peaks lumepinna temperatuur pidevalt langema, kuid vaatlused näitavad, et vaatamata pidevale soojuskaole jääb lumepinna temperatuur peaaegu muutumatuks. Järelkult eksisteerivad soojusallikad, mis kompenseerivad kiirgusliku soojuskao lumepinnalt. Nendeks soojusallikateks on lumepinnaga kokkupuutuvad õhuvoolud, kuna Antarktises on õhk peaaegu alati soojem kui lumepind. Lumepinda soojendab ka sügavamatest lumekihtidest tulev soojusvoog.

Põhjapoolkeral lõuna pool 40-ndat laiuskraadi on kiirgusbilanss terve aasta vältel positiivne. Ookeanide ja merede kiirgusbilanss on suurem kui samadel laiuskraadidel asetsevatel mandritel — veekogudes neeldub rohkem kiirgust, kuna nende albedo on väiksem. Kõrbe-

rajoonides on kiirgusbilanss väiksem kui taimkattega aladel. See on tingitud kõrbete suhteliselt suuremast albeedost ja maapinna tugevast soojuse väljakiirgamisest, sest kuumenenud liivase pinna temperatuurid on tunduvalt kõrgemad taimkattega maapinna temperatuuridest. Kiirgusbilansi maksimaalse aastaväärtusega kohaks maakeral on Araabia meri, kus kiirgusbilansi väärtus küünib  $140 \text{ kcal/cm}^2$  aastas. Kiirgusbilansi maksimum mandril —  $100 \text{ kcal/cm}^2$  aastas — esineb niisketes troopilistes rajoonides.

Maakera kui planeedi kiirgusbilanss peab aga pikemaajalises lõikes võrduma nulliga. Kui kiirgusbilanss oleks positiivne, siis maakera tervikuna saaks rohkem kiirgust kui ta ära annab — maakera peaks pidevalt soojenema. Negatiivse kiirgusbilansi korral aga toimuks maakera jahutamine.

## 10. PÄIKESE AKTIIVSUS JA ILMASTIK

Õhu voolamise ja ilmastikunähtuste algpõhjuseks on päikesekiirgus. Nagu eelnevas nägime, soojendab Päike üksikuid maakohti erinevalt. Maakeral tekivad õhutemperatuuride vahed, mis omakorda põhjustavad õhurõhu vahesid. Õhurõhu erinevused maakera ulatuses annavad alguse õhu voolamisele. Maakera pöörlemise tõttu omandab õhuvoolude süsteem ehk nn. õhu tsirkulatsioon väga keerulise iseloomu. Õhu tsirkulatsiooni keerukust soodustab mandrite ja merede ebaühtlane asetus. Õhu vaba voolamist takistavad mäed ja orud. Kui päikesekiirgus oleks aastast aastasse muutumatu, siis hoolimata paljudest õhu tsirkulatsiooni mõjustavatest teguritest peaks maakeral aegade jooksul praegusest kindlam ilmastikurežiim välja kujunema. Atmosfääris toimuv õhu tsirkulatsioon peaks omandama stabiilsuse. Mistahes maakohas muutuks ilm kindla rütmi järgi sõltuvalt antud koha kiirgusbilansist ja teistest kliimat kujundavatest teguritest. Olu- lisi kõrvalekaldumisi aastate jooksul väljakujunenud kliimatilistest tingimustest ei tohiks esineda. Võiksime koostada lisaks astronoomilisele kalendrile ilmastiku kalendri, millest oleks lihtne leida igale kuupäevale vastavat ligikaudset ilma iseloomustust.

Paraku esinevad aeg-ajalt erakordsed ilmastikunähtused, mis antud kohale ei ole iseloomulikud ja millede

ennustamine on võrdlemisi raske. Ei tarvitse minna väga kaugele minevikku. 1958/59. aasta talv kuulus erandlike hulka. Talvekuude keskmised temperatuurid ületasid meie vabariigis 4—5 kraadi võrra keskmise. Harukordselt soojale talvele järgnes varajane kevad. Juba veebruari lõpul oli suurem osa vabariigi territooriumist lumikattest vabanenud. Emajõgi, mis harilikult heidab jääkaane märtsi lõpul — aprilli algul, vabanes juba veebruari viimasel dekaadil jäävangistusest. Samal ajal saabusid ka esimesed kuldnokad. 1959. a. suvi paistis silma rohke päikesepaistega — summaarse kiirguse igakuised summad ületasid Tartus 2—3 kcal võrra keskmisi.

Väga rahutus olekus oli maakera atmosfäär ka aastatel 1951.—1953. 1951. a. olid suured üleujutused Itaalias. 1952. a. üleujutused Inglismaal ja Hollandis olid viimase 350 aasta kohta suurimad. Alžeerias, kus kunagi varem ei ole sadanud lund, esinesid 1953. a. suvel lumesajud. 1953/54. aasta talv paistis silma erakordse pakasega — Lääne-Euroopas esinesid viimase 75 aasta kohta kõige madalamad temperatuurid.

Erakordsed ilmastikunähtused ei ole iseloomulikud mitte üksnes viimasele ajale, neid tundis inimkond ka varem. Üks harukordsemaid kõrvalekaldumisi «normaalsest» ilmastikust leidis aset 1924/25. aasta vahetusel Lõuna-Ameerikas.

Piki Lõuna-Ameerika läänerrannikut kulgeb Atacama kõrb, kus ei esine sageli mitmete aastate vältel sademeid. Taimi kohtab harva ja needki on väga kidurad. Jõed on kuivad, looma- ja linnuriik liigivaene. Aastavahetusel 1924—1925 muutus ilmastik lühikese ajavahe miku jooksul tundmatuseni. Külmade ja kuivade lõuna kaarte tuulte asemel hakkasid puhuma soojad ja niisked ookeanituuled. Igavesti selge taevaskattus pilvedega — sadas troopilist paduvihma. Poolkuivad jõesängid täitusid kallasteni veega, mõnedes tekkis isegi üleujutusi. Tulv uhtus ära maanteed ja raudteetammid, majad ja sillad ujusid veeväljadel. Lima ja Callao linnad (Peruus) olid veest ümber piiratud — liiklus seisis. Suur niiskus põhjustas siin varem tundmatu haiguse — malaaria puhkemist. Järsk kliimamuutus tõi kaasa muudatusi flooras ja faunas. Epideemiate tagajärjel hukkunud kohalike linnu- ja kalaliikide asemele ilmusid troopikalinnud ja -kalad. Massiliselt lendas moskiitosid ja kärbsed. Kõrbes

lokkas troopikataimestik. Taimed, millele õitsemine lõpeb tavaliselt jaanuaris, õitsevad teistkordselt ja kandsid kahekordset vilja. Nii kestis see maikuuni, millal soojad ekvaatorituuled asendusid uuesti kuivade ja karmide lõunatuultega — endine kliima taastus.

Lõuna-Ameerika lääneranniku maade — Tšiili, Peruu ja Ekuadori kuiva kliimat kujundab külm Peruu ehk Humboldti hoovus, mis kulgeb piki rannikut. Detsembri lõpul — jaanuari algul tungib siia põhjast soe El Nino hoovus. Olles tavaliselt nõrk, ei mõjusta El Nino hoovus oluliselt kuiva kõrbelist kliimat. 1925. aastal oli aga El Nino erakordselt võimas ja surus külma Humboldti hoovuse kaugele ookeanile. El Nino hoovus ei toonud kaasa mitte üksnes põhjapoolseid niiskeid ja sooje tuuli, vaid põhjustas nähtusi, mis mõnevõrra sarnanevad meie jääminekule. Jää asemel kandusid Lõuna-Ameerika lõunarannikule murdunud puude ja taimede massid, loomad, linnud, taimede seemned, mis andsid alguse uuele, kõrbe-tingimustes enneolematule taimestikule.

Samal ajal pandi erakordseid ilmastikunähtusi täheleka mujal maailmas. Nii tabas 7. novembril 1924. aastal Leningradi raske katastroof: linn lainetas nagu meri, voogudes hukkus palju inimesi ja loomi, raju tekitas suuri purustusi. Mõnes kohas ulatus vesi tänavatel inimestel üle pea. Neeva tõusis oma tavalisest nivoost 375 sentimeetri võrra kõrgemale.

Vanemad inimesed mäletavad selgesti 1924. a. kevadist Emajõe suurvett. Emajõe nivoo ületas 150—160 sentimeetri võrra keskmise. Jõeäärne luht oli üle ujutatud ja meenutas järve. Madalamad jõeäärsed Tartu tänavad olid vee all — neil sõideti paatides.

Gobi kõrbes oli samal aastal palju sademeid, kõrb kattus stepitaimestikuga. Kaukaasias oli talv seevastu erakordselt külm, Batumis ja Suhhumis külmusid viljapuud.

Lehitsedes möödunud aegade ilmakroonikaid, näeme, et erakordselt külmad olid 1740., 1809., 1813., 1814., 1818. ja 1820. aasta talved. Põhjasõjast on tuntud 1709. a. karm talv. Balti meri kattus tugeva jääkaanega, mis võimaldas Vene vägedel koos kahurite ja muu varustusega minna üle Põhjalahe kurgu Ahvenamaa saartele ja sealt Stokholmi alla.

Me ei suuda kirjeldada muidugi murdosagi erakord-

setest ilmastikunähtudest, mida aegade jooksul on esinenud rohkearvuliselt. Me tõime ainult mõned markantsemad näited, milledest lugeja võib veenduda, et erakordsed ilmastikunähud ei olegi nii ebatavalised. Erakordsete ilmastikuolude tõlgendamisel tekivad sageli müstilised oletused ja põhjendused, millel ei ole mingisugust teaduslikku alust. Fantaasia kuritarvitamine on tingitud sellest, et ühele inimpõlvele võivad mitmed loodusnähtused tõesti üllatavaina tunduda. Ajaloolises mastaabis aga on nad päris tavalisteks sündmusteks. Muidugi ei ole erakordsete loodusnähtuste seletamiseks vaja mingisuguseid müstilisi põhjendusi. Ei ole kahtlust, et kõigi erakordsete ilmastikunähtuste põhjus on ühine — muutused õhuvoolude ja merehoovuste tsirkulatsioonis, milliseid põhjustab ilmastiku peremees Päike. Täpsema seose leidmine ilmastikunähtuste ja Päikesel toimuvate muutuste vahel on praegu teadlaste huvi tulipunktis. Teadlased püüavad avastada korrapärasusi ilmastiku muutumises ja seovad neid Päikesel toimuvate muutustega. Päikese ja ilmastiku vahelise seose tundmine võimaldab koostada täpsemaid, pikemaajalisi ilmastiku prognoose. Kas on võimalik ette näha rohkete sademetega ja uputustega aastaid? Esinesid ju suuremad uputused Leningradis perioodiliselt 1724., 1824. ja 1924. aastal. Statistilised andmed näitavad, et kõige soojemad aastad Kesk-Euroopas on kordunud iga 45 aasta tagant: 1778., 1823., 1868., 1919. Kui 45-aastane periood tõeliselt eksisteerib, siis oleks järjekordne soe aasta pidanud langema 1958. aastale. Lõplikud kokkuvõtted selle kohta veel puuduvad. Raske on otsustada, kas perioodilisus ilmastikunähtuste kordumisel tõesti esineb, sest kõrvalekaldumised perioodilisusest ei ole haruldased. Kuna Päikese vaatlusi on teostatud ainult viimase paarisaja, päikese kiirguse mõõtmisi aga viimase 50 aasta jooksul, siis on võimatu otsustada, kas pikemaajalised perioodid ilmastiku muutumises on tõelised ja kuidas mõjustab neid Päike.

Ilmastikunähtustes näib realselt eksisteerivat 11-aastane periood, mis on põhjustatud Päikese perioodilistest muutustest. Teatavasti ilmuvad aeg-ajalt Päikese pinnale laigud, milledest suuremaid võib hõlpsasti vaadelda läbitumeda või tahmatud klaasi. Täidetuna jahedamatest gaasidest näivad nad Päikese heleda pinna fotosfääri kõrval

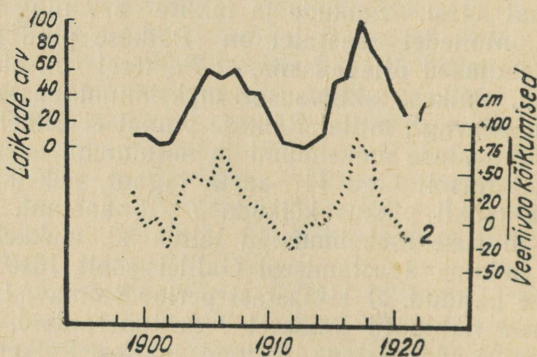
tumedaina. Nende läbimõõt küünib mõnikord 100—200 tuhande kilomeetrini. Laigud omavad väga tugevat magnetivälja. Väikeste laikude magnetivälja tugevus on umbes 100 gaussi<sup>1</sup>, kõige suurematel laikudel küünib aga 4000 gaussini. Tuletame meelde, et Maa magnetivälja tugevus on ainult 0,5 gaussi. Viimasel ajal on leitud, et laikude madalam temperatuur on põhjustatud laikude magnetiväljast. Tugev magnetiväli vähendab laikude piirkonnas ioniseeritud gaasimasside liikumise kiirust, sellega ühtlasi takistab fotosfääri alt kuumema aine juurdevoolu laikudesse. Laikudega koos, ümbritsedes viimaseid, esinevad Päikesel nn. faklid — ulatuslikud heledad osad, mis on peamiselt nähtavad päikeseketta tumedamal äärel. Laikude ja faklite arv ning kuju on muutuv. Mõnedel aastatel on Päikese pind peaaegu puhas. Teadlased ütlevad siis, et Päikesel on aktiivsuse miinimum. Päikese aktiivsuse maksimumi aastatel aga ei möödu päevagi, millal Päikese pinnal ei esineks laike. Päikese aktiivsuse maksimumi ja miinimumi aastad korduvad keskmiselt iga 11 aasta tagant, üksikjuhtudel võib aga tsükli pikkus kõikuda 7—15 aastani. 1957/58. aasta aktiivsuse maksimumiga täitus 32. tsükkel, alates Päikese laikude avastamisest Galilei poolt 1610. aastal. On tähele pandud, et 11-aastast perioodi omavad ka mitmed teised nähtused Päikesel (protuberantsid, Päikese krooni kuju). 11-aastane periood on ka Päikese atmosfääri (kromosfääri) loidetel. Kromosfääriliste loidetena tuntakse üksikute päikeseketta piirkondade heleduse kiiret ja tugevat kasvu. Tavaliselt ilmuvad nad nähtavale laike ümbritsevate faklite piirkonnas, saavutavad paari minuti jooksul maksimumi ja kustuvad siis aeglaselt. Kõige tugevamad neist ei võta üle 1 tunni. Ilmselt on loidete korral tegemist gaaside kiire kuumenemisega Päikese pinnal. Nende täpsem tekkemehhanism ei ole aga meile praegu veel päris selge. Päikese aktiivsuse 11-aastane periood omab suurt tähtsust Maal toimuvatele füüsikalistele protsessidele atmosfääris. Päikese laikude arvu ja suuruse kasvamisel suureneb Päikeselt väljuvate osakeste, korpuskliite vool. Jõudes Maa atmosfääri kõrgematesse kihtidesse, põhjustavad korpuskliid virmalisi ja Maa magnetivälja häireid — magnetilisi tormi. Seega

---

<sup>1</sup> Gauss — magnetivälja tugevuse ühik.

omavad intensiivsed virmalised ja magnetilised tormid, nii nagu Päikese aktiivsuse maksimumidki, 11-aastast perioodi.

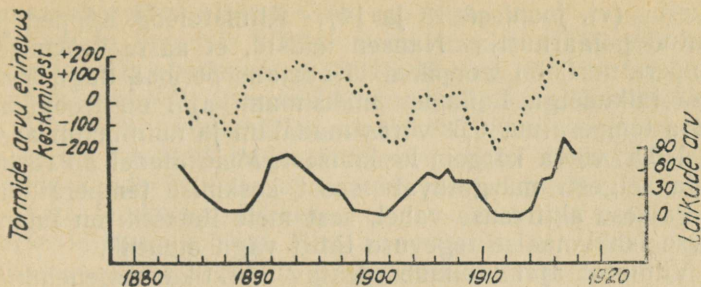
Kromosfääriliste loidetega kaasneb tavaliselt lühilainelise raadioside katkemine maakeral. Iga loide on võimsaks ultravioletse ja röntgenikiirguse allikaks. Maa atmosfääri ülemistes kihtides põhjustavad nad raadiolaineid peegeldava ionosfääri häireid. Harilikult raadioside katkeb paarikümneks minutiks. Kui nähtus on küllalt tugev, siis umbes ööpäev hiljem ilmuvad raadioside häired uuesti, nüüd aga hoopis kestvamalt, vältides mõnikord mitu päeva. Põhjuseks on asjaolu, et loited ei



Joon. 12. Päikese laikude ja Viktooria järve veeseisu perioodilised muutused (C. E. P. Brooksi järgi).

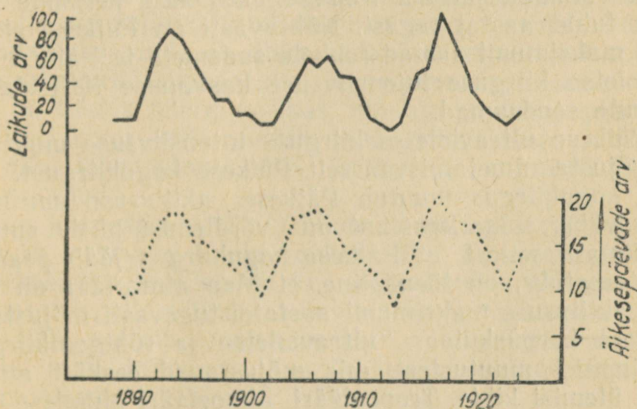
ole üksnes ultravioletse elektromagnetilise kiirguse allikaks, mis levib kiirusega 300 000 kilomeetrit sekundis ja jõuab mõne minuti pärast Maa atmosfääri, vaid ka korpusklite lähtekohaks. Korpusklite vool, mis koosneb aatomitest, ionidest ja elektronidest, omab kiirust ainult paar tuhat kilomeetrit sekundis ja jõuab maakeralle alles järgmisel päeval. Üks tugevamaid kromosfäärilisi loiteid esines 23. veebruaril 1956. a., millele kaasnesid kõik viimasele iseloomulikud nähtused: katkes raadioside, tugevnes Päikese radiokiirgus, kosmilise kiirguse intensiivsus mitmekordistus, järgnevatel päevadel esinesid väga tugevad virmalised.

Uurimused näitavad, et 11-aastast perioodi omavad



Joon. 13. Päikese laikude ja Kanadas esinenud tormide sageduse perioodilised muutused (E. Huntingtoni järgi).

ka mitmed ilmastikunähtused. Nii leiti, et Kaspia mere ja Viktooria järve veeseis on maksimaalne Päikese aktiivsuse maksimumi aastatel, minimaalne miinimumi aastatel (vt. joonis 12). Järved ja sisemered on looduslikud sademetemõõtjad, millede veeseis iseloomustab pikema aja jooksul esinenud sademete hulka. Kuigi meteoroloogiajaamade vaatlusandmete põhjal on raske avastada sademete hulga perioodilisi muutusi, võib järvede veeseisu järgi otsustada, et Päikese aktiivsuse maksimumi aastad on maakeral sademeterikkamad. Päikese aktiivsuse maksimumi aastatel esineb sagedamini torme ja



Joon. 14. Päikese laikude ja Siberis esinenud äikesepäevade sageduse perioodilised muutused (E. Septeri järgi).

äikest (vt. joonised 13 ja 14). Klimatoloog Köppen ja tuntud polaaruurija Nansen leidsid, et aasta keskmisel temperatuuril on troopikas 11-aastane periood nagu Päikese laikudelgi. Laikude maksimumi ajal on troopikas aasta temperatuur  $0,5^{\circ}$  võrra madalam ja miinimumi aastatel  $0,5^{\circ}$  võrra kõrgem keskmisest. Meie aladel on raske leida selgesti märgatavat seost keskmise temperatuuri ja Päikese aktiivsuse vahel, sest meie ilmastik on intensiivse tsüklonaalse tegevuse tõttu väga muutlik.

Viimasel ajal toimub teatav Arktika soojenemine. Aasta keskmised temperatuurid kasvavad, polaarjää taganeb. Nõukogude teadlase Eigensoni arvates on selle nähtuse põhjuseks Päikese aktiivsuse pikemaajaline muutumine. Senine lühike vaatlusrida ei võimalda veel Päikese aktiivsuse pikemaajaliste perioodide täpsemat uurimist, millest tõenäoliselt sõltuvad ilmastiku pikemad perioodilised muutused.

A. E. Douglass uuris Päikese aktiivsuse mõju taimekasvule. Mõõtes 5000 erineva puuliigi aastaringe, leidis ta, et mitmete puuliikide aastaringid omavad 11-aastast perioodi. Aktiivsuse maksimumi aastatel olid aastaringid paksemad. Eriti selgelt oli see märgatav Kalifornia mammutipuude ehk sekvoiade juures, millised kasvavad 100 meetri (üksikud isegi 140 m) kõrguseks ja millede tüve läbimõõt ulatub 15 meetrini. Omades soliidset, aastatuhandettesse küündivat vanust, oli nende puude tüvede järgi võimalik jälgida Päikese aktiivsuse perioode kuni paar tuhat aastat tagasi. Nähtavasti on Päikese aktiivsuse maksimumi aastad rohkete sademete ja Päikese ultravioletse kiirguse intensiivsuse kasvamise tõttu taimekasvule soodsamad.

Päikese ultravioletse kiirguse intensiivsuse muutused ei mõjusta nimetamisväärselt Päikese kogukiirgust. Päikese kogukiirgus muutub Päikese aktiivsuse muutumisega vähe, solaarkonstant on võrdlemisi püsiv suurus. Hoolimata sellest, et Päikese kogukiirgus jääb peaaegu muutumatuks, on tõenäoline, et Maa atmosfäär on Päikese aktiivsuse maksimumi aastatel tugevasti mõjustatud Päikese korpuskulaar-, ultravioletse ja röntgenikiirguse mõningaist muutustest, mis mõjustavad eeskätt atmosfääri ülemisi kihte. Troposfääri, atmosfääri alumisse ossa Päikese korpuskulaarne, ultravioletne ja röntgenikiirgus ei jõua, kuna nad neelduvad juba 60—70 km kõrgusel

asetsevates õhukihtides. Võib aga oletada, et atmosfääri ülemiste ja alumiste kihtide vahel toimub tsirkulatsioon, mille tagajärjel ülemistes õhukihtides neeldunud energia kandub osaliselt atmosfääri madalamatesse kihtidesse.

Alumistes õhukihtides toimuvad ilmastikunähtused on seega kaudselt mõjustatud atmosfääri ülemiste õhukihtide kaudu Päikese aktiivsuse protsessidest.

Meie teadmised Päikese ultravioletse ja korpuskulaarse kiirguse mõjust Maa atmosfäärile on veel mitteküllaldased. Me ei suuda praegu veel ammendavalt seletada Päikese aktiivsuse mõju ilmastikule. Puuduvad lõplikud kokkuvõtted III rahvusvahelise geofüüsika aasta tulemustest, mille programmis oli kesksel kohal Päikese aktiivsuse ja ilmastiku vaheliste seoste uurimine. Kahtlemata annavad Maa kunstlike kaaslaste ja rakettide abil teostatavad atmosfääri ülemiste õhukihtide ja päikese kiirguse uurimused edaspidi täpsema vastuse sellele ülihuvitavale küsimusele. Võib arvata, et tuleviku ilmateenistuses omandavad tähtsa koha kõrgemates õhukihtides regulaarselt teostatavad Päikese ultravioletse ja korpuskulaarse kiirguse mõõtmisandmed. Ilmaprognooside täpsus peaks sellega märgatavalt tõusma.

## 11. PÄIKE JA TAIMESTIK

**Fotosüntees.** Päikese kiirgusenergiata ei saaks maa-keral olla elu sellisel kujul nagu ta praegu esineb. Päikesoojendab maapinda ja õhku sedavõrd, et tekivad soodsad tingimused taimede elu- ja paljunemisprotsessideks. Päike on tohutu energiaallikas, mis aurustab maapinnalt miljoneid tonne vett; sunnib seda kõrgustesse tõusma ning pilvi moodustama, mis taimedele annavad vajalikke sademeid.

Koos juurestiku, varre, lehtede ja viljaga kaalub taim seemnest mitusada korda rohkem. Kui kuivatame roheline taimelehe ja põletame ta soojuskindlas anumal — kalorimeetris, siis selgub, et kuiva lehe iga gramm annab 3000—4000 kalorit soojusenergiat. Põlemisel vabaneb energia, mida taim ammutas Päikeselt oma organite ja vilja moodustamiseks.

Juurestiku abil hangib taim mullast vett ja teisi vajalikke toitaineid. Päikesekiirguse toimel lagundab rohe-

line leht vee vesinikuks ja hapnikuks. Hapnik eraldatakse õhku, vesinik aga ühineb õhust saadud süsihappegaasiga — moodustuvad orgaanilise aine koostisosad süsivesikud, tärklis ja suhkur. Seda protsessi nimetatakse fotosünteesiks, vahel ka süsihappegaasi sarnastamiseks ehk assimilatsiooniks. Suhkru iga gramm-molekuli (180 g) tekkimise reaktsioon nõuab energiakulu 674 kcal, mille taimed saavad päikesekiirtelt.

Maakera ajaloo algperioodil puudus Maa atmosfääris hapnik. Hapniku tekkimist atmosfääris seletab akadeemik Vernadski taimede elutegevusega, millised päikeseenergia abil lahutavad juurtega hangitud vee ja eraldavad õhku hapniku.

On teada, et kogu maakera elanikkond hingab välja aastas umbes 5000 miljardit kilogrammi süsihappegaasi. Öhu süsihappegaasisaldavus kahekordistuks selle tagajärjel 600 aasta jooksul. Kui taimed ei puhastaks õhku süsihappegaasist ega eraldaks hapnikku, siis oleks õhk lühikese ajaga hingamiseks kõlbmatu.

Ka taimedest toituvad loomad omandavad kaudselt taimede poolt kogutud ja säilitatud päikeseenergiat. Vaevalt mõtleb enamik inimesi söömisel, et nad teelikult täiendavad oma energiavarusid päikesekiirguse arvel. Pärast surma loom- ja taimorganismid lagunevad. Mikroobid töötavad nad ümber lihtsamateks aineteks, mis muutuvad pinnase ja öhu koostisosadeks. Looduses toimub pidev ainete ringkäik: süsinikust, lämmastikust, vesinikust, hapnikust, väävlist, fosforist ja teistest elementidest tekivad süsivesikud ja valgud, taime, looma ja inimese organismi olulised koostisosad. Pärast surma elusorganismid lagunevad. Looduses toimub ühtlasi ka elu ringkäik, sest lagunemisproduktid on taimede toiduvarudeks, mida Päike suunab uue elu ehitamiseks.

Valgus püütakse kinni taimerakkudes asetsevate pigmentide, peamiselt aga roheliste terakeste — klorofüllil abil. Valguse tugevuse kasvamisel orgaaniliste ainete moodustamine intensiivistub, kuid seda ainult valguse teatava intensiivsuseni. Väga tugev valgus, eriti, kui öhu temperatuur on kõrge, põhjustab klorofüllil lagunemist. Sellele võib järgneda taime hukkumine. Nõrgas valguses kulgeb aga fotosüntees väga aeglaselt.

Tuleb tähendada, et taimed ei kasuta oma organismi kudede ülesehitamiseks kaugeltki mitte kogu nende poolt

neelatud kiirgusenergiat. Kultuurtaimed, mis annavad kõrgeid saake, kasutavad fotosünteesi protsessis ainult 2—5% neelatud päikesekiirgusest. Ülejäänud neeldunud kiirgus kulub vee aurustamiseks taimeorganitest ja taimede soojendamiseks. Soojeneb ka taimedega kokkupuutuv õhk. Põllumajanduslike kultuuride saagikuse tõstmise huvides püüavad teadlased leida meetodeid, mis võimaldaksid taimedel paremini kiirgusenergiat ära kasutada. Püütakse tõsta fotosünteesi kasutegurit. Et leida selleks sobivaid meetodeid, tuleb eelkõige tundma õppida fotosünteesi iseärasusi. On vaja üksikasjaliselt uurida päikesekiirguse muundumist taimedes. See aga on väga keeruline ja varieeruv protsess, mis koos taimede aremise ja väliskeskkonna tingimuste muutusega omandab üha uusi külgi. Fotosünteesi peensustega tutvumine nõuab eelnevalt mitmete teadusharude kõrget taset. Peab olema kogunenud vajalik hulk teadmisi bioloogiast, keemiast ja füüsikast. Alljärgnevas puudutame mõningaid põhilisemaid nähtusi, millised omavad tähtsust peale taimefüsioloogia ka atmosfäärifüüsika seisukohalt.

**Milliseid kiiri eelistab taim.** Pikaajalises evolutsiooni-protsessis kujunes mäapealsetel taimedel välja selline valgust neelav pigmentidesüsteem, millele päikesevalguse spektraalne koostis on kõige kohasem. Fotosünteesi protsessis ei neela aga taimepigmentid kõiki päikesekiiri võrdselt. Millise lainepikkusega kiired on siis eelistatavamad? Sellele küsimusele saame vastuse, kui tutvume kiirguse peegeldumisega roheliselt taimelehel. See on keeruline protsess, sest lehele langenud kiirgus ei peegeldu mitte üksnes lehe välispinnalt. Lehte sisse tungides neeldub kiirgus osaliselt klorofüllis ja teistes pigmentides. Teine osa tungib lehest läbi. Ülejääk pöördub pärast lehes hajumist tagasi peegeldunud kiirgusena. Vaatamata sellele, et lehe paksus küünib vaevu ühe millimeetrini, on kiirguse peegeldumise, hajumise ja neeldumise protsessid lehes keerulisemad kui sadu meetreid sügavates ookeanides.

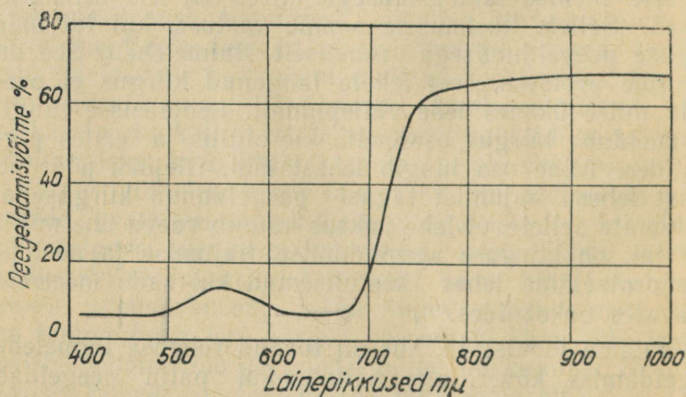
Vaatame joonist 15, kus on toodud rohelise taimelehe peegeldamise kõver, mis näitab, kui palju peegeldab roheline taimeleht erineva lainepikkusega (värviga) kiiri. Peegeldamiskõverate määramiseks kasutatakse spetsiaal-

seid aparate, mida nimetatakse spektrofotomeetriteks.

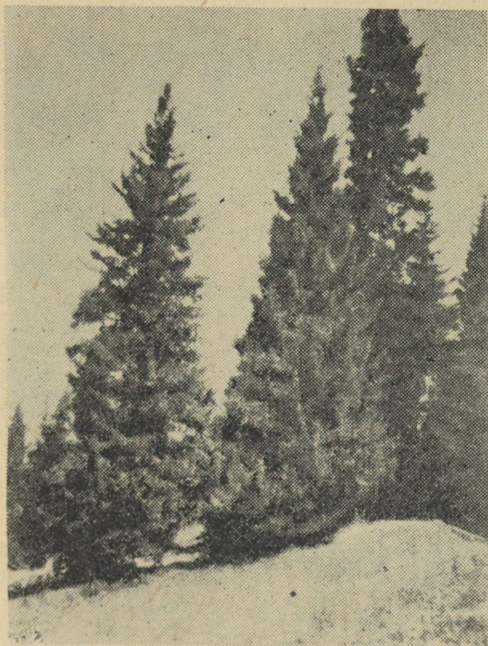
Ainult 5—6 protsenti peegeldab leht 660—690 m $\mu$  lainepikkusega punaseid kiiri. Väike peegeldumine viitab tugevale kiirguse neeldumisele selles lainepikkuste vahemikus. K. A. Timirjazev tõestas rohkearvuliste katsetega, et fotosünteesi protsess toimub eriti intensiivselt just spektri selles piirkonnas. Punaste kiirte neelajaks on klorofüll. Seepärast nimetatakse seda neelamise maksimumi (peegeldamise miinimumi) klorofüllil peaneelamise ribaks. Võrdlemisi vähe peegeldab roheline taim ka ultravioletseid ja siniseid kiiri, millede lainepikkused on vahemikus 350—500 m $\mu$ . Siniste kiirte neelajaks on klorofüll, osaliselt ka kollased pigmendid, karotinoidid. Siniste kiirte suhtes tundlikule fotoplaadile fotografeeritud taimed on tumedad (vt. joonis 16). Sinine taevas on aga fotol hele. Kui kasvatada taimi kiirguses, kus puuduvad violetsed ja sinised kiired, venivad taimed pikaks, jäädes sealjuures kiduraks.

Rohelise värvuse annab taimel peegeldumise maksimum rohelistes kiirtes, millede lainepikkused on 520—580 m $\mu$ . Rohelisi kiiri peegeldavad erinevad taimed 10—25 protsenti; helerohelised rohkem, tumerohelised vähem.

Erakordselt palju peegeldavad taimed tumepunaseid ja infrapunaseid kiiri, milliseid ei kasutata fotosünteesi



Joon. 15. Rohelise taimel (kaseleht) spektraalse peegeldamise kõver.



Joon. 16. Siniste kiirte suhtes tundlikule fotoplaadile fotografeeritud kuused (G. A. Tihhovi järgi).

protsessis. Nagu jooniselt 15 nähtub, ulatub peegeldumine tumepunaste kiirte korral 40—65 protsendini, üksikutel kõrbetaimedel isegi 70% ja rohkem. Selles võib veenduda, kui vaatame kuuske, mis on fotografeeritud infrapunaste kiirte suhtes tundlikule fotoplaadile (joonis 17). Kuusk on niivõrd hele, et näib, nagu oleks ta kaetud värske lumevaibaga. Punaste kiirte poolest vaene taevast on fotol tume. Lugejal tekib nüüd kindlasti õigustatud küsimus: miks on taimed rohelised, kuigi nad tumepunasteid ja infrapunaseid kiiri mitu korda rohkem peegeldavad kui rohelisi?

**Miks taimed on rohelised?** Teatavasti määrab esemete värvuse nendelt peegeldunud valgus. Nii on rukkililled



Joon. 17. Punaste kiirte suhtes tundlikule  
fotoplaadile fotografeeritud kuused  
(G. A. Tihhovi järgi).

sinised, kuna nad võrreldes teiste kiirtega peegeldavad suhteliselt rohkem siniseid kiiri. Võililled näivad kollaseina seepärast, et peegeldavad tugevasti kollaseid ja oranže kiiri. Roheline taim peegeldab hästi rohelist, veel enam aga tumepunaseid ja infrapunaseid kiiri, kuid ometi ei ole ta punane.

Suur on tumepunase ja infrapunase kiirguse ülekaal tiheda taimkatte, eriti aga lehtpuumetsa all, sest metsa alla jõuab päikesekiirgus pärast mitmekordset peegeldumist puude lehtedelt. Sellest hoolimata ei ole ka metsaalune valgus sugugi punane. Selles on «süüdi» inimese silma ehitus ja omadused. Inimese silm on roheliste kiirte suhtes palju vastuvõtlikum kui tumepunaste suhtes.

Infrapunastele kiirtele ei reageeri aga inimese silm üldse, neid me ei näe. Kui inimese silm oleks võrdset tundlik kõikide värvuste suhtes, näiksid taimed meile tõesti punastena, samuti oleks metsaalune valgustus punane.

**Miks taimed peegeldavad palju tumepunaseid ja infrapunaseid kiiri?** Igapäevasest kogemusest teame, et päikesekiired avaldavad soojuslikku toimet. Eriti suured soojuskandjad on Päikese infrapunased kiired. Inimesele nähtavatest kiirtest on kõige suurema soojusliku toimega tumepunased, siis punased, oranžid, kollased ja rohelised. Kõige «külmemad» on sinised ja violetsed kiired. Suvel, õhu kõrge temperatuuri ja intensiivse päikesekiirguse korral võivad tumepunased ja infrapunased kiired põhjustada taimede liigset kuumenemist. Liigse kuumenemise tõttu hakkab taimedes leiduv vesi aurustuma. Suur veekadu aurumisel võib kaasa tuua taime närbumise. Püüdes sellistest ebameeldivustest vabaneda, hakkab taim intensiivselt peegeldama tugeva soojusliku toimega tumepunaseid ja infrapunaseid kiiri. Kõrbetaimed peegeldavad infrapunaseid kiiri palju rohkem kui soodsamates tingimustes kasvavad taimed. Jahedamas kliimas peegeldatakse tumepunaseid ja infrapunaseid kiiri vähem kui palava kliimaga kohtades, sügisel ja talvel vähem kui suvel. See nähtus omab suurt tähtsust ka atmosfäärifüüsika seisukohalt. Väliskeskkonna tingimused, maapinna- ja õhutemperatuur, niiskus ja päikesekiirguse intensiivsus põhjustavad taimedes bioloogilisi protsesse, millele kaasneb taimede peegeldamisvõime muutus. Taimede peegeldamisvõime muutus, mis kajastub taimkatte albeedo muutumises, toob aga automaatselt kaasa taimkattega pinna kiirgusbilansi muutumise. Nii näeme, et atmosfääri füüsikalised nähtused mõjustavad bioloogilisi protsesse taimedes. Need omakorda toovad kaasa atmosfääri füüsikaliste nähtuste muutuse. Konkreetset juhul põhjustasid nad kiirgusbilansi muutuse. Seega atmosfääri füüsikaliste nähtuste uurimisel ei või ignoreerida taimedes toimuvaid füsioloogilisi protsesse. Loodust tuleb uurida komplekselt, ilma ühtegi asjaolu silmapaari vahele jätmata.

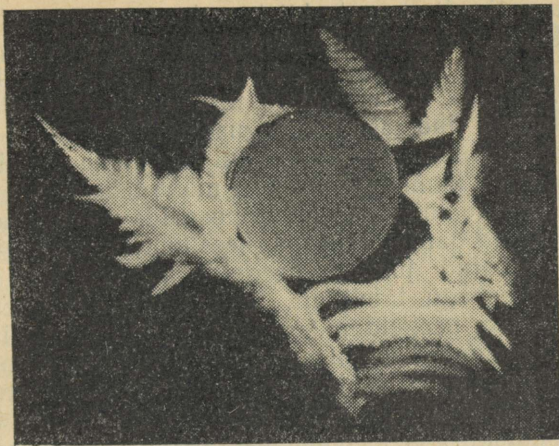
**Kiirguse nõrgenemine taimkattes.** Taimkatte kiirgusrežiimi tundmaõppimisel pakub kiirguse peegeldumise küsimuste kõrval suurt huvi kiirguse nõrgenemine taimkatte mitmesugustes vormides. Taimkatte alla jõudnud

kiirgusest sõltub maapinna temperatuur ja niiskus, samuti soojushulk, mis suundub pinnase sügavamatesse kihtidesse.

Taimkatet võiksime ette kujutada maapinna kohal asetseva «atmosfäärina», mis koosneb lehtedest, vartest, õitest ja taimede teistest osadest. Jutumärkidesse paigutatud atmosfääri moodustavad niisiis hoopis suuremõõtmelised ja ebahürtlase struktuuriga komponendid. Ka siin toimub kiirguse hajumine ja neeldumine nagu maakera ümbritsevas tõelises atmosfääris. Nende protsesside iseloom aga erineb õhkkonnas toimuvatest nähtustest. Kui taimkate on hõre, jõuab maapinnale valdav osa summaarsest kiirgusest. Nii on see taimede kasvu algstadiumis. Näiteks kui külvata maisi ruutpesiti 60 cm vahega, igasse pesasse 6—7 taime, siis maapinnale 40—45 cm kõrguse maisi alla jõuab 90—95% kiirgusest.

Suurem osa kiiri hajub ja neeldub tihedas taimkattes. Peegeldudes lehelt lehele või läbistades osaliselt lehti, jõuab maapinnale ainult murdosa summaarsest kiirgusest. Ainult üksikud Päikese otsesed kiired leiavad lehtede tihnikust pilusid, kustkaudu neile avaneb vaba tee maapinnale. Siin moodustavad nad valguse «saarekesi», millede kuju vormivad tuules värelevad taimed ja taevaalaotusel hommikust õhtusse kulgev Päike. «Valgussaarekesed» suurenevad keskpäeval, millal päikesekiirte teekond taimkattes on lühem ning maapinnale jõuab protsentuaalselt rohkem kiirgust kui hommikul ja õhtul. Väga tiheda metsa all on päev lühem kui avamaal, sest päikesekiired ei suuda sinna tungida mitu tundi pärast Päikese tõusu ja enne Päikese loojangut.

Eelpool kirjeldatud külviviisi puhul moodustab tiheda, 170 cm kõrguse maisi alla tunginud kiirgus vaid 10—12% taimede ülemistele osadele langenud summaarsest kiirgusest. Valmivat rukist läbistab ligikaudu 20%, kartuli ja maapirni alla jõuab aga ainult 10% kiirgust. Metsaaluse kiirguse intensiivsus oleneb metsa kõrgusest, puude arvust pinnaühikul ja puistu täiusest. Hõreda metsa alla võib jõuda kuni 50% päikesekiiri, tihedas metsas on aga kiirgus üle 10 korra nõrgem kui lagendikul. Fotosünteesiks vajalikku nähtavat, ehk nn. füsioloogiliselt aktiivset kiirgust on tiheda taimkatte all veel vähem. Taimkate on nagu filter, mis neelab maapinnale langevat kiirgust. Taimkatte alla jõudnud kiirgus on juba «läbi töötatud»,



Joon. 18. Fluorestseeruv sõnajalataim, keskel kipsplaat (G. A. Tihhovi järgi).

taimede elutegevuseks vajalikud kiired on suuremalt jaolt ära neelatud. Lehed peegeldavad ja lasevad hästi läbi tumepunaseid ja infrapunaseid kiiri, mistõttu domineerivadki viimased taimkatte all. Enamik taimi aga ei kasuta neid fotosünteesi protsessis. Loomulikult kasvab pimedas metsaaluses kasinates kiirgustingimustes väga hõre ja kidur taimestik. Metsas käib puude vahel pingeline võitlus. Noolsirgeina sirutuvad nad kõrgemale, püüdes üksteisest päikesekiirte pärast peetavas võidujooksus ette jõuda. Mahajääjad peavad aga halvima vältimiseks kohanema valguse nõrgema intensiivsuse ja ebasoodsama spektraalse koostisega.

**Taimede fluorestsentskiirgus.** Kasahhi teadlane Dartsija tegi järgmise katse. Ta võttis ilma põhjata kasti ja asetas selle alla sõnajalataimed. Kasti kaas asendati valgusfiltoriga, mis neelas tumepunaseid ja infrapunaseid kiiri. Sõnajalataimedele langevas päikesekiirguses puudusid seega punased ja infrapunased kiired. Kasti asetati suure valgusjõulise objektiiviga fotoaparaat, mille objektiivile pandi punane valgusfilter. Kasti, taime kõrvale, asetati ka valge kipsplaat. Tehti ülesvõtte ja mis selgus? Vaatamata sellele, et päikesekiired ei saanud langeda

fotoaparaati, oli punaste kiirte suhtes tundlikul fotoplaadil tekkinud taime kujutis. Kipsplaat oli aga vaevalt nähtav ja sedagi sõnajalataimelt tulnud valguses. Punased ja infrapunased kiired võisid fotoplaadile sattuda ainult tänu taimede fluorestsentskiirgusele.

Üllatava tulemuse saame, kui mõõdame näiteks kure- reha, pujengi, kannikese või veel mõne teise taime punaste kiirte peegeldamist: taimed peegeldavad rohkem kui täiesti valged bariidist ja magneesiumist valmistatud pinnad. Nimetatud pinnad peegeldavad nendele langeva kiirguse peaaegu täielikult. Sellest järeldame, et antud taimed, lisaks peegeldamisele, kiirgavad päikesekiirte toimel ka ise punast ja infrapunast kiirgust — fluorestseeruvad. Edaspidised uurimused näitasid veel huvitavaid asjaolusid. Nii selgus, et temperatuuri tõustes taimede fluorestsentskiirgus kasvab. Nähtavasti fluorestseerumine aitab taimedel vabaneda liigsest soojusest. Selgub, et palavas kliimas on taimedel ülekuumenemise vastu kaks abinõu, peegeldamine ning fluorestseerumine.

**Jäälused taimede kasvulavad.** Kuigi taimed kiirgavad, fluorestseeruvad, kõige rohkem kõrge õhutemperatuuri korral, ei lakka fluorestsents isegi —40° temperatuuri juures. On vaevalt usutav, et karmi pakasega sooviksid taimed infrapunasest kiirgusest vabaneda. Hoopis tõenäolisem on oletada, et fluorestsentsnähtusel on taimede elus veel mõni teine ülesanne.

Kiirates infrapunaseid kiiri, soojendavad taimed ümbritsevat õhku. Ekspeditsioonil Tjan-Sani kõrgmäestikku (a. 1931—1932) avastas prof. Tihhov jää all taimestikuga kaetud alasid. Peaaegu meetripaksuse jääkihi all, 400 ruutmeetri suurusel maa-alal, kasvasid ja õitsesid alpi taimed. Taimed olid jää sulatanud enese kohal kuplikujuliseks, mis, koondades päikesekiiri, kaitses taimi külma eest. Taimed ehitasid infrapunase kiirguse abil endale ise kasvulava. Lumikellukesed kasutavad fluorestsentskiirgust lume sulatamiseks ja lume alt väljumiseks.

**Kas Marsil on taimestik?** Mis võiks sellel küsimusel olla ühist eelpool kirjeldatuga? Küsimusega üksikasjaliselt tutvudes selgub, et Marsi taimestiku probleemi ei saa lahendada ilma maapealse taimestiku omaduste tundmiseta.

Möödunud sajandil avastati Marsi pinnal sinirohekaid laike, mida astronoom Proctori poolt hakati nimetama

«meredeks». Mõni aeg hiljem (1877. a.) leidis itaalia astronoom G. Schiaparelli, et Marsi pind on kaetud tumedate, kitsaste ja sirgete viirgude võrguga, millised ühendavad Marsi «meresid» üksteisega. Neid viirge hakati nimetama «kanaliteks». Kanalite olemuse suhtes tekkis teadlaste vahel lahkarvamusi. Mitmetel astronoomidel ei õnnestunud «kanaleid» isegi võimsate pikksilmadega vaadelda, seepärast pidasid nad «kanalite» nägemist lihtsalt optiliseks illusiooniks. Mõned teadlased aga läksid teise äärmusse, pidades «kanaleid» Marsil elavate, kõrgelt arenenud intelligentsiga olevuste kätetöök, kes kanalitevõrgu on ehitanud kõrbealade niisutamiseks. Hilisemad vaatlused kinnitasid «kanalite» olemasolu, kuid vähesed pidasid neid veel Marsi elanike poolt loodud niisutusüsteemiks. Professor Tihhovil õnnestus 1909. a. Pulkovo observatooriumis saada rida õnnestunud ülesvõtteid Marsist. Fotod näitasid, et nii nagu «meredki», on «kanalid» roheka värvusega. «Merede» ja «kanalite» värvus muutub aastaegade vahetumisel, nii nagu oleksid nad kaetud taimestikuga.

Marsi taimkatte olemasolu küsimuse lahendamiseks tuleb Marsi pinda fotografeerida, määrata Marsi «kanalite» ja «merede» peegeldamisspektrid. Kui Marsi peegeldamisspekter sarnaneb maapealsete taimede peegeldamisspektrile, siis on taimestiku olemasolu Marsil tõestatud. Seepärast püüdis prof. Tihhov juba 40 aastat tagasi Marsi peegeldamisspektris klorofüllil neelamisriba leida, kuid see ei õnnestunud tal. Ka teistel uurijatel ebaõnnestusid katsed leida Marsil klorofüllil peaneelamisriba. Pärast seda, kui selgus, et Marsi peegeldamisspektris puudub ka rohelistele taimedele omane tumepunaste ja infrapunaste kiirte tugev peegeldumine, arvas enamik uurijaid, et Marsil puudub taimkate. See mõte leidis väga palju pooldajaid, kuna erinevalt maapealsest taimkattest ei olnud Marsi «mered» ja «kanalid» rohelised, vaid hoopiski sinakad või sinakasrohelised. Kuid prof. Tihhov ei loobunud aastakümnete jooksul uurimast Marsi taimestikuga seotud küsimusi. Nii jõudis ta 1945. a. mõttele, kas ei ole asjaolu, et Marsi pind väga vähe peegeldab infrapunaseid kiiri, tingitud Marsi karmist kliimast, kus taimed eneste soojendamiseks neelavad väga palju Päikese infrapunaseid kiiri. Selle idee kinnitamiseks uuris prof. Tihhov maapealsete taimede peegeldamisspektreid,

võrdles soojas kliimas kasvavate taimede peegeldamisspektreid karmi kliimaga aladel kasvavate taimede spektriga. Osutus, et karmides ilmastikutingimustes kasvavad taimed peegeldavad infrapunaseid kiiri palju vähem kui soojades ilmastikutingimustes kasvavad taimed. Nii näiteks polaarpiirkonnas kasvavad okaspuud peegeldavad talvel infrapunaseid kiiri kolm korda vähem kui lõunapoolsetes rajoonides kasvavad kased.

Miks Marsi peegeldamisspektris puudub klorofüllil peaneelamisriba? Prof. Tihhovi arvates on selles järjekordselt «süüdi» Marsil valitsev karm kliima. Kui soojades maakohtades piisab fotosünteesi protsessiks päikeseenergiast, mida taim neelab mõnes väikese ulatusega spektripiirkonnas, siis Marsi karmides ilmastikutingimustes sellest ei piisa. Taim peab elutegevuseks neelama kogu päikesespektri punases osas olevad kiired. Seetõttu klorofüllil peaneelamisriba laieneb ja muutub meile märkamatuks.

Kasahhi NSV Teaduste Akadeemia poolt 1948. a. Obi jõe suudmesse korraldatud ekspeditsiooni poolt tehti kindlaks, et tõepoolest puudub seal kasvavatel karjala kaske del klorofüllil peaneelamisriba. Selgus veel üks prof. Tihhovi ideed kinnitav asjaolu: kui määrati Alma-Ata lähedal kasvava tjan-šani kuuse peegeldamisspektrit  $+2^{\circ}$  temperatuuri juures, oli klorofüllil peaneelamisriba selgesti nähtav. Nädal aega hiljem aga  $-6^{\circ}$  temperatuuri juures ei olnud klorofüllil peaneelamisriba enam märgata — taim oli väga kiiresti kohanenud õhutemperatuuri langusega.

Kuna karmis kliimas kasvavad taimed peegeldavad väga vähe punaseid, oranže, kollaseid ja rohelisi kiiri, siis taime värvuse kujunemisel omandab siniste ja violetsete kiirte peegeldamine suurema kaalu. Karmis kliimas kasvavad taimed ei ole seetõttu sageli rohelised, vaid hoopiski helesinised, sinised või violetsed. Nii laiub Pamiiri mäestikus järve meenutav sinise taimestikuga Alai org. Selle taustal ei ole eriliseks mõistatuseks ka Marsi «kanalite» ja «merede» sinakasroheline värvus.

Kokkuvõttes võime öelda, et kuigi pole tõendeid kõrgele arenenud tehnikaga elanike olemasolu kohta Marsil, on meil üsna palju alust arvata, et Marsil taimkate eksisteerib. Vaatamata karmile kliimale, mis valitseb Marsil, võib oletada ka loomse elu eksisteerimist, mis miljonite

aastate jooksul on kohanenud Marsi karmi ja kuiva kliimaga. Lõpliku vastuse sellele huvitavale küsimusele saame siis, kui tänapäeva raketitehnika hoogne areng võimaldab juba planeetidevahelisi lende.

Marsi taimestiku küsimusega tegelevad intensiivselt Kasahstani teadlased. Tänu neile on kujunemas uus teadusharu — astrobioloogia. Uurides taimestiku esinemise võimalusi Marsil, on astrobioloogid andnud väga palju huvitavat lisa teadmistele meie eluaseme, Maa taimeriigi kohta.

## 12. PÄIKESE KIIRGUSENERGIA TEHNILINE RAKENDAMINE

Kui kasutada ainult 1% päikesekiirgusest, mis langeb aasta jooksul kasutult Sahaara kõrbe, saaksime energia hulga, mis ületaks 10-kordselt terve maakera energiavajaduse. Päikeseenergia rakendamine tuleb aga kõne alla peaaesjalikult aastaringiselt päikesepaistelistes rajoonides. Nõukogude Liidu territooriumil rakendatakse päikeseenergiat eeskätt Kesk-Aasia vabariikides, kus selgete päevade arv küünib aastas 200-ni. Kui loeme Taškendi summaarse kiirguse aastaväärtuse ( $135 \text{ kcal/cm}^2$ ) tüüpiliseks Nõukogude Liidu lõunapoolsete rajoonide jaoks, siis näitab väike arvutus, et igale ruutmeetrile langeb seal juba ligikaudu 1,4 miljonit kilokalorit kiirgusenergiat aastas. Niisama suure soojushulga saamiseks peame põletama 180—200 kg kõrgekvaliteedilist kivisütt. Tänapäeval on Päikese kiirguseenergia rakendamiseks kogunenud juba aukartustäratav hulk igasuguseid meetodeid ja ideid. Iga päevaga leiavad need üha laiemat praktilist kasutamist. Laiaulatusliku materjali tõttu ei ole võimalik nendega käesolevas brošüüris üksikasjaliselt tutvuda. Allpool vaatleme ainult mõningaid huvitavamaid ja lihtsamaid, seni kõige rohkem kasutamist leidnud päikeseenergia tehnilisi rakendusi.

**Kõrgete temperatuuride saamine.** Esimeseks Päikese kiirguseenergia kasutajaks kõrgete temperatuuride saamisel peetakse antiikaja õpetlast Arhimedest, kes legendi järgi olevat 215. a. e. m. a. süüdanud päikesekiirte abil põlema Rooma laevastiku, mis piiras Sürakuusa linna Sitsiilia saarel. Arhimedese nõuande kohaselt läksid päikesepaistelisel päeval linna müüridele kõik Sürakuusa

naised ja lapsed, kes oma peeglitega suunasid päikese kiirte vihud vaenlase laevadele. Koondatuna ühte punkti, süütasid rohkearvuliste peeglite kiirtevihud üksteise järel põlema kõik vaenlase laevad. Selle legendi tõepärasuse kontrollimiseks ehitas Buffon 1767. a. Prantsusmaal nõguspeegli, mis koosnes 360-st  $16 \times 22$  cm suurusest tasapeeglist. Buffonil õnnestus 65 meetri kauguselt põlema süüdata puuvirn ja koguni sulatada mõningaid metalle. Möödunud sajandi 90-ndatel aastatel saavutas Moskva Ülikooli professor Tšerkasski nõguspeegli fookuses juba temperatuuri tõusu  $3500^{\circ}\text{C}$ . Tänapäeval konstrueeritakse nõguspeeglid selliselt, et nad koondaksid päikesekiired võimalikult väikesele alale. Kuna suurte nõguspeeglite valmistamine klaasist või alumiiniumist on seotud raskustega, ehitatakse nad liitpeeglitena, väikestest peeglitest koosnevadena. Suure eduga rakendatakse siin Arhimedese ja Buffoni ideed, mille kohaselt paljude tasapeeglite kiirtevihud koondatakse väikesele pindalale. Kui iga elementaarpeegli mõõtmed on väikesed ja nende arv väga suur, võib liitpeegli fookuses temperatuur tõusta üsna kõrgele. Arhimedese ja Buffoni ideid on mõnevõrra täiendatud: üksikud elementaarpeeglid valmistatakse samuti väikese nõgususega. Sel viisil on võimalik veelgi suurendada päikeseenergia koondumist fookusesse. Nii koondab 3500 nõguspeeglist koosnev liitpeegel fookusesse sama suure energia kui 20 000 tasapeeglist koosnev liitpeegel. Sellise hiigelpielli fookuses tõuseb temperatuur 3—4 tuhande kraadini.

Peegelseadeldiste puuduseks on nende suured mõõtmed ja kallis hind. Nii näiteks 40 kW võimsuse saamiseks (päikeseapaistelistel maadel) peab peegli läbimõõt olema 15 meetrit. Selliste peeglite valmistamine on tülikas ja seotud suurte kuludega. Teiseks peegelseadeldiste puuduseks on asjaolu, et kõrge temperatuuri kasutamiseks on tarvis uut seadeldist, näit. aurumasinat, mis soojusenergia mehaaniliseks energiaks muudaks. Peegelseadeldistega jõujaama kasuteguri määrab seega põhiliselt lisaseadeldise kasutegur.

Peegelseadeldised leiavad otstarbekat kasutamist mitmesuguste katsete juures, kus vajatakse kõrgeid temperatuure.

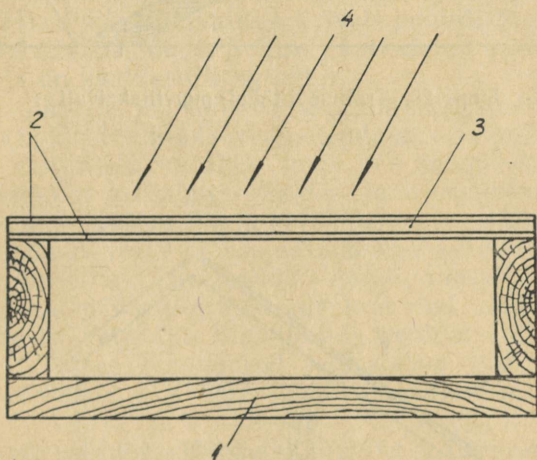
Vastupidi elektrilistele kõrgete temperatuuride saamise meetoditele on päikeseenergia abil võimalik läbi viia kat-

seid, ilma et kõrgeid temperatuure tekitav seadeldis annaks segavaid magnetilisi ja elektrilisi häireid. Päikeseenergia kasutamisel ei teki põlemisprodukte, mis on paratamatud sulatamisahjudes.

Päeva jooksul Päikese asend ja kõrgus muutuvad, seepärast varustatakse peeglid mehhanismiga, mis automaatselt suunab peegli Päikesele. Päikeseenergia abil töötavate seadeldiste üldiseks puuduseks on asjaolu, et neid ei ole võimalik pärast Päikese loojumist kasutada.

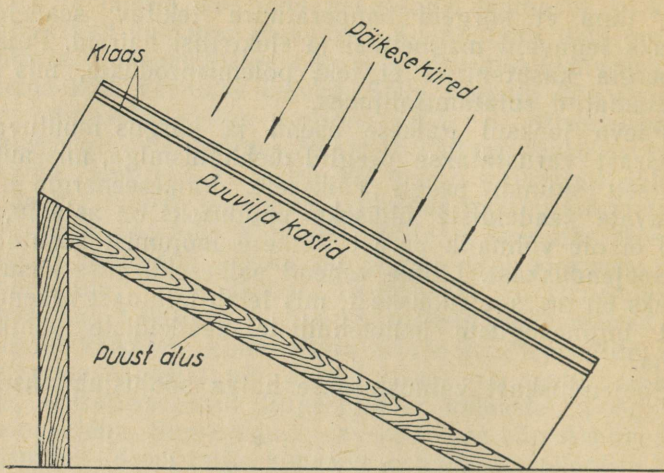
**Soojenduskast.** Lihtne vahend päikesekiirguse kasutamiseks on nn. soojenduskast, mis leiab laialdast rakendamist mitmesuguste heliotehniliste seadeldiste põhilise osana.

Soojenduskast valmistatakse halva soojusjuhtivusega

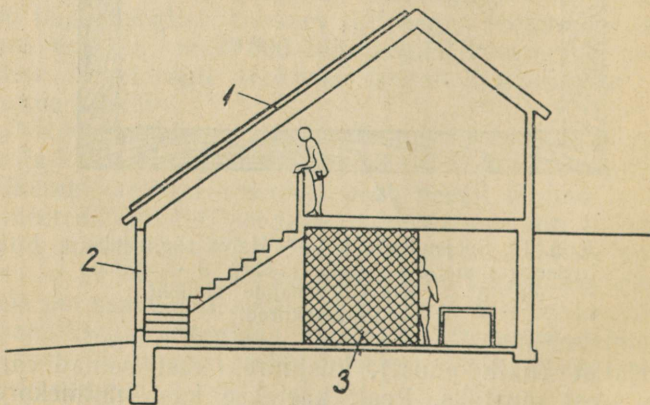


Joon. 19. Soojenduskast. 1 — Halva soojusjuhtivusega materjalist (puust) kast. 2 — Klaasid. 3 — Klaasidevaheline õhukiht. 4 — Päikesekiired.

materjalist (näit. puust), kusjuures kasti seinad värvitakse seest mustaks. Pealt kaetakse kast mitmekordse aknaklaasist kattega. Aknaklaasil on omadus hästi läbi lasta päikesekiirgust ja neelata pikalainelist soojuskiirgust. Kui asetame kasti Päikese kätte, tungib päikesekiirgus klaasist vabalt läbi, neeldub kasti mustades seintes ja muundub soojuseks. Soojuse väljapääs kastist on takis-



Joon. 20. Trofimovi-tüüpi puuviljakuivati.



Joon. 21. Päikeseenergia abil köetava elamu skeem. 1 — Soojenduskast. 2 — Aken. 3 — Soojuse akumulaator. Soojenduskastile antakse kalle, mis on kõige sobivam talvelukorrale. Maja on soovitatav ehitada lõunapoolsetele mäenõlvakutele.

tatud, sest kasti seinad ja õhukiht klaaside vahel on halvavad soojusjuhid. Soojust ei pääse nimetamisväärselt välja kastist ka soojuskiirgusena, mida neelab klaas. Kuna kast on hästi isoleeritud ümbritsevast õhust, ei pääse maksvusele välisõhu voolude ja tuule jahutav mõju. Soojenduskastis võib temperatuur tõusta kuni 200° C. Soojenduskastis toimuvat nähet nimetatakse lavaefektiks, kuna seda kasutati aednike poolt juba ammu taimede kasvulavades soodsamate kasvutingimuste loomiseks taimedele. Tuleb silmas pidada, et soojenduskasti ja taimede kasvulavade aknad hoitakse puhtaina. Vastasel korral nõrgeneb kasti või lavasse tungiv päikesekiirgus ja me ei saavuta kastis või lavas küllaldast temperatuuri tõusu. Lavaefekti põhimõttel töötavad nõukogude helio-tehnika Trofimovi poolt konstrueeritud puuviljakuiivad (joonis 21). Päikesekuiivatites kuivab puuvili 2—4 korda kiiremini kui vabas õhus. Selliselt kuivatatud puuvili jääb puhtaks ja on kvaliteedilt parem.

Väga lihtsalt ja väikeste jõukulutustega võib Trofimovi idee järgi ehitada veesoojendaja, mis on mõeldud taimede kastmiseks vajaliku sooja vee saamiseks. Aedadesse kaevatud madalates tiikides ja veehoidlates kaetakse veepind õhukese õlikihiga. Õlikiht vähendab soojuse väljakiirgamist veest ja soojuskadu vee aurumisel. Tiigi põhi on soovitatav asfalteerida. Asfalt neelab tugevasti tiiki langevat päikesekiirgust ega lase veel maasse nõrguda. Puhast vett võib tiiki juhtida vooliku abil pumba-kaevust. Viimase puudumisel kaevatakse tiigi kõrvale väike kaevukene, mis toru kaudu ühendatakse soojavee tiigiga.

**Hoonete kütmine.** Hoonete kütmine päikeseenergiaga on lihtsaim viis vahetuks päikeseenergia kasutamiseks, kuna selleks on vaja suhteliselt väikest temperatuuri tõstmist.

Maja katusele asetatakse soojenduskast (joonis 21). Ventilaatorite abil pumbatakse õhk läbi soojenduskasti, soojenenud õhk aga suunatakse torude kaudu elutubadesse. Kui elutubade temperatuur on saavutanud normaalse taseme, lülitatakse õhuvool ringi ning ta suundub soojuse akumulaatorisse, mis säilitab soojuse paariks lähemaks päevaks. Öösel ja pilves päevadel toimub tubade soojendamine akumulaatorist saadud sooja õhu abil. Kui ka akumulaatori soojusvarud lõpevad, kasutatakse täien-

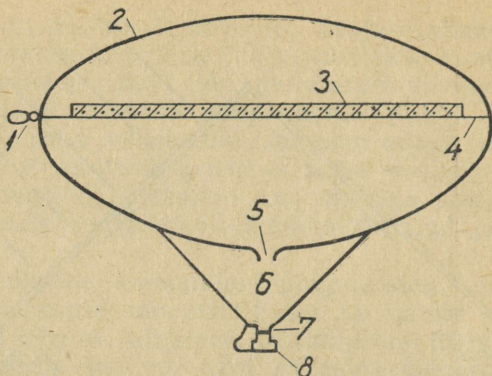
davalt kas gaasi- või elektrikütet. Soojuse akumulaatoritena kasutatakse kive. Soe õhk pumbatakse konteinerisse paigutatud kivide vahelt läbi, mille arvel viimased soojenevad. Seejärel suundub jahtunud õhk jällegi soojendajasse, kust pärast soojenemist suundub uuesti akumulaatorisse. Halva soojusjuhtivuse ja suure soojusmahtuvuse tõttu säilitavad kivid saadud soojuse üsna pikaks ajaks. Kogu seadeldis on täielikult automatiseeritud ja ei vaja juhtimist.

Lõunapoolsetes rajoonides paigutatakse elumajade katustele veepaagid, mis rahuldavad ka elanike sooja vee tarviduse. Trofimovi algatusel töötab alates 1932. aastast Taškendis saun, kus soe vesi saadakse katusel asuvast päikeseenergia abil «kõetavast» soojendajast.

**Toidu valmistamine.** Toidu valmistamiseks päikesekiirguse abil kasutatakse nõguspeegleid, mis koondavad päikesekiired nõguspeegli fookusesse paigutatud soojenduskastile, mis ühtlasi on toidunõuks. Ühe esimese päikeseenergia abil töötava köögi ehitas astronoom Abbot juba käesoleva sajandi algul Ameerikas, Mount Wilsoni observatooriumisse. Mäe tipul, tihedast pilvkattest kõrgemale jäävas observatooriumis on ilm iga päev päikesepaisteline, mistõttu sellises köögis võib alati toitu valmistada. Meil aga ei ole päikeseenergia abil töötava köögiga vähemalt talvel midagi peale hakata. Isegi suvel võib selline köök meie perenaiste närvid proovile panna, sest toiduvalmistamine katkeb niipea, kui Päike ajutiselt pilve taha peitub. Laialt on päikesekiirguse abil töötavad köögid levinud Indias.

**Mageda vee saamine.** Kalifornia on põhiliselt poolkõrbeline maa-ala. Ohutemperatuur küünib seal 50 kraadini. Peale selle on õhk äärmiselt kuiv. Põllud kannatavad niiskuse puuduse all. Puudust mageda vee järele tuntakse kõikjal. Seepärast tehakse siin katseid mageda vee saamiseks soolase merevee destilleerimise teel. Soolane merevesi paigutatakse suurte mõõtmetega soojenduskastidesse (joonis 22). Soojenduskastides hoitakse õhuke veekiht, mida pidevalt täiendatakse. Päikesekiired, läbides klaaskatuse, aurustavad vett. Osa veeauru sadestub klaasi jahedale sisepinnale ning muutub nüüd juba magedaks veeks. Mage vesi voolab mööda klaasi sisekülge vastavatesse rennidesse ja sealt mageda vee reservuaaridesse. Samal põhimõttel töötavad Nõu-





Joon. 23. Meremeeste veemagendaja (M. Telkesi järgi). 1 — Nöörist aas. 2 — Läbipais-  
tev plastmassist kest. 3 — Must poorne  
käs. 4 — Kinnituslint. 5 — Ventii. 6 —  
Mageda vee reservuaar. 7 — Veekraan.  
8 — Kork.

kraani avamisel on võimalik seda välja kallata. Käsnaale jäänud sool eemaldatakse õhtul.

**Soola tootmine.** Päikesekiirgust kasutatakse ka soola tootmiseks mereveest. Päikesekiired aurustavad vee, sool aga jääb järele. Seda võtet soola saamiseks tunti juba paar tuhat aastat tagasi Hiinas. Vanas Egiptuses, Kreekas ja Roomas saadi sel teel keedusoola, mis oli tol ajal tähtsaks kaubavahetuse produktiks.

Tänapäeval toodetakse soola mereveest mõnevõrra vähem, kuna kivisoolakaevandustes on soola saamine ökonoomsem. Kuid ka praegu ei ole päikeseenergia kasutamine soola tootmisel mereveest kaotanud oma tähtsust. Nii toodetakse päikeseenergia abil Indias umbes 1,5 miljonit tonni, Ameerikas 1 miljon tonni soola aastas. Viimasel ajal on huvi tõusnud ka mitmete teiste keemiliste ainete tootmise vastu päikeseenergia abil. Näiteks Iisraelis, Surnumere ääres, kasutavad potasevabrikud soolasest veest naatriumi-, kaaliumi- ja magneesiumisoolade saamiseks päikeseenergiat.

Kuigi soolatootmise menetlused on tuntud juba aastatuhandete jooksul, ei ole erilisi tehnilisi täiustusi läbi viidud. Viimasel ajal on aga püütud soola saamise tehnoloogiat mõnevõrra täiendada. Surnumere ääres kasutatakse soola tootmiseks 1,2 m läbimõõduga basseine, kuhu

kallatakse soolane vesi, mida kiiritatakse nõguspeeglite abil päikesekiirgusega. Vee aurumise kiirus basseinis sõltub vee poolt neelatud kiirgusenergia hulgast. Kui teatav osa vett on aurustunud, muutub vesi soolast küllastunuks ja vees leiduv sool hakkab sadestuma basseini põhja. Basseini põhi aga muutub valgeks ja peegeldab basseini langenud päikesekiiri nagu äsja sadanud lumigi. Tekivad suured energiakaod, kuna päikesekiirguse nähtav osa, mille energia Päikese kogu kiirgusenergiast moodustab umbes poole, peegeldub peaaegu täielikult basseinist tagasi. Selle vältimiseks lisatakse basseini põhja värvaineid, mis ei riku soola kvaliteeti, kuid ei lagune ka soola toimel. Selliste ainetega vähendatakse basseini albeedit, suurendatakse basseinis neeldunud päikesekiirgust — tõstetakse seega basseini kasutegurit.

**Päikesepatarei.** Juba läinud sajandi lõpul leidsid H. Hertz, W. Hallwachs ja vene õpetlane A. G. Stoletov, et valguse toimel eralduvad mõnedest ainetest elektronid. Seda nähtust nimetati fotoefektiks. Esialgu ei pööratud sellele erilist tähelepanu ja alles 50 aastat hiljem ehitati seleenist seadeldis, mis muundab kiirgusenergia vahetult elektrienergiaks. Sellist seadeldist nimetatakse seleenfotoelemendiks. Võrdlemisi väikese kasuteguri tõttu ei leidnud fotoelemendid kuni viimase ajani laiaulatuslikumat kasutamist päikeseenergia vahetuks muutmiseks elektrienergiaks. Fotoefekti kasutamine elektrienergia tootmiseks muutub alles siis tasuvaks, kui fotoelementide kasutegur ületab 5%. Seoses pooljuhtide uurimisega leiu-tati 1953. a. räni-fotoelement, mille kasutegur küünib 6%-ni. Üksikutel juhtudel on õnnestunud valmistada fotoelemente (kaadmiumsulfiid-fotoelemendid), mille kasutegur ulatub juba 18%-ni. Paljudest fotoelementidest koosnev nn. päikesepatarei avab juba laialdasi võimalusi päikese kiirgusenergia vahetuks kasutamiseks. Praegu ei ole peaaegu ühtki tehnika haru, kus fotoelemendid kasutamist ei leiaks. Suure praktilise tähtsusega on fotoelemendid igat liiki automaatika rakendamisel. Maakaaslastele asetatud päikesepatareid varustavad viimase raadiosaatjaid ja teaduslikke aparate elektrienergiaga. Lähemal ajal kavatakse hakata seeriaviisiliselt tootma päikesepatareide abil töötavaid radioaparate. Need on kaasakantavad ja ette nähtud eeskätt turistidele ja vabas looduses puhkajaile. Fotoelementide edasise täiustumisega,

nende kasuteguri ja stabiilsuse tõstmisega muutuvad päikesepatareid tulevikus tõenäoliselt kõige efektiivsemaks päikeseenergia vahetu kasutamise mooduseks.

**Päikese kiirgusenergia rakendamise võimalusi meie vabariigi tingimustes.** Eesti NSV on kiirguse juurdevoolu suhtes võrdlemisi tagasihoidlikes tingimustes. Prof. Veinbergi arvutused näitavad, et käesoleval ajal on päikeseenergia tehniline rakendamine ökonoomne ainult 40-ndast laiuskraadist lõuna pool. Meil on päikesekiirguse tehniline rakendamine võimalik ainult suvekuudel, 3—4 tunni jooksul keskpäeval. Kui arvestame, et sel ajal saame Eesti NSV-s summaarse kiirgusena keskmiselt 1,2 kalorit kiirgusenergiat ruutsentimeetri kohta minutis, siis lihtne arvutus näitab, et ruutmeetrile langeb sama aja jooksul 12000 kalorit. 1 m<sup>2</sup> langeva summaarse kiirguse võimsuseks saame 836 vatti. Asetades maja katusele näiteks 20 m<sup>2</sup> suuruse vastuvõtupinnaga ränifotoelementidest koosneva päikesepatarei, mille kasutegur on 6%, saame elektrivoolu võimsusega 1 kilovatt. Sellest piisaks enam-vähem individuaalelamu tarbeks. Pilves suvepäeval, kui hajusa kiirguse väärtused harva ületavad 0,4 kalorit ruutsentimeetri ja minuti kohta, on sellise fotoelektrilise generaatori võimsuseks ainult ligikaudu 350 vatti. Arvestades päikesekiirguse efektiivse kasutamisaja piiratust, ei ole meie tingimustes päikesepatareide rakendamine igapäevase elu elektrienergia vajaduste rahuldamiseks veel otstarbekas. Kui fotoelementide kasutegurit õnnestuks tõsta 20%-ni, siis võiks suvekuudel kõne alla tulla päikesepatareide rakendamine ka Eesti NSV tingimustes. Elektrienergia ülejääke keskpäeva tundidel võiks rakendada akumulaatorite laadimiseks, millede voolu kasutatakse õhtutundidel.

Eesti NSV-s on päikeseenergia otsest rakendamist leidnud peaaesjalikult taimede kasvulavades, mis võimaldavad kasvatada kultuure, millede arenemiseks meie kliima ei ole soodne. Tõenäoliselt on meie oludes edukalt rakendatavad Trofimovi-tüüpi puuviljakuivatid. Katsetamist väärib ka eelpool kirjeldatud kastmisvee soojendamismeetod.

Edaspidi tuleks suuremat tähelepanu pöörata meie põllukultuuride fotosünteesi kasuteguri uurimisele, et leida meetodeid selle suurendamiseks. Kolhoosides ja sovhoosides on soovitatav lisaks mullastiku kaardistamisele teos-

tada ka põllumaade mikrokliima uurimist. See võimaldab välja selgitada, millised põllud on kiirgus-, niiskus-, temperatuuri- ja tuulerežiimi poolest paremates tingimustes. Mikroklimatoloogiliste kaartide kasutamine võimaldab erinevate põllukultuuride vajadusi arvestades külvata neid kõige sobivamatesse kohtadesse.

### 13. AKTINOMEETRIA PERSPEKTIIVID

Lõpetades oma lühikest ülevaadet loodusnähtustest, millede olemuse uurimine kuulub aktinomeetria valdkonda, meenutame kokkuvõtlikult neid sõlmprobleeme, mida üksikasjalisemalt peavad selgitama edaspidised uurimised.

Atmosfäärifüüsika seisukohalt lähtudes omab kaaluvat tähtsust muidugi maakera kiirgusrežiimi tundmaõppimine. Selleks on vaja koguda täiendavalt andmeid kiirguse kohta üksikutes maakohtades. Vähe on andmeid kiirguse nõrgenemise kohta mitmesugustes taimkatte vormides. Ebapiisavad on ka andmed kiirguse muundumise kohta veekogudes, lumikattes ja jäämassiivides. Jätatakse tööd maakera vähem uuritud maa-alade — Arktika ja Antarktise kiirgusrežiimi tundmaõppimiseks.

Tähtsad on Päikese aktiivsuse ja ilmastiku vahelised küsimused, sest ilmastikuprotsesside tundmaõppimine ja ilmade prognoosi täpsustamine on üks atmosfäärifüüsika põhilisemaid ülesandeid. Päikesel toimuvate füüsikaliste protsesside seostamine ilmastikuga jääb tsentraalsele kohale ka edaspidistes uurimistes. Ilmade ennustamisel lähtutakse tulevikus tõenäoliselt just ilmastiku algpõhjuse — Päikese kiirguse muutustest. Kui reaalsel pinnal veidi fantaseerida, siis näib üsna loomulikuna, et tulevikus omavad igapäevastes ilmaprognoosides madal- ja kõrgrõhkkondade liikumisteede kõrval tähtsat kohta andmed kiirguslikest protsessidest atmosfääri ülemistes kihtides. Uue ajastu avasid selle küsimuse uurimisel nõukogude teadlased ja insenerid Maa kunstlike kaaslaste loomisega. Kindlasti leitakse terve rida uusi ilmakarakteristikuid, millised omandavad tähtsa koha ilmade ennustamisel.

Edaspidist arendamist nõuavad teoreetilist laadi arvutuslikud probleemid, mis on seotud kiirguse hajumise, neeldumise ja muundumisega atmosfääris ja maapinnal.

Perspektiivne on kiirguse tehniline rakendamine, mille meetodite edaspidine täiustamine on iseenesest mõistetav. Siia lisanduks veel terve rida ehitustehnika ees seisvaid päikesekiirguse kasutamise probleeme ja muid rakendusliku iseloomuga küsimusi, millede loetlemine läheks pikale. Atmosfäärifüüsikaga piirnevatest teadusaladest arendatakse eelkõige koostööd bioloogiaga, mis võimaldab tungida fotosünteesi saladustesse. Fotosünteesi protsess on elusorganismide eksisteerimise vundamendiks, ainsaks toiduallikaks. Seepärast fotosünteesi peensuste uurimise põhieesmärgiks jääb võimaluste loomine taimede produktiivsuse, saagikuse tõstmiseks. Fotosünteesi õpetuse aluste looja, vene õpetlase K. A. Timirjazevi arvates on võimalused fotosünteesi produktiivsuse tõstmiseks piiramatud. Vaatamata suurtele saavutustele fotosünteesi kasuteguri tõstmisel, seisab nii teadlaste kui ka põllumajanduse praktikutel ees ülesanne välja töötada uusi meetodeid päikesekiirguse paremaks ärakasutamiseks taimede poolt.

Praegu ei ole veel täielikku ettekujutust sellest, milliseid praktilisi võimalusi avab fotosünteesi peensuste tundmaõppimine. Akadeemik Nitšporovitši arvates ei tohiks olla enam mägede taga kunstliku fotosünteesi rakendamine keemilise tehnoloogia protsesside teostamiseks. Analoogiliselt looduses toimuvale fotosünteesile peaks olema võimalik Päikese kiirgusenergia abil läbi viia mitmesuguseid keemilise sünteesi protsesse. Paliude ainete sünteesimisel võivad toorainetena kasutamist leida looduses laialt levinud ühendid, nagu süsihappegaas, karbonaadid, vesi ja õhu lämmastik. Peale nähtava päikese spektri osa tuleb kõne alla ka infrapunaste kiirte rakendamine. See ei ole võimatu, sest teadaolevatel andmetel kasutavad mõningad bakterite liigid fotosünteesi protsessis infrapunaseid kiiri.

Taimede fotosünteesi uurimine ei ole mõeldav ilma täiusliku kiirguse mõõteaparatuurita. Päikese kogukiirgusenergia mõõtmiseks kasutatav aparaat on käesoleval ajal võrdlemisi korrektne. Täiendamist vajab pikalainelise soojuskiirguse mõõteaparatuur. Taimede fotosünteesi igakülgne uurimine eeldab aega kiirguse spektraalset mõõtmist — mõõtmist üksikutes kitsastes spektri piirkondades. Seepärast tuleb täiendada olemasolevaid ja konstrueerida uusi kiirguse spektraalseid mõõteriistu.

Koostöö meditsiini ja aktinomeetria vahel intensiivis-  
tuks, kui saadaks üle raskustest ultravioletse kiirguse  
täpse mõõteaparatuuri konstrueerimisel.

Probleemid, mis Eesti NSV tingimustes esile kerkivad,  
on üldjoontes analoogilised eespool toodutega. Suurt huvi  
pakuks meie kuurortide kiirgusrežiimi uurimine. Lõuna-  
Eesti maapinna künkliku reljeefi tõttu omavad spetsiaal-  
sed kallakute kiirgusrežiimi uurimised põllumajanduse  
seisukohalt suurt praktilist tähtsust. Laiaulatuslikumalt  
oleks vajalik uurida meie soode ja rabade kiirgusrežiimi,  
mis võimaldaks täielikumalt selgitada uudismaade raja-  
misega esilekerkivaid klimatoloogilisi küsimusi.

Päikeseenergia rakendamisel on suured perspektiivid,  
sest Päikese kiirguse näol on inimkonna käsutuses kolosa-  
saalsed energiavarud, mida on vaja ainult ratsionaalselt  
ära kasutada.

#### Kirjandust.

1. G. Dietze, Einführung in die Optik der Atmosphäre, Leipzig 1957.
2. B. Düll und T. Düll, Kosmisch-physikalische Störungen der Ionosphäre, Troposphäre und Biosphäre, Bioklimatische Beiblätter der Meteorologischen Zeitschrift, B. 6., H. 3. 1939.
3. W. Fett, Der Atmosphärische Staub, Berlin 1958.
4. K. Frisch, Ein Versuch das Embachhochwasser im Frühling für Tartu (Dorpat), Vorherzubestimmen, Tartu 1926.
5. R. Geiger, Das Klima der bodennahen Luftschicht, Braunschweig 1950.
6. V. Masing, Maaailma suurimad ja vanimad puud, «Eesti Loodus» nr. 2, 1959.
7. H. Mürk, Päikesekiirguse tehnilisest kasutamisest, Eesti NSV Poliitiliste ja Teadusalaste Teadmiste Levitamise Uhingu väljaanne nr. 7, 1959.
8. R. Preem, Päike ja ilmastik, «Edasi» nr. 127, 1956.
9. A. Raik, Pärnu kuurort (1938—1958), Tallinn 1958.
10. J. Ross, Meteoroloogia-alase uurimistöö olukorrast ja perspektiividest meie vabariigis, «Eesti Loodus» nr. 3, 1959.
11. J. Ross, Rahvusvahelisest geofüüsika aastast, ENSV TA Loodusuurijate Selts. Täppisteaduste sektiiooni esimene konverents, Tartu 1959.
12. V. Põldmaa, Virmalised, «Eesti Loodus» nr. 1, 1959.
13. П. И. Броунов, Атмосферная оптика, М. 1924.
14. М. В. Заварина, Атмосфера, Л., 1956.
15. Н. Н. Калитин, Лучи солнца, М.-Л., 1947.

16. М. В. Кирпичев, В. А. Баум, Использование энергии Солнца, «Природа» № I, 1954.
17. Исследования по использованию солнечной энергии, М., 1957.
18. А. Ф. Клешнин, Растение и свет, М., 1954.
19. К. Я. Кондратьев, Лучистая энергия Солнца, Л., 1954.
20. К. Я. Кондратьев, Лучистый теплообмен в атмосфере, Л., 1956.
21. П. А. Кратцер, Климат города, М., 1958.
22. М. Миннарт, Свет и цвет в природе, М., 1958.
23. Э. Р. Мустель, Солнце и атмосфера Земли, М., 1957.
24. А. А. Ничипорович, Световое и углеродное питание растений (фотосинтез), 1955.
25. П. Б. Раскатов, Физиология растений с основами микробиологии, М., 1958.
26. Ю. Росси и О. Авасте, ЭССР. Исследования по физике атмосферы, № I, 1959.
27. Н. П. Русин, Климат Антарктиды, Л., 1959.
28. Д. О. Святский и Т. Н. Кладо, Занимательная метеорология, 1935.
29. В. К. Субашиев, Полупроводниковые преобразователи солнечной энергии, Л., 1956.
30. Г. А. Тихов, Астробиология, 1953.
31. В. С. Тихомиров, Сезонные изменения некоторых отражательных свойств растений и вопросов о растительности на Марсе, 1951.
32. Х. Тооминг, Некоторые вопросы распределения суммарной радиации внутри растительного покрова, ИФА АН ЭССР, Исследования по физике атмосферы, № 1, 1959.
33. А. Х. Хргиан, Физика атмосферы, М., 1953.
34. С. Н. Хромов, Колебания климата и современное потепление. «Природа», № I, 1956.
35. Е. М. Шифрина, Солнечный луч и его превращения, Л., 1953.

## SISUKORD

|  |    |
|--|----|
| 1. Aktinomeetria — teadus Päikese kiirgusenergiast . . . . .                           | 3  |
| 2. Päikesekiirguse spektraalne koostis . . . . .                                       | 6  |
| 3. Päikese kiirgusenergia väljaspool Maa atmosfääri . . . . .                          | 7  |
| 4. Päikesekiirguse hajumine Maa atmosfääris . . . . .                                  | 9  |
| Päikese ja taeva ebatavaline värvus . . . . .  | 11 |
| 5. Päikesekiirguse neeldumine atmosfääris . . . . .                                    | 12 |
| Veeaur kiirguse neelajana . . . . .  | 12 |
| «Ultravioletne öö» . . . . .   | 13 |
| Tolm päikesekiirguse nõrgendajana . . . . .  | 15 |
| Päikesekiirguse nõrgenemine pilvedes . . . . .   | 17 |
| Kiirguse nõrgenemine linnades . . . . .  | 18 |
| 6. Päikesekiirguse jaotus maakeral . . . . .   | 20 |
| Päikese otsene kiirgus . . . . .   | 21 |
| Atmosfääri hajus kiirgus . . . . .   | 26 |
| Summaarne kiirgus . . . . .  | 28 |
| 7. Kiirguse peegeldumine maapinnalt. Albeedo . . . . .                                 | 30 |
| 8. Maa ja atmosfääri soojuskiirgus . . . . .   | 34 |
| 9. Kiirgusbilanss . . . . .  | 37 |
| 10. Päikese aktiivsus ja ilmastik . . . . .  | 39 |
| 11. Päike ja taimestik . . . . .   | 47 |
| Fotosüntees . . . . .  | 47 |
| Milliseid kiiri eelistab taim? . . . . .   | 49 |
| Miks taimed on rohelised? . . . . .  | 51 |
| Miks taimed peegeldavad palju tumepunaseid ja infra-<br>punaseid kiiri? . . . . .      | 53 |
| Kiirguse nõrgenemine taimkattes . . . . .  | 53 |
| Taimede fluorestsentskiirgus . . . . .   | 55 |
| Jäälused taimede kasvulavad . . . . .  | 56 |
| Kas Marsil on taimestik? . . . . .   | 56 |
| 12. Päikese kiirgusenergia tehniline rakendamine . . . . .                             | 59 |
| Kõrgete temperatuuride saamine . . . . .   | 59 |
| Soojenduskast . . . . .  | 61 |
| Hoonete kütmine . . . . .  | 63 |
| Toidu valmistamine . . . . .   | 64 |
| Mageda vee saamine . . . . .   | 64 |
| Soola tootmine . . . . .   | 66 |
| Päikesepatarei . . . . .   | 67 |
| Päikese kiirgusenergia rakendamise võimalusi meie vaba-<br>riigi tingimustes . . . . . | 68 |
| 13. Aktinomeetria perspektiivid . . . . .  | 69 |
| Kirjandust . . . . .   | 71 |



Тооминг Хейно Густавович  
СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ  
ЗЕМЛИ

На эстонском языке  
Эстонское Государственное Издательство  
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

\*

Toimetaja A. Saar  
Tehniline toimetaja Ü. Lau  
Korrekторid P. Hiie ja E. Künapu

Ladumisele antud 15. IV 1960. Trükkimisele antud 8. VII  
1960. Paber 54×84, 1<sub>16</sub>. Trükipoognaid 4,75. Formaadile  
60×92 kohaldatud trükipoognaid 2,90. Arvutuspoognaid  
4,0. Trükiarv 3000. MB-03497. Tellimise nr. 4036.  
Hans Heidemanni nimeline trükikoda, Tartu, Ülikooli 17/19

Hind rbl. 1.45

2--5





*Jouko* *TRU*  
Rbl. 1.45

**A-17346**

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00502278 7