

Ångströmi positiivse tulemusega eetrituulekatse aastast 1862

Arvi Kruusing

Avaldatud 30. aprillil 2017

On näidatud, et Ångströmi katse tulemused on kooskõlas hilisemate eetrituulekatsete tulemustega.

1. Sissejuhatus

Erinevalt üldisest teadmisesest sooritati 18. ja 19. sajandil, ammu enne Michelsoni ja Morley't rida eetrituulekatseid (valguse kiiruse varieeruvuse katseid) – kokku üle 20 erineva; 10 tippfüüsiku poolt; nii positiivsete kui negatiivsete tulemustega [1]. Lähtehüpoteese selgelt kinnitavad olid Fizeau valguse polarisatsioonitasandi pöördumise katse aastast 1859 [2] ja Ångströmi difraktsioonikatse aastast 1862 [3].

Eriti huvitav on Ångströmi katse, kuna selle tulemused sobivad hästi kokku hilisemate, 20. sajandil teostatud interferomeetriliste katsete tulemustega. Ka on tulemused siin lihtsamalt interpreteeritavad kui teiste omaaegsete eetrituulekatsete puhul, kuna valgus ei kulge pikemaid teekondi optiliselt tihedamas keskkonnas – klaasis või vedelikus. Ångströmi katse oli ka esimene, mille korraldamisel ja andmete töötlusel eeldati, et eetrituul võib olla määratud lisaks Maa orbitaalliikumisele ka Päikesesüsteemi kui terviku kosmilise liikumisega. Enne ja ka pärast kuni 1920-ndate aastateni (Miller) otsiti eetrituult ikka Maa orbitaalliikumise suunalisena.

6. oktoobril 1860 esitas rootsi füüsik Anders Jonas Ångström Uppsala Kuninglikus Teadusühingus peetud ettekandes idee, kuidas määrata Päikesesüsteemi kosmist liikumist difraktsioonvõre abil. Idee leidis heakskiitmist ja vastav katse sooritati 1862. a. sügisel. Katsetulemuste artiklikis vormistamise ajal osutus, et Jacques Babinet oli tulnud sõltumatult samale mõttele ning loonud ka vastava teooria [4].

Babinet artikkel [4] on tõenäoliselt ka esimene kirjalik allikas, kus on välja pakutud, et eetrituul Maa pinnal peaks lisaks Maa orbitaalliikumisele olema määratud ka Päikesesüsteemi liikumisega tähtede suhtes.

Babinet kirjutab:

** Il y a un quatrième mode de propagation des ondes lumineuses dont j'ai donné la théorie d'après les admirables expériences de Fraunhofer. C'est le cas des ondes qui se forment derrière les fils équidistants d'un réseau.*

- - -

** Il reste à faire l'expérience et il sera temps alors de donner la figure et le calcul très-simple de la position de l'onde influencée par le mouvement de la Terre. Le calcul rigoureux indique que cette onde est très-peu déplacée par le mouvement du réseau, tandis que le micromètre l'est beaucoup.*

** Mon but, comme on le pense bien, n'a pas été de rendre sensible le mouvement orbital de la Terre, mais bien de déterminer, s'il est possible, sa vitesse de translation vers un point situé par $34^{\circ}1/2$ de déclinaison boréale et par 260° d'ascension droite, dans la constellation d'Hercule. Cette vitesse de translation est estimée à $1/4$ de la vitesse de la Terre dans son orbite, et avec un appareil dont les dimensions ne seraient pas énormes, on reconnaîtrait la quantité comme la direction de ce mouvement. En admettant ce résultat, le mouvement progressif de la Terre fournirait une base immense qui croît trait indéfiniment de siècle en siècle et qui nous permettrait d'obtenir la parallaxe des étoiles fixes.*

(Prantsuse Teaduste Akadeemia 6. oktoobril 1862 peetud ettekande publikatsioonist [4])

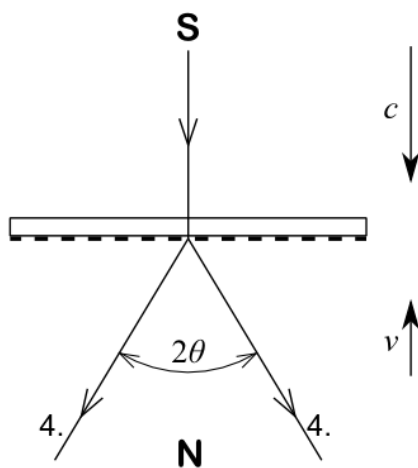
Difraktsiooni liikuvalt võrelt on teoreetiliselt analüüsinud lisaks Babinet'le ja Ångströmile veel Volkert Simon Maarten van der Willigen [5] ja Eleuthère Mascart [6]. Mascart'i teooria kohaselt võre liikumine difraktsiooninurki ei mõjuta.

Sarnaseid katseid on korraldanud hiljem vaid Mascart.

Järgnevas on analüüsitud Ångströmi katset veidi teisiti kui viidatud töödes; arvutustes on kasutatud kaasaegseid konstante ja katse tulemusi on võrreldud nii Mascart'i difraktsioonikatse kui ka hilisemate interferomeetriliste eetriuulekatsete tulemustega.

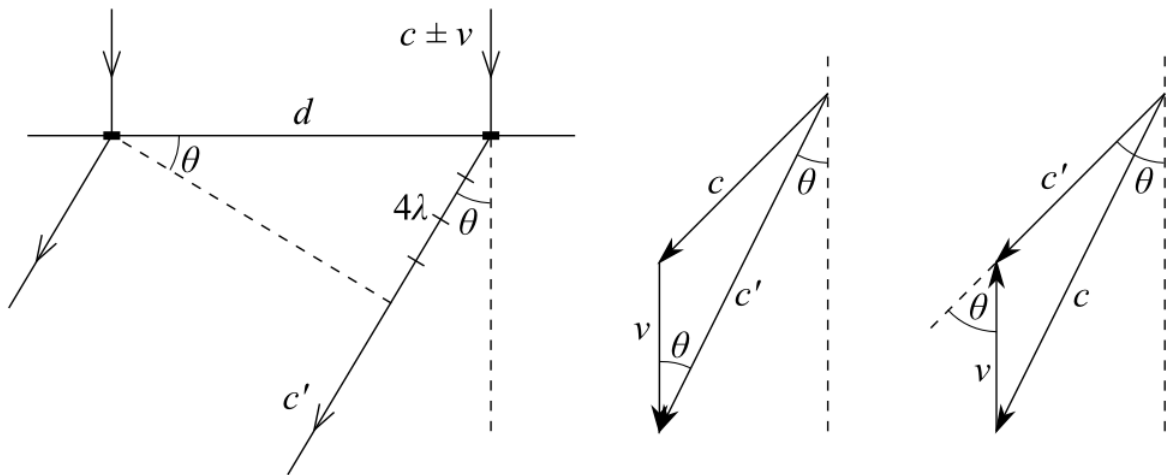
2. Teooria

Ångströmi katse skeem on kujutatud joonisel 1. Päikesevalgus langeb risti difraktsioonvõrele; valguses esinevate spektrijoonte (Fraunhoferi joonte) 4. järku difraktsioonimaksimumide vahelist nurka mõõdeti eri päevadel ja kellaaegadel goniomeetriga.



Joonis 1. Ångströmi aasta 1862 eetriuulekatse põhimõtteline skeem.
c ja v tähistavad vastavalt valguse ja katseseadme liikumiskiirust eetri suhtes.

Kuna süsteemis "valgusallikas – optilised osad – vaatleja" komponentide konfiguratsioon ja vahekaugused ei muutu, on valguse sagedus süsteemi kõikides punktides sama ja Doppleri efekti ei esine (jättes arvestamata maapinna tangentsiaalkiiruse, mis Uppsalas on 74 korda väiksem kui Maa keskmine orbitaalkiirus). Võime ka lugeda võre paigalseisvaks ja valguse kiiruse varieeruvaks vastavalt optilise süsteemi liikumisele eetri suhtes. Eetri eeldame isotroopsena. Oletame esialgu, et seadme optiline telg ühtib eetri suhtes liikumise teljega, joon. 2.



Joonis 2. Valguse 4. järku difraktsioon liikuvalt võrelt.

Joonise 2 vasakpoolselt skeemilt saame: $\sin \theta = \frac{4\lambda}{d} = \frac{4c'}{fd}$, millest $c' = \frac{fd}{4} \sin \theta$, (1)

kus λ on valguse lainepikkus.

Rakendame vektoritest v , c , c' moodustunud kolmnurgale koosinuslauset ($a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$, kus a , b , c on kolmnurga küljed ja α – külje a vastasnurk):

$$c^2 = c'^2 + v^2 - 2c'v \cos \theta. \quad (2)$$

On näha, et seos kehtib olenemata v suunast – vektordiagrammidelt joonisel 2; arvestades, et $\cos(180^\circ - \theta) = -\cos \theta$.

Asendades valemi (1) võrdusse (2), saame nurga θ määrava võrrandi:

$$\frac{1}{16} f^2 d^2 \sin^2 \theta - \frac{1}{2} f d v \sin \theta \cos \theta + v^2 - c^2 = 0. \quad (3)$$

Reaalsete olukordade puhul arvestame, et v on katseseadme eetri suhtes liikumise kiiruse teljesuunaline komponent – et põikkomponent muudab vasakpoolse ja parempoolse maksimumide nurki samal määral.

3. Katse

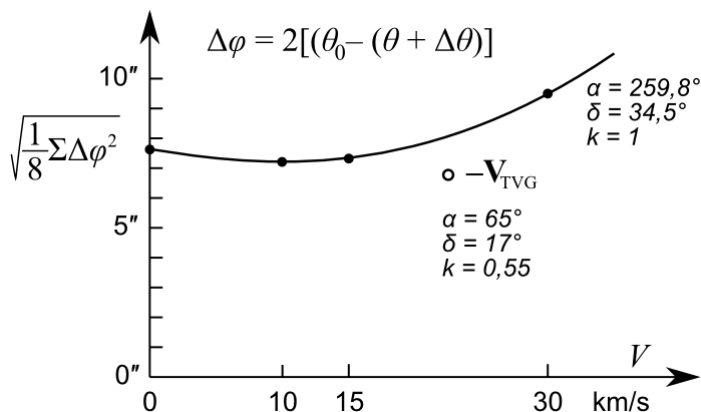
Ångström kasutas oma katses 4501 joonega klaasile graveeritud difraktsioonvõret sammuga 0,000166854 pariisi tolli (4,516 729 μm). Mõõdeti päikesevalguse Fraunhoferi D-topeltjoone neljandat järku difraktsioonimaksimumide vahelist nurka. Päikesevalgus sisenes süsteemi heliostaadi kaudu, võre oli risti siseneva valguse suunaga. Mõõtmiste ajal seisis aparatuur paigal; valguse kiiruse muutus oli eeldatavalt määratud Maa orbitaalliikumise ja Päikesesüsteemi liikumisega tähtede suhtes. Difraktsioonvõrele langes valgus kõikide mõõtmiste ajal lõunasuunast.

Nurk difrakteerunud kiirte vahel oli Ångströmi arvutuste järgi seisva võre puhul $2\theta_0 = 62^\circ 55' 41,2''$ ja nurga muutus Maa orbitaalkiirusega eetri suhtes liikuva võre puhul $2\Delta\theta = 24,9''$.

Tabelis 1 on antud katse koondtulemused vastavalt artiklile [3]. Veergudes "V = 0" kuni "V = V₀" on korrigeeritud andmed, mis arvestavad Maa kosmilist liikumist. Päikesesüsteemi kosmilise liikumise suunaks oli Ångströmi arvutustes võetud $\alpha = 259,8^\circ$; $\delta = 34,5^\circ$ (ekvaatorilistes suunakoordinaadides), mis vastab liikumisele Herkulese tähtkuju suunas (vrld. tsitaat Babinet artiklist eespool).

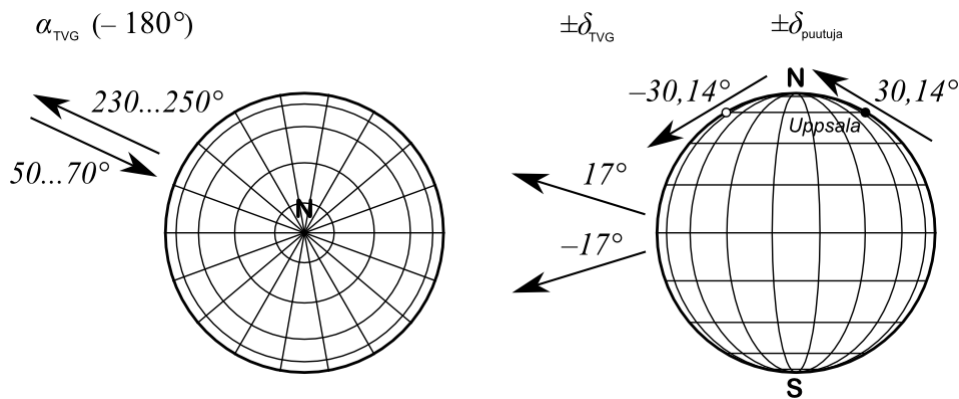
Tabel 1. Ångströmi a. 1862 katse tulemused ja nende vastavus Päikesesüsteemi kosmilisele liikumisele. V – Päikesesüsteemi liikumiskiirus Herkulese tähtkuju suunas; V_o – Maa orbitaalkiirus; V_{TVG} – hälbed selles veerus on arvatud oletusest, et eetrituul vastab Päikesesüsteemi liikumisele tähtedevahelise gaasi suhtes (vrld. joon. 5). Arvud tabelis on võetud artiklist [3], v.a. viimane rida ja viimane veerg.

Kuu-päev	Kella-aeg	Luge-meid	2θ, keskmine mõõdetud nurk	2(θ ₀ - θ), katselised hälbed	2[(θ ₀ - (θ + Δθ)], teooria erinevus korrigeeritud katsetulemusest (arvestatud Maa kosmilist liikumist)				
					V = 0	V/V _o = 1/3	V/V _o = 1/2	V = V _o	V _{puut.}
05.10	11:00	3	62°55'38"	+3"	+3"	+4"	+4"	+7"	6,9
05.10	15:30	3	62°55'53"	-11"	+9"	+5"	+3"	-2"	7,3
05.10	17:00	6	62°56'07"	-26"	-3"	-6"	-7"	-13"	-5,6
09.10, 10.10	15:42	6	62°56'00"	-19"	+2"	-1"	-3"	-9"	-0,5 -0,5
11.10	9:30	2	62°55'51"	-10"	-17"	-14"	-12"	-8"	-11,5
11.10	13:00	2	62°55'58"	-18"	-7"	-10"	-10"	-12"	-5,9
11.10	15:45	2	62°56'07"	-26"	-5"	-10"	-10"	-16"	-7,4
<i>hälvete ruutude summa:</i>				2267"	462"	419"	427"	719"	367"
<i>ruutkeskmine hälve:</i>				16,8"	7,6"	7,2"	7,3"	9,5"	6,77"



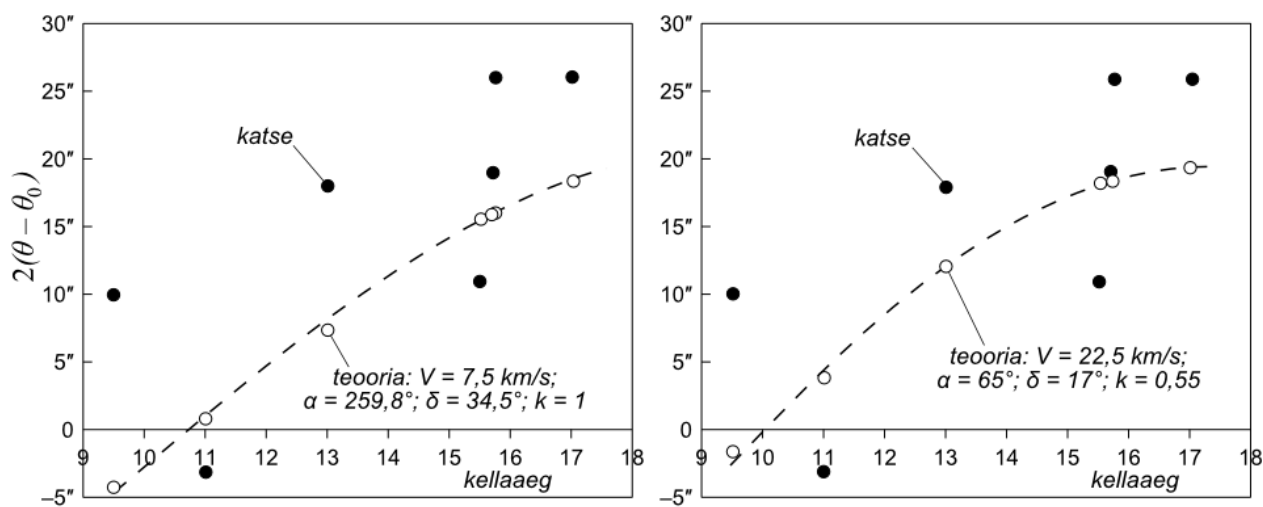
Joonis 3. Ångströmi 1862. aasta katses mõõdetud difraktsiooninurga muutuste ruutkeskmine hälve teoreetilistest väärtustest Päikesesüsteemi erinevate kiiruste puhul Herkulese tähtkuju suunas. Graafik vastab tabeli 1 viimasele reale.

Hilisemates eetrituulekatsetes (Miller, Joos, Múnera jt.) siiski ei ole leitud tulemuste head vastavust mudelile, kus Päikesesüsteem liigub Herkulese tähtkuju suunas. Ka joonise 5 vasakpoolne diagramm näitab, et Babinet-Ångströmi oletus ei anna katsepunkte parimal moel lähendavaid difraktsiooninurga hälbed. Proovime sellepärast, kas Ångströmi katsepunktid ei võiks vastata paremini mingile muule kosmilisele eetrituulevektorile. Hilisemat kogemust arvestades võiks olla adekvaatsem mingi nende α ja δ väärtuste kaheksast kombinatsioonist:



Joonis 4. Oodatavad eetriituule suunad Ångströmi katse puhul [7]; vt. ka antud artikli lisa. Ångströmi eeldatud Päikesesüsteemi liikumist Herkulese tähtkuju suunas võib Uppsala asendit silmas pidades vaadelda küll ka kui liikumist umbes Maa puutuja suunas.

Joonisel 5 on esitatud Ångströmi määratud difraktsiooninurga muutused kellaaegade järgi ja vastavad teoreetilised kõverad, mis on saadud kasutades valemit (3) ja füüsikaliste konstantide kaasaegseid väärtusi: $\lambda_{D1} = 589,594$ nm; $\lambda_{D2} = 588,997$ nm; $c = 299792,458$ km/s. Arvutus annab 4. järku difraktsioonimaksimumide vaheliseks nurgaks seisva võre puhul: $\theta_0 = 31^\circ 27' 30''$ ja Maa keskmisele orbitaalkiirusele 29,78 km/s vastavaks nurga muutuseks $2\Delta\theta = 21,39''$. Kellaajana on oletatud kohalik päikeseaeg, kuna Rootsist kehtestati ühtne *normaltid* alles aastal 1879. Maapinna tangentsiaalkiiruse mõju Doppleri efekti kaudu ei ületa murdosa nurgasekundit.



Joonis 5. Ångströmi katsetulemuste võrdlus arvutuslike $2\Delta\theta$ väärtustega (kriipsjooned). Vasakul – arvutus eeldusest, et eetriituul vastab Päikesesüsteemi liikumisele Herkulese tähtkuju suunas (Babinet järgi [4]); paremal – eeldusest, et eetriituul on määratud Päikesesüsteemi liikumisega tähtedevahelise gaasi suhtes. Koeffitsient k on proportsionaalsustegur teooria ühtevõimiseks katsega; interferomeetrites katsetes oli $k \approx 0,05$. Teooriapunktid ei moodusta sujuvat rida, kuna päevad on erinevad (Maa on liikunud orbiidil edasi). NB! $2\Delta\theta$ on siin vastasmärgiga võrreldes tabeliga 1.

Kuigi joonisel 5 esitatud lähendustesse (kriipsjooned) tuleb lühikese vaatlusperioodi tõttu suhtuda teatud reservatsiooniga; osutuvad need ometi, et leidub selline lähendus, mis on kooskõlas hilisemate eetriituulekatsete tulemustega (vt. tabel A1) – mistõttu on väga tõenäoline, et tegemist oli sama kosmilise mõjuga.

Lähendus vektoriga $V = 22,5 \text{ km/s}$, $\alpha = 65^\circ$; $\delta = 17^\circ$ ($k = 0,55$) annab suurimaks eetrituule kiiruseks maapinna tasandis 27 km/s , mis siiski on üle kahe korra rohkem kui hilisematest (interferomeetristest) eetrituulekatsetest määratud – maks. 11 km/s *. Aga kõikide seniste eetrituulekatse üldine omadus on olnud, et eri katsetest määratud kiirused varieeruvad palju, anisotroopiasuunad aga on lähedased teatud eelistatud suundadele.

Ångströmi katse tulemuste kooskõla eetrituule kosmilise põhjuse hüpoteesiga kinnitab lisaks veel see, et erinevalt interferomeetristest katsetest on difraktsiooninurga muutus tundlik ka eetrituule märgile (vrdl. joon. 2).**

* Osade katsete tulemusi on küll interpreteeritud ka vastavaks kuni 500 km/s -lisele eetrituulele maapinnal, kuid kasutades seejuures pikkuste kontraktsiooni lisahüpoteesi.

** Ka interferomeetrite signaalis esineb eetrituule märgist sõltuv komponent (nn. 1. järku komponent), kuid vastav signaal on nõrk, mistõttu senistes katsetes seda pole arvestatud.

4. Mascart'i katsed

Ångströmi katset veidi modifitseerituna kordas aastail 1869–1871 Eleuthère Mascart Pariisis (École Normale Supérieure) [6].

Esimestes vaatlustes augustis 1869 kasutati 1801 ja 3601 joonega võresid; vaadeldi päikesevalguse D- ja d-joonte kuni 4. järku spektreid. Vaatlused sooritati keskpäeval. Joonte nihete avastamise läveks hinnati $5''$. Seadet vaheldumisi itta ja läände orienteerides oodati D-joonte difraktsioonimaksimumide nihet $26,57''$ – oletusest, et eetrituule kiirus katseseadmes on võrdne Maa orbitaalkiirusega 30 km/s .

Esialgu täheldati difraktsiooninurga juhuslikke hälbeid kuni $18''$, keskväertusega umbes $4''$; kuid hiljem, kui joonte asukoha määramise süsteemi oli täiustatud ja kogu aparatuuri stabiilsemaks muudetud, vähenesid hälbed eraldatavuse piirile. Kahjuks konkreetseid arvandmeid Mascarti artiklites antud ei ole.

25. aprillil 1870 keskpäeval sooritatud katses kasutati umbes 3000 joonega võret (pikkus 15 mm ; 200 joont/mm). Okulaarriistmikuga varustatud teleskoobiga vaadeldi kahe naatriumitüki vahelise säde- lahenduse spektri D-topeltjoonte 5. järku maksimume. Difraktsioonimaksimumide nihe $3''$ oleks pidanud olema eraldatav, kuid aparatuuri suunamisel vaheldumisi itta ja läände mingit nihet ei avastatud [6].

Kuna need ja ka teised Mascarti korraldatud optilised katsed ei näidanud, et eetrituul Maa pinnal on 30 km/s ja läänest itta, luges Mascart Maa absoluutse liikumise optilise detekteerimise võimatuks [8].

Mascart ei vaatle võimalust, et eetrituul võiks olla muu kui Maa orbitaalkiiruse suunaline, kuigi Babinet seda eeldas ja Ångströmi katse toetas. Ka mitte seda, et eetrituul võiks olla maapinnal nõrgem kui kaugemal Maast, mille G. G. Stokes oli tähtede aberratsiooni seletamiseks välja pakkunud juba aastal 1845 ja mida teadusringkondades laialt arutati [9].***

*** Ka Michelson ja Morley lugesid oma katsed aastail 1881 ja 1887 eetrituule olemasolu mitte kinnitavaks lähtudes samast eeldusest, et eetrituul on ida-lääne-suuneline ja kiirusega 30 km/s . Alles D. C. Miller 1920-ndatel aastatel korraldas katseid ja analüüsis nende tulemusi avarama pilguga.

Mascarti hinnangud katsete eraldusvõimele (5", 4" ja 3") on saadud kaudsetest kaalutlustest ega ole eriti veenvad. Nii kirjutab Mascart 1869. aasta katsete kokkuvõttes:

En tout cas, it parait difficile qu'une différence de 26 secondes ait pu échapper, ... (lk. 168)

Siit jääb mulje, et katsete eraldusvõime oli mitte kindlalt 4–5", vaid pigem kusagil 4" ja 26" vahel.

Ja 1870. aasta katse kohta:

Si l'instrument peut séparer un angle de 20 secondes, il permet de constater une coïncidence avec une erreur moindre que 3 secondes. (lk. 191)

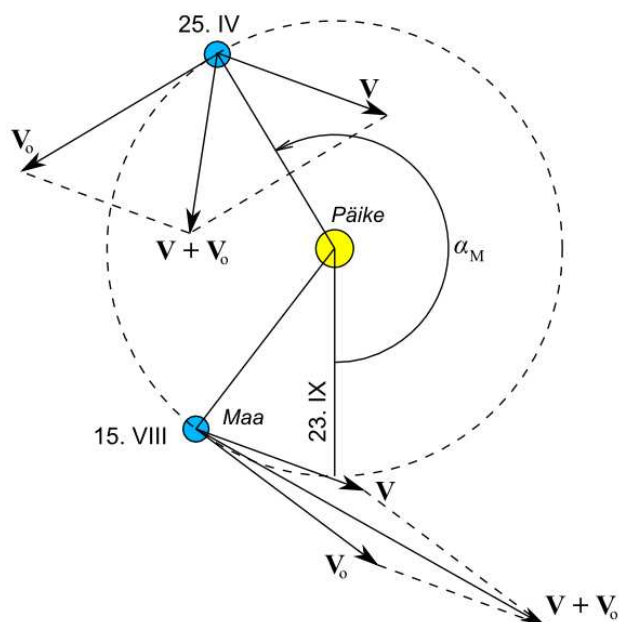
- - -

Je crois donc qu'un déplacement de 3 secondes n'aurait pas échappé dans cette expérience, qui été faite avec le plus grand soin et répétée un grand nombre de fois. L'erreur expérimentale était ici bien inférieure à l'aberration et un déplacement auxquels on aurait pu s'attendre. (lk. 191)

Katse eraldusvõime otsene määramine oleks kindlasti võimalik olnud, viies aparatuuri sisse mingeid difraktsiooninurki mõjutavaid muudatusi. Näiteks B. Strasser a. 1906 varieeris õhu murdumisnäitajat etüüleetri aurude abil [10].

Kui eeldada, et eetrituul võib olla määratud ka Päikesesüsteemi kui terviku kosmilise liikumisega, seletaks see rahuldavalt Mascarti tähelepanekud.

Kui rakendada Mascarti katsete olukorrale Ångströmi tulemust hästi rahuldavat kosmist vektorit $V = 22,5 \text{ km/s}$, $\alpha = 65^\circ$; $\delta = 17^\circ$ (joon. 5 paremal); seletub lihtsalt, miks Mascart augustikuus täheldas difraktsioonimaksimumide nihkeid; aprillis aga mitte. Nimelt augustis keskpäeval on resultant $V + V_0$ peaaegu ida-lääne suunaline; aprillis aga lõikab vektor $V + V_0$ horisontaaltasandit küllaltki suure nurga all (joon. 6).



Joonis 6. Kvalitatiivne seletus, miks Mascart augustis täheldas difraktsiooninurga muutust; aprillis aga mitte.
 V – Päikesesüsteemi kiirus; V_0 – Maa orbitaalkiirus.

Kinnitame viimast väidet ka arvutuslikult.

Kui rakendada Mascarti viimasele vaatlusele ülal arendatud teooriat, saame 5. järku difraktsiooni-maksimumi määramiseks võrrandi

$$\frac{1}{25} f^2 d^2 \sin^2 \theta - \frac{2}{5} f d v \sin \theta \cos \theta + v^2 - c^2 = 0. \quad (4)$$

Kui võtta naatriumi D-joonte lainepikkusteks 589,5924 nm ja 588,9950 nm, saame katseseadme tundlikkuseks ($\Delta c = 29,78$ km/s): $2\Delta\theta = 24,15''$. Joonte keskväärtuse nihe seadme suunamisel vaheldumisi itta ja läände oleks, kasutades Ångströmi katset parimalt lähendavat eetrituulevektorit ja k -d ($V = 22,5$ km/s, $\alpha = 65^\circ$; $\delta = 17^\circ$; $k = 0,55$) Mascarti aprillikuise katse puhul $2\Delta\theta = \pm 6,3''$ ($\Delta c = 8,8$ km/s).

Kuid põhimõtteliselt on võimalik, et eetrituul oli Mascarti katse ajal veelgi enam risti horisontaaltasandiga ja nurga muutus jäi vaatluste eralduspiiri $3''$ (või enamgi) juures märkamatuks. Võttes näiteks kosmiliseks vektoriks $V = 37$ km/s, $\alpha = 65^\circ$; $\delta = 17^\circ$ ja $k = 0,45$, mis annab samuti küllaltki hea lähenduse Ångströmi katseandmetele, oleks spektrijoonte nihe Mascarti viimase katse puhul vaid $\pm 2(\theta - \theta_0) = \pm 2,66''$.

Võib arvata, et vähemalt viimases, 1870. a. katses oli Mascartil tugev eelhoiak saada nulltulemus, kuna ta oli vahepeal teoreetiliselt näidanud, et difraktsiooninurgad ei sõltu võre liikumisest – mis seletaks ka vaid lühikese vaatlusega piirdumise 25. augustil kell 12.

Nii kirjutab Mascart 1870. a. difraktsiooniliste katsete kirjelduse alguses:

VI. Nouvelles expériences.

Malgré cette démonstration, je n'ai pas cru inutile de faire encore quelques expériences pour vérifier, avec toute la précision possible : 1° que la lumière solaire et celle d'une source terrestre de même période éprouvent toujours la même diffraction ; 2° que le mouvement de la Terre n'a pas d'influence sur cette diffraction.

Viited

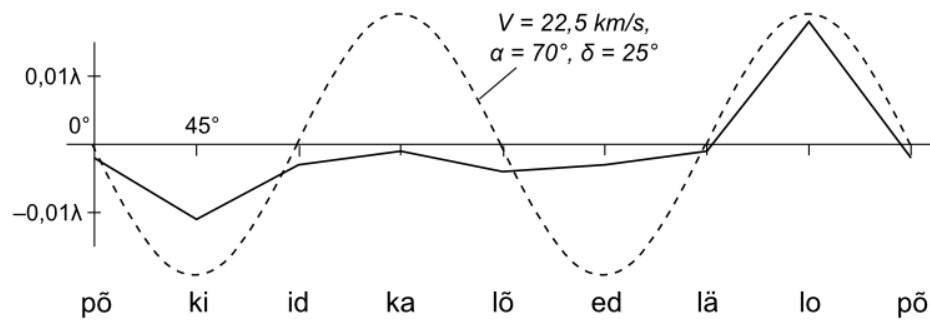
1. R. Martins, O éter e a óptica dos corpos em movimento: a teoria de Fresnel e as tentativas de detecção do movimento da terra, antes dos experimentos de Michelson e Morley (1818-1880). Cad. Bras. Ens. Fís., 2012, v. 29, n. 1, p. 52-80.
2. H. Fizeau, Sur les hypothèses relatives à l'éther lumineux. Et sur une expérience qui paraît démontrer que le mouvement des corps change la vitesse avec laquelle la lumière se propage dans leur intérieur. – Essai de cette méthode. Annales de Chimie et de Physique, 3^e série, tome 58 (Février 1860), p. 129–163.
3. A. J. Ångström, Neue Bestimmung der Länge der Lichtwellen, nebst einer Methode, auf optischem Wege die fortschreitende Bewegung des Sonnensystems zu bestimmen. Annalen der Physik und Chemie, 1864, Bd. 123, S. 489-505.
4. J. Babinet, De l'influence du mouvement de la Terre dans les phénomènes optiques. Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences de Paris, 1862, tome 55, p. 561–564.
5. V. S. M. van der Willigen, Mémoire sur la détermination des longueurs d'onde du spectre solaire. Archives du Musée Teyler, vol. I, fascicule I. Musée Teyler, Harlem, 1875, p. 1–33.

6. E. Mascart, Sur les modifications qu'éprouve la lumière par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur (première partie). Annales scientifiques de l'École Normale Supérieure, 1872, Sér. 2, tome 1, p. 157–214.
7. A. Kruusing, Joosi eetriuulekatse. The general science journal, 2015.
8. E. Mascart, Sur les modifications qu'éprouve la lumière par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur (deuxième partie). Annales scientifiques de l'École Normale Supérieure, Sér. 2, 1874, tome 3, S. 363–420.
9. G. G. Stokes, On the aberration of light. Philosophical Magazine, 1845, vol. 27, p. 9–15.
10. B. Strasser, Der Fizeausche Versuch über die Änderung des Polarisationsazimuts eines gebrochenen Strahles durch die Bewegung der Erde. Annalen der Physik, 1907, Bd. 329, Nr. 11, S. 137–144.

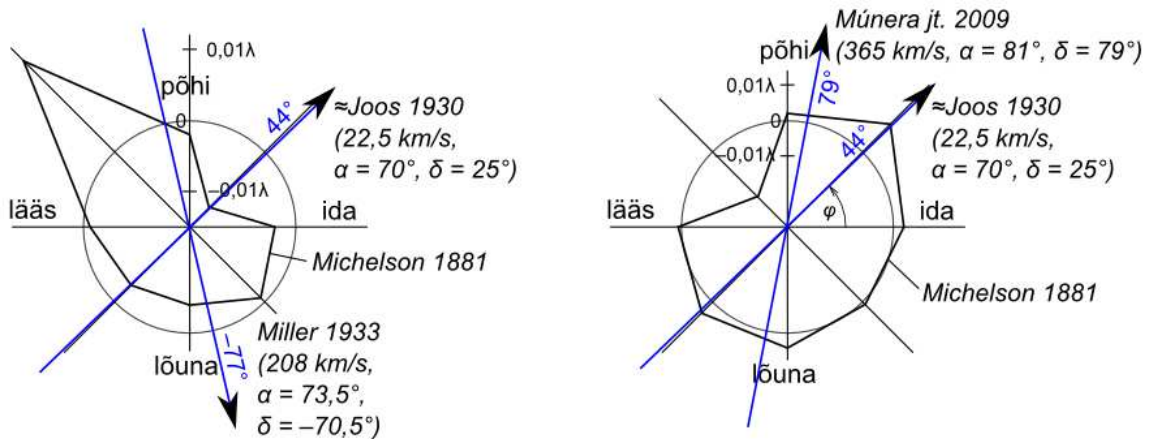
Parandusi eelmistele artiklitele

Algoritmis, millega eelmistes artiklites [A1, A2] eetriuule amplituude ja suundi arvutati, leidis viga, mis mõjutab teatud aasta- ja kellaegade kohta käivaid tulemusi. Üldised järeldused siiski jäävad kehtima; eri katsete omavaheline kooskõla muutus veelgi ilmsemaks. Esitame järgnevas oluliseimad tulemused parandatult.

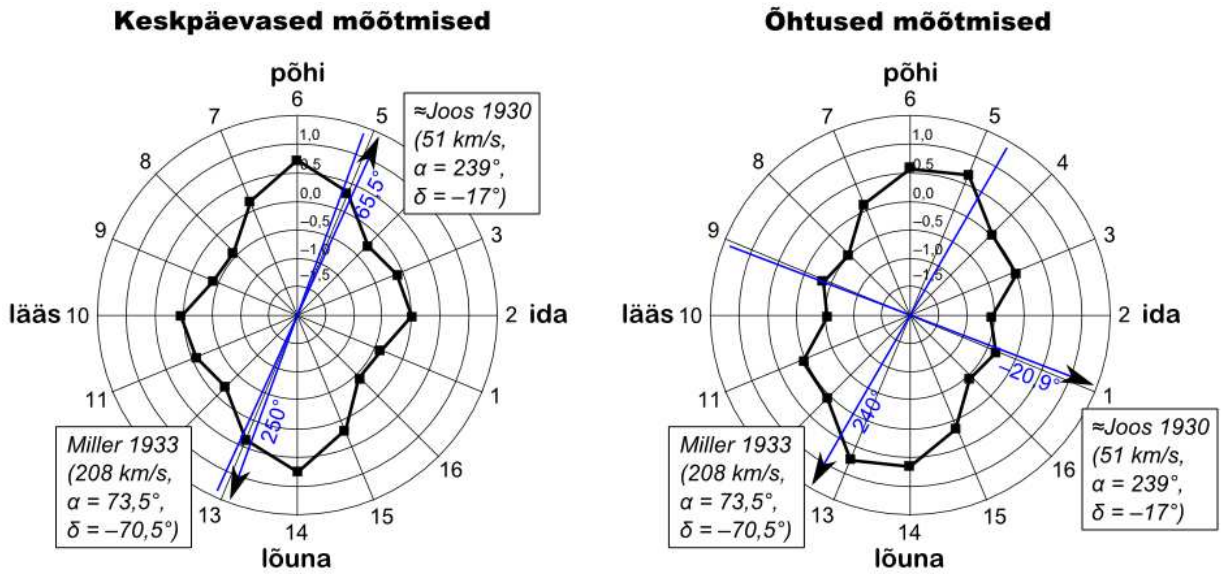
Michelson 1881



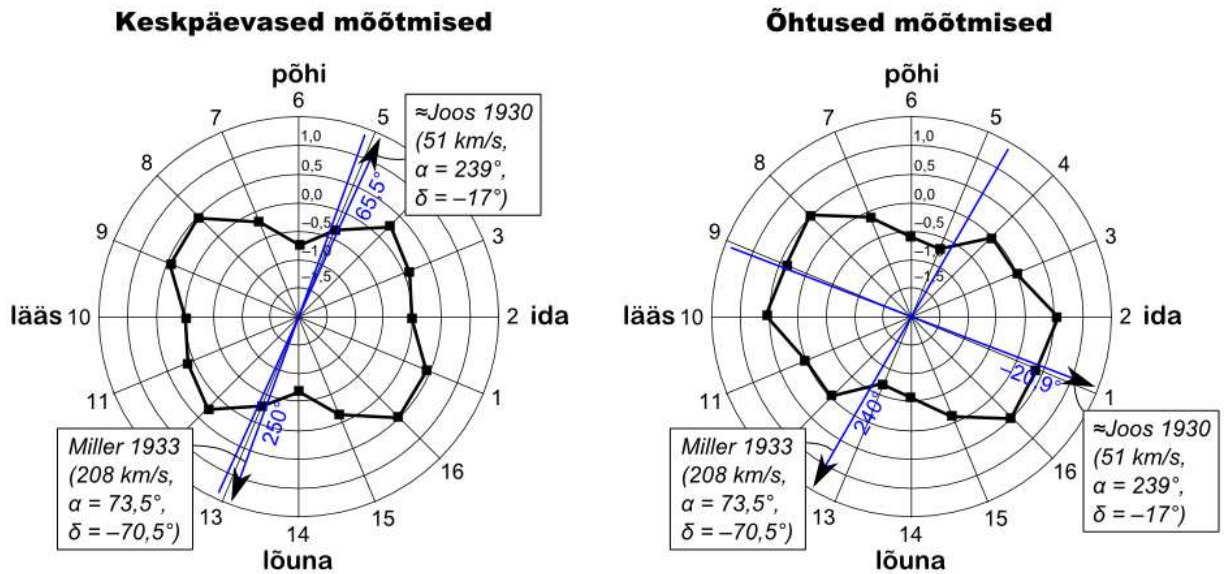
Joonis A1. Michelsoni 1881. a. katse tulemuste ligikaudne vastavus Joosi 1930. a. tulemustele.



Joonis A2. Michelsoni 1881. a. katse tulemuses avalduva valguse kiiruse anisotroopia võrdlus Milleri, Joosi ja Múnera jt. eetriuulekatsete tulemustega.



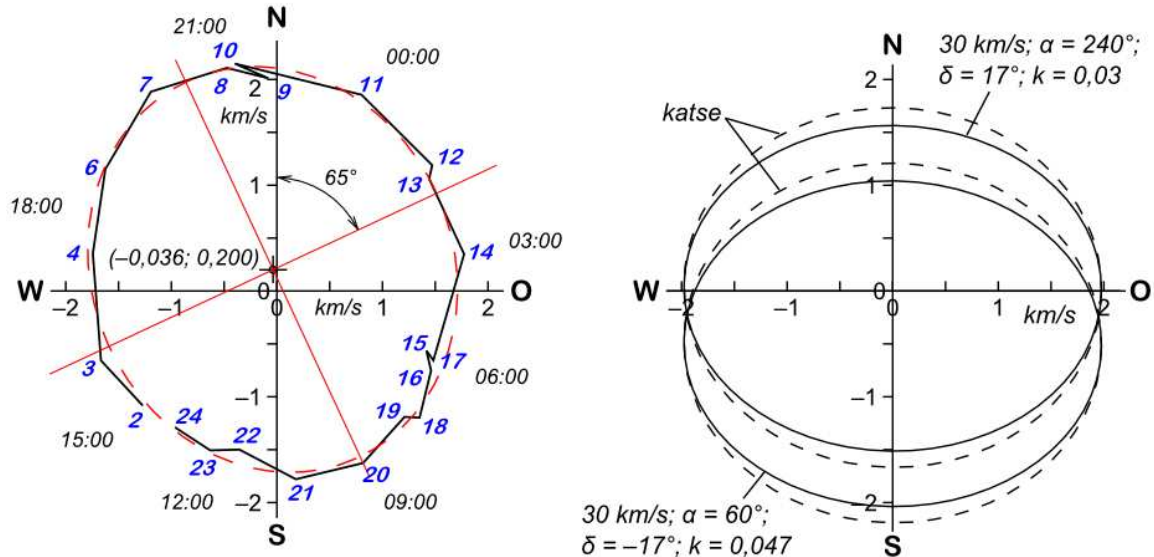
Joonis A3. Michelsoni ja Morley 1887. a. katse tulemuses avalduva valguse kiiruse anisotroopia võrdlus Milleri ja Joosi eetrituulekatesete tulemustega. Andmed invertteerimata.



Joonis A4. Michelsoni ja Morley 1887. a. katse tulemuses avalduva valguse kiiruse anisotroopia võrdlus Milleri Joosi eetrituulekatesete tulemustega. Andmed invertteeritud.

a) Hodograaf ja selle lähendus Milleri mudeli* järgi.

Ei leidunud kosmilist vektorit, mis vea piires oleks andnud samade mõõtmetega hodograafi nagu katsest leitud – lähendusellipsi lühem telg jääb igal juhul väiksemaks. Kiirust üle 30 km/s suurendades ja samaaegselt koefitsienti k vähendades ellipsi kuju ei muutu. Joonisel A4 antud vektorid 30 km/s, $\alpha = 60^\circ$ (240°), $\delta = \pm 17^\circ$ on minimaalsed.

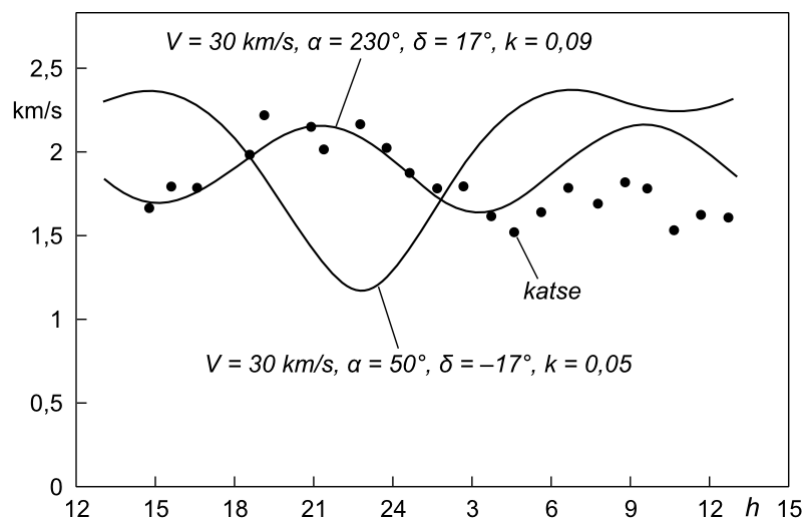


Joonis A5. Eetrituule kiiruse hodograaf ja selle võrdlus Milleri mudeli järgi arvatud lähedaste teoreetiliste eetrituule-hodograafidega. Katselise ellipsi poolteljed: 1,95 km/s ja 1,71 km/s. Milleri mudel ei kirjelda hodograafi kallet; seletust sellele nähtusele seni ei ole.

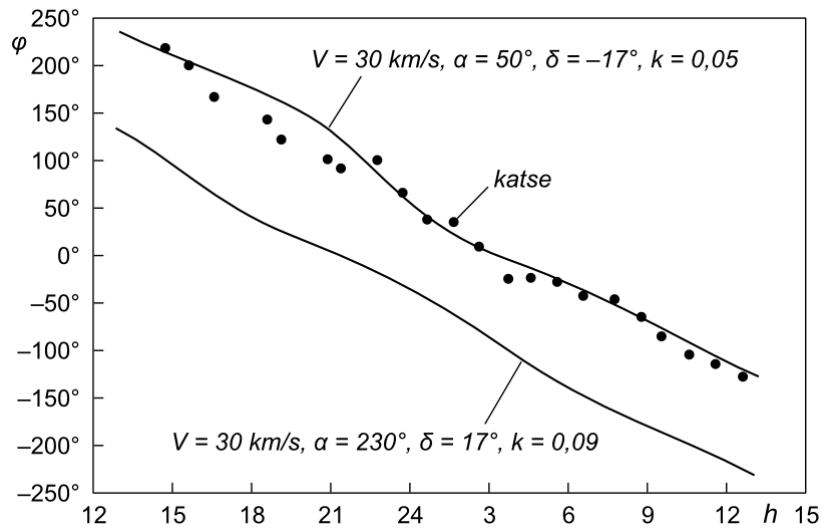
* Milleri mudel väljendab olukorda, et eetrituul nõrgeneb maapinna lähedal, kuid säilitab seejuures oma kosmilise suuna.

b) Kui püüda võimalikult hästi lähendada amplituudide käiku, on faas/asimuut nihkes nagu Millerilgi; kuigi nihe ei vasta Milleri katsetulemustes esinevale aastase keskmise asimuudi rütmile, joon. A6.

c) Kui püüda faasi (asimuudi) käiku võimalikult hästi lähendada, on amplituudikõver invertteeritud; muidu on küll ekstreemumite vahekorrad sarnane (suurem tipp/nõgu kl. 21–23 paiku, väiksem kl. 8–10 paiku), joon. A7.



Joonis A6. Joosi katsetulemustes avalduva eetrituule tugevuse muutus ööpäeva jooksul ja selle Milleri mudeli kohaseid lähendusi.



Joonis A7. Joosi katsetulemustes avalduva eetrituule suuna muutus ööpäeva jooksul ja selle Milleri mudeli kohaseid lähendusi.

NB! Alumine kõver on kujult katsetulemustele lähedane kl. 15–24; ülemine kõver kl. 24–12.

Eri eetrituulekatsete vaheline kooskõla

Tabelis A1 on võrreldud eri eeltrituulekatsete tulemuste lähendusi Milleri mudeli järgi. Kuigi Milleri mudel ei kirjelda valguse kiiruse varieeruvuse (või mingi muu aastasadu kestva globaalse nähtuse) kõiki iseärasusi; on see ometi seni parim vahend eri katsete võrdlemiseks ja näitab nende vahelist tugevat korrelatsiooni.

Tabel A1. Eri uurijate eetrituulekatsete tulemuste vaheline kooskõla. V – kosmiline eetrituulevektor Milleri mudeli mõttes; TVG – tähtedevaheline gaas.

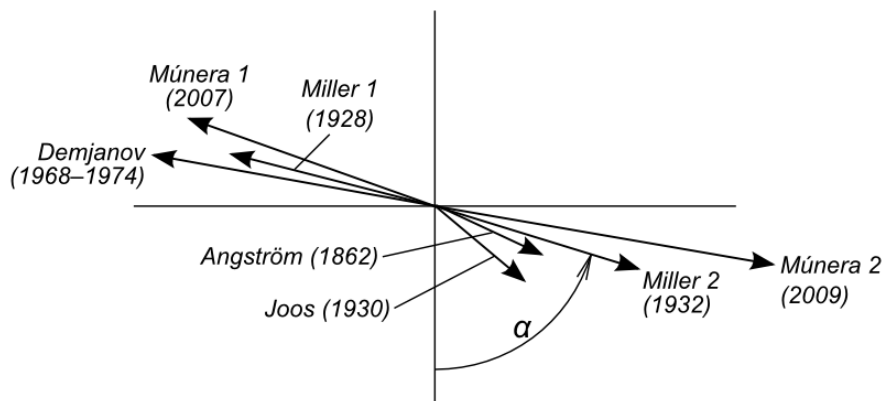
Variant	Vektori V määramine	uurija(d)	Angström	Michelson	M&M	Miller	Joos	Múnera jt.				
		aasta(d)	paik	geogr. laius	Maa puutuja	TVG telg *)	1862	1881	1887	1925–26	1930	2003–05
			Uppsala	Potsdam	Cleveland	Mt Wilson	Jena	Bogotá				
			58°51,5'	52°24'	41°29'	34°14'	51°	4°36'				
			31°8,5'	37°36'	48°31'	55°46'	39°	85°24°				
			65°/245°	58°/238°	59°/239°	65°/245°	65°/245°	77°/257°				
I	$V = 1...2 \times V_{TVG}$ $\alpha \approx \alpha_{TVG} - 180^\circ$ $\delta = \pm \delta_{TVG}$	V , km/s	22,5	22,5		–	30	–				
		α	65°	70°		–	50°	–				
		δ	17°	25°		–	–17°	–				
II	$V = 1...2 \times V_{TVG}$ $\alpha \approx \alpha_{TVG}$ $\delta = \pm \delta_{TVG}$	V , km/s			51		30					
		α			239°		230°					
		δ			–17°		17°					
III	$V > 100$ km/s $\alpha \approx \alpha_{TVG} (+180^\circ)$ $\delta \approx -$ Maa puutuja	V , km/s	–	–	–	208		500				
		α	–	–	–	73,5°		250°				
		δ	–	–	–	–70,5°		–75°				
IV	$V > 100$ km/s $\alpha \approx \alpha_{TVG} (+180^\circ)$ $\delta \approx +$ Maa puutuja	V , km/s	–	–	–	~200		365				
		α	–	–	–	262,5°		81°				
		δ	–	–	–	65...68°		79°				

*) Arvestades tähtedevahelise gaasi suhtes liikumise suuna tõenäolist muutust aastate jooksul, vt. [A2] joon. 20. Joosi katse puhul:

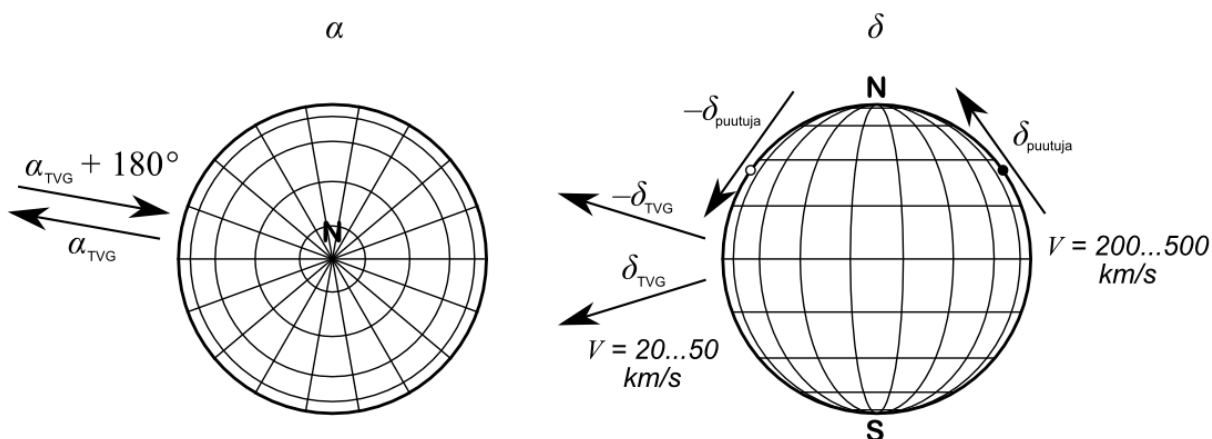
I – hea asimuudi käigu lähendus;

II – hea amplituudi käigu lähendus.

Aastaringsete vaatluste puhul leiti kosmilise vektori deklinatsioon olevat selgelt lähedane maapinna puutuja suunale. Teisalt on aga lühiajalised katsed sooritatud kaugamal põhja pool – võib olla, et kõikidel juhtudel on siiski määrav maapinna puutuja suund.



Joonis A8. Eri uurijate määratud Milleri mudeli kohase kosmilise eetrituulevektori rektastsensioonid. Graafik hõlmab vaid interferomeetrilisi katseid ja Ångströmi difraktsioonikatset. [A3] eeskujul.



Joonis A9. Formaalne skeem eetrituulekatsete tulemuste lähendamiseks Milleri mudeliga.

Viited

[A1] A. Kruusing, Valguse kiiruse sõltuvus suunast Michelson-Morley katse tulemuste järgi. The general science journal, 2014.

[A2] A. Kruusing, Joosi eetrituulekatse. The general science journal, 2015.

[A3] H. A. Múnera et al., Observation of a non-conventional influence of earth's motion on the velocity of photons, and calculation of the velocity of our galaxy. Progress in Electromagnetics Research Symposium PIERS-2009, Peking, 23–27 March 2009.