

<b>ÕPPEMOODUL II: MIS ON VALGUS?</b>	<b>16</b>
<b>1 Kas valgus koosneb osakeste voost?</b>	<b>16</b>
1.a Newtoni valgusosakeste teooria	16
1.b Foucault katse, mis võrdleb valguse kiirust õhus ja vees	18
<b>2 Kas valgus koosneb lainetest?</b>	<b>19</b>
2.a Christiaan Huygeni oletused	19
2.b Kuidas saavad valguskiired üksteist läbistada?	20
2.c Milline ümberpaigutus toimub, kui eraldi lained ühinevad?	20
2.d Lainefront, lainepikkus, periood	21
2.e Laine kiirus	22
<b>3 Kuidas Huygens seletas valguse omadusi</b>	<b>23</b>
3.a Huygeni printsiip	23
3.b Peegeldumise ja murdumise seletamine laineteooriat kasutades	23
3.c Difraktsiooni seletamine laineteooria kaudu	24
<b>4 Topeltpilude katse valgusega</b>	<b>25</b>
4.a Miks ilmnevad topeltpilude katses minima ja maxima?	25
4.b Erinev kaugus, erinev faas	26

TÕLGE:



**Autorile viitamine-mitteäriline eesmärk-jagamine samadel tingimustel 4.0 rahvusvaheline (CC BY-NC-SA 4.0)**



Kasutamine järgmistel tingimustel:

- Autorile viitamine — te peate [kohaselt viitama](#), litsentsi lingi andma ning [näitama ära võimalikud tehtud muudatused](#). Seda võib teha mõistlikul viisil, kuid mitte selliselt, mis võib tekitada väärarusaama, et litsentsiandja tõstab teid või teie poolt teose kasutamist esile.
- Mitteäriline eesmärk — Te ei või materjali kasutada [ärilistel eesmärkidel](#).

Te võite:

- jagada — materjali iga meediumi vahendusel ja igas formaadis kopeerida ja levitada
- kohandada — materjali segada, muuta ja täiendada

Litsentsiandja ei saa teile seda keelata, senikaua kui järgite litsentsi tingimusi.

Peate sellele tööle viitama järgmiselt:

Frans R., Tamassia L. (2014) Quantum SpinOff Learning Stations. Centre for Subject Matter Teaching, KHLim Katholieke Hogeschool Limburg, Diepenbeek, Belgium

# Õppemoodul II: Mis on valgus?

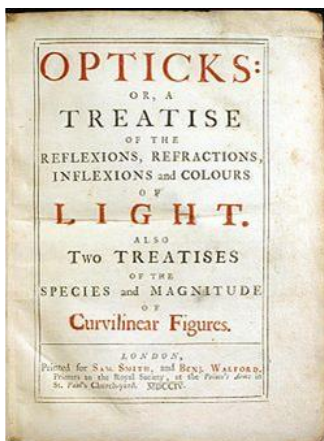
## 1 Kas valgus koosneb osakeste voost?

Valgus on kõikjal. Seetõttu võiks arvata, et teadlastel on lihtne avastada, mis valgus on ning kuidas see tegelikult töötab. Kuid nagu on selgunud: valgus ei taha oma saladusi kergekäeliselt avaldada. Füüsikud on kaua murdnud pead küsimuse üle: kas valgus on aineosakeste kiirgus või pigem laine?

Valguse tõelise olemuse mõistmine on füüsikuid kuni tänapäevani tegutsema pannud – alates antiikajast kuni moodsa kvantfüüsika ajastuni. Nii et asugem rännakule, et avastada, mis valgus tegelikult on.

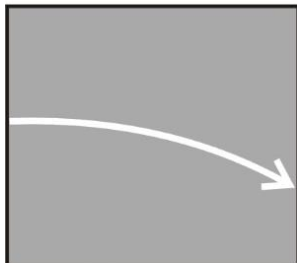
### 1.a Newtoni valgusosakeste teooria

Umbes aastal 1700 oletas suur Newton, kes sõnastas kolm mehaanika põhiprintsiipi ja gravitatsiooni universaalse seaduse, et valgus koosneb väikestest osakestest. Ta arvas, et neil valgusosakestel, nagu teistelgi aineosakestel, on loomulikult ka mass.



*Joonis 1 Newton selgitas oma töös "Opticks" valguse omadusi osakeste teooriaga (1704). Kuid hilisemas väljaandes tutvustas ta kõikehõlmavat eetrit, mil olid mõned laine omadused. Aineosakesed reageerisid eetriga. (Allikas: Wikipedia avalik domeen).*

#### Gravitational field



Kuna Newtoni aineosakeste valgusteoorias on valgusosakestel mass, järeldas ta, et Maa pinnaga paralleelne valguskiir paindub Maa gravitatsioonivälja tõttu allapoole. See tähendab, et valguse trajektoor oleks parabool, mitte sirgjoon. Valgus liiguks paraboolis nagu horisontaalselt välja tulistatud suurtükk.

Põhjus, miks me aga seda efekti tähele ei pane, on Newtoni arvates see, et valguse kiirus on väga suur. Valguse kiirus oli Newtoni ajal veel tõepoolest teadmata, kuid Galilei oli varasemalt näidanud, et see on kindlasti ülikiire ning võimalik, et lõpmatult kiire.

Siiski oli Newton võimeline oma osakeste teooria kaudu valguse geomeetrilisi omadusi väga hästi kirjeldama. Ka oma põhikooliaastatel kirjeldasite valgust kui kiiri ning seletasite

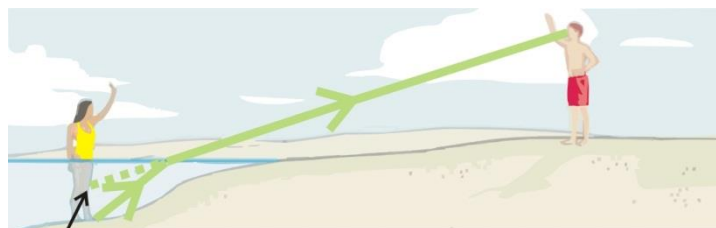
paljusid valguse omadusi geomeetrilise optika abil, just nagu Newton. Kiiri võib teatud ulatuses tõepoolest tajuda osakeste voona.

**i) Nimeta vähemalt kolm valguse omadust (geomeetrisest optikast), mida saab seletada, mõeldes valgusest kui osakeste voost.**

Omadus	Visanda see nähtus	Kas saad seda valguse omadust seletada osakeste teooria kaudu?
1. Valgusel on pidev kiirus		
2. ...		
3. ...		

**Kuid kas pole valgusel omadusi, mida ei saa osakeste teooria kaudu seletada?**

Näiteks valguse murdumine või paindumine. See juhtub, kui kiired lähevad ühest keskkonnast teise keskkonda.



Foot appears to be here

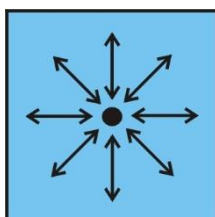
Joonis 2 Valguskiired murduvad keskkonna vahetudes.

**ii) Kas saad valguse murdumist seletada, eeldades, et valgus on osakeste voog?**

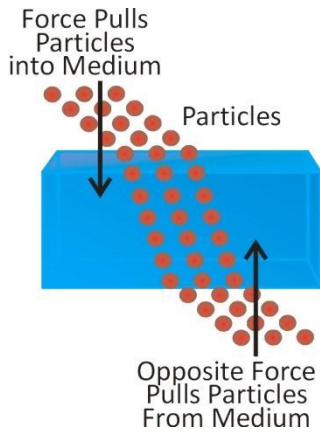
**jah/ei**

.....

Kuid Newton seletas **ka murdumist oma osakeste teooriaga!** Vaatame, kuidas ta seda tegi.



Newton arvas, et kui valgusosakesed satuvad keskkonda, näiteks õhku või vette, tõmbuvad nad selle keskkonna osakestega nendevahelise jõu (gravitatsiooni) tõttu. Keskkonna (nt õhu või vee) sees ümbritsevad valgusosakesi võrdselt selle keskkonna osakesed. Selle tulemusena avaldab külgetõmbejõud kõikidele külgedele võrdselt survet, muutes lõpliku jõu nulliks. Seega ei avalda see valgusosakestele mõju ning valgus läheb edasi sirge joonena, kuniks ta püsib samas keskkonnas.



Kuid keskkonna piiril toimub muutus. Minnes õhust vette, murdub valgus normaali poole (= joon, mis on pinnaga risti). Newtoni kohaselt juhtub see seetõttu, et vees on rohkem materiat kui õhus ning valgusosakesi tõmbab tihedama keskkonna poole. Selle tulemusena osakeste voog nihkub, paindub järsku ning toimub **murdu mine**.

Newtoni selgitus tundub töötavat. Kes teab. Kuid sellest mõttekäigust saab teha järelduse valguse kiiruse kohta tihedas keskkonnas võrreldes valguse kiirusega hõredas keskkonnas.

Joonis 3 Keskkondade piiril pole ruumilist sümmetriat: üleval on õhusakesed ja all on veeosakesed. Tihedam keskkond, praegusel juhul vesi, põhjustaks Newtoni teooria järgi kogukiirenduse vee poole. Valgusosakesed kiirendavad vee poole, mis põhjustab valgusvoos nihke. (Allikas: olympusmicro)

iii) **Mida saab Newtoni mõttekäigust järeldada valguse kiiruse kohta vees võrrelduna valguse kiirusega õhus?**

Vali:

$$v_{vesi} < v_{õhk}$$

$$v_{vesi} > v_{õhk}$$

$$?$$

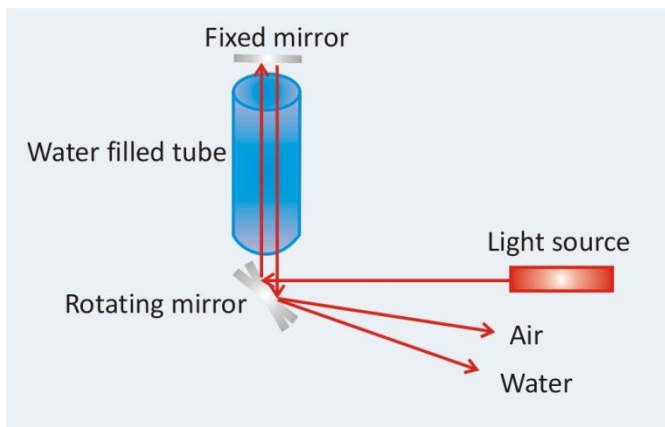
Seleta:

.....

.....

Te saate seda oletust katsega kinnitada! Kas see pole mitte füüsika puhul hea! Just seda tegi 1862. aastal tegi Léon Foucault (seesama Foucault, kes kasutas Maa pöörlemise tõestamiseks pendlit). Foucault viis läbi järgmise katse, et lõpuks teada saada, kas valguse kiirus on tihedas keskkonnas suurem kui hõredas.

1.b Foucault katse, mis võrdleb valguse kiirust õhus ja vees



Joonis 4 Foucault katse, milles võrreldakse valguse kiirust õhus ja vees. Allolev peegel tiirleb kella suunas. (Allikas: University of Virginia <http://galileo.phys.virginia.edu>).

*Foucault seadis katse üles Pariisis asuvas vaatlusjaamas. Ta keerutas peeglit (tol ajal saadavaloleva aurumootori abil!). Peegel pöörles kiirusega 24.000 pööret minutis!*

*Ta lasi valgusallikal peegli peale paista. Valguskiir läks torust üles ja peegeldas toru peale kinnitatud peeglile. Pärast seda, kui valgus peegeldas taas alla pöörlevale peeglile (mis oli nüüdseks veidi edasi pöörelnud), tuli valgus tagasi valgusallikast veidi allapoole (kohta, kus joonisel on sõna „air“).*

*Seejärel kordas Foucault oma katset, kuid seekord veega täidetud toruga. Kui valguse kiirus vees on suurem kui õhuga täidetud torus, tuleb valgus varasemast kiiremini pöörleva peegli tagasi (ja peegel on vähem edasi pöörelnud), ning peegeldunud kiir tuleks välja **ülalpool** seda kohta, kus õhuga tehtud katse puhul kiir väljus.*

*Katse näitas siiski, et peegeldunud kiir tuli veest välja **allpool** seda kohta, kus õhuga tehtud katse puhul kiir väljus. See oli kindlaks tõendiks, et valguse kiirus vees on (VÄIKSEM/SUUREM) kui valguse kiirus õhus!*

Foucault katse ei andnud Newtoni valgusosakeste teooriale asu... See näitab ideaalselt, kuidas võib üks briljantne teooria, nagu Newtoni oma seda oli, sattuda raskustesse, kui see eeldab midagi (nt seda, et valguse kiirus on tihedamates ainetes suurem), mida ei saa katsetustega tõestada. See on midagi teadusele omast. Füüsik nagu Newton, kes oli edukas mehaanikas, oli siiski edutu oma „valguse mehaanikaga“.

Oli selge, et valgus ei järgi Newtoni osakeste mehaanikat. Kas võib olla tõsi, et valgus on pigem laine?

## 2 Kas valgus koosneb lainetest?

### 2.a Christiaan Huygeni oletused

Hollandlane Christiaan Huygens (1629-1695) arvas – erinevalt samal ajal elanud kuulsast Newtonist – et valgus on laine. Ta eeldas, et valgus võib tõusta vibratsioonina, mis levib ruumis edasi lainena. Umbes nagu vibreeriv objekt tekitab helilaineid, mis edasi kanduvad; nagu vee pinnal tekkiv vibratsioon paneb veelained liikuma.

Ta arendas oma teooriat teoses „Traité de la Lumière“ (1690), mis muide ilmus veidi enne Newtoni teooriat. Huygens tugines järgmistele eeldustele:

1. Valguse kiirus on väga suur, mistõttu on ebatõenäoline, et valgus koosneks osakeste voost. Sellise kiirusega liikuvatele osakestele avalduks Newtoni 2. seaduse kohaselt tugev vastujõud. See vastujõud põhjustaks nende seiskumise, just nagu laual veerev pall jõu tõttu peatub.
2. Kaks valguskiirt paistavad üksteisest läbi ilma üksteist mõjutamata. Kuidas saavad nad osakestest koosneda? Osakesed pörksid üksteisega.
3. Murdumise nähtust saab seletada, eeldades, et valguse levimise kiirus muutub olenevalt selle läbitavast keskkonnast: valguse kiirus *väheneb* tihedas keskkonnas (vastupidiselt Newtoni teooriale selle suurenemise kohta)!

Vaadakem nüüd valguse teist omadust – seda, mis tihti tähelepanuta jääb!

## 2.b Kuidas saavad valguskiired üksteist läbistada?

Iga laps näeb, kuidas kiired ristuvad selliselt, nagu nad poleks kunagi teineteisega kokku põrganud. Seda näeb iga päev ning just see nähtus pani Huygensi sügavalt kahtlema Newtoni arvamuses, et valgus koosneb osakeste voost. Huygens mõtiskles:

**Kuidas saavad kaks valguskiirt üksteist läbistada ilma, et osakesed üksteisega kokku pörkaks?**



**Kui kaks kiirt ristuvad ja jätkavad ilma üksteist häirimata endiselt sama teekonda, siis kuidas nad saavad koosneda osakestest?**

Huygens mõistis, et lainetel, ja mitte osakestel, on võime üksteisest puutumata läbi minna. Nad jätkavad oma teekonda, nagu midagi poleks juhtunud.

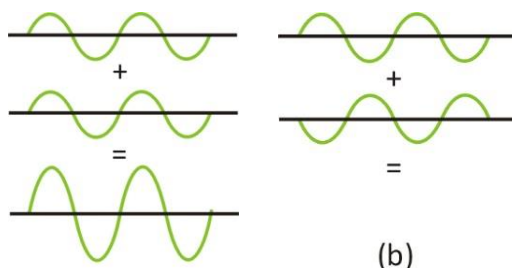
Vaata alloleval lehel heli ja vibratsiooni instituudi (University of Southampton, UK) animatsiooni (inglise keeles). Näete, mis juhtub, kui kaks lainet kohtuvad. <http://web.bryanston.co.uk/physics/Applets/Wave%20animations/Sound%20waves/Superposition%20of%20Waves.htm>

## 2.c Milline ümberpaigutus toimub, kui eraldi lained ühinevad?

Okei, nad lähevad üksteisest läbi. Aga mis juhtub nende paigutusega ristlõikes? Vaata vajadusel uuesti animatsiooni.

.....

Kaks lainet lähevad üksteisest läbi. Ristlõikes toimub ümberpaigutus, mis on eri lainete ümberpaigutuste summa. See nähtus on lainetele omane ning seda kutsutakse *superpositsiooniks* või *interferentsiks*. Superpositsioon võib põhjustada kahe laine võimendamise, kuid ka üksteise kustutamise. Vaata, kuidas ümberpaigutused rakenduvad.



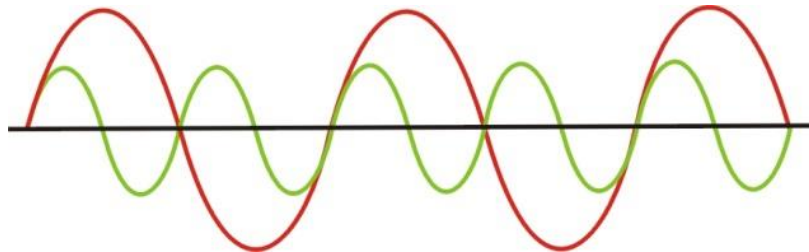
(a)

(b)

Kui ühe laine hari kohtub samas kohas teise laine põhjaga, on lained selles punktis VASTANDfaasis. Lained tõmbavad üksteist maha. Kas oskad visandada lainet, mis on tulemuseks joonisel b?

Joonisel (a) nähtuvat kutsutakse **tõusinterferentsiks** või superpositsiooniks. Joonisel (b) nähtuvat kutsutakse **destruktiivseks interferentsiks** või superpositsiooniks.

Joonista allpool olevate üksteist läbistavate lainete ümberpaigutuse tulemus. Mida pead tegema, et igas kokkupuutepunktis toimuv ümberpaigutus määrata?



## 2.d Lainefront, lainepikkus, periood

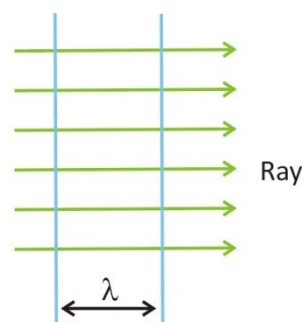
Kui viskad kivi tasesse vette, ilmuvad üha suurenevad ringid. Need ringid koosnevad osakekestest, mis hakkavad võnkuma. Kõik samal *laineharjal* olevad osakesed liiguvad ühel ajal üles ja alla.

Tegelikult on lõpmatu arv laineharju, kuid me joonistame laineharjad üksnes neile osakestele, mis asuvad positiivsel maksimumil.

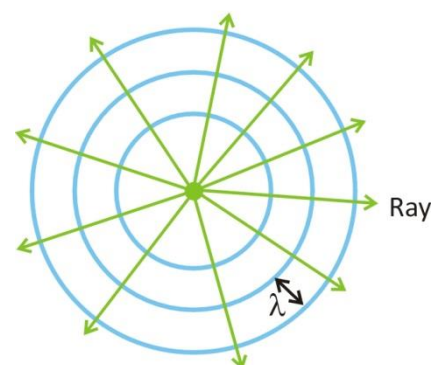
Laineharjadel võib olla erinev kuju:

- sirged või tasandilised: neid kutsutakse **tasalaineteks**, nt helilaine tunnelis;
- ringid: need on **keralained**, nt lained veepinnal;
- sfäärilised: need on **sfäärilised** lained, nt helilained ruumis.

Plane wavefront



Spherical wavefront



**Kiired** näitavad laineharja liikumise suunda. Kiired on laineharjadega risti.

Lainemuster kordab end teatud vahemaa tagant, seda kutsutakse **lainepikkuseks  $\lambda$** . Selle vahemaa jooksul avaldub lainele omane muster. Märkige alloleval pildil lainepikkus neljas kohas:



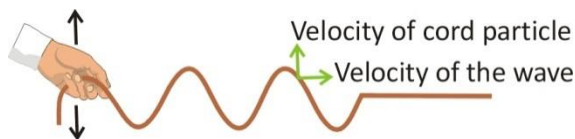
*Aega*, mis lainel kulub ühe täisulatuses lainepikkuse läbimiseks, kutsutakse laine **perioodiks** ( $T$ ). Näiteks võib lainel minna  $\frac{1}{2}$  sekundit ühe lainepikkuse läbimiseks. See laine teeb täisvõnke ... korda sekundis ning selle **sagedus** on seega 2 Hz.

Laine, mis läbib ühe lainepikkuse  $\frac{1}{10}$  sekundiga, teeb täisvõnke ... korda sekundis. Selle laine sagedus on ..... Hz. (Hz tähendab „sekundis“)

Sagedus ja periood on seega pöördvõrdeliselt seotud:

$$f = \frac{1}{T}$$

## 2.e Laine kiirus



Foucault leidis, et valguse levimise kiirus vees on (suurem/väiksem) kui õhus. Huygens kasutas seda murdumise nähtuse seletamiseks.

Laine kiiruse, pikkuse ja perioodi suhe on järgmine:

Laine kiirus  $v$  on loomulikult  $v = \frac{\text{läbitud vahemaa}}{\text{aeg}}$

Kui läbitud ajaks märkida üks lainepikkus, siis saame lainete põhisuhte:  $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$

Laine kiirus on lainepikkus korrutatud selle sagedusega. Laine tegelik kiirus sõltub keskkonna omadustest, nt selle tihedusest, kokkusurutavusest ja rõhust.

Heli kiirus õhus (20°C juures) on 343 m/s, kuid vees on see umbes 1500 m/s. Valguse kiirus vaakumis on (umbes) 300.000 km/s või  $3,0 \times 10^8$  m/s. Valguse kiirus tahketes materjalides (nt klaasis) on sellest madalam.



**Küsimus:** raadiomoodul edastab raadiolaineid sagedusel 88,1 MHz. Mis on nende raadiolainete lainepikkus? (vastus: 3,4 m)

.....

### 3 Kuidas Huygens seletas valguse omadusi

#### 3.a Huygensi printsiip

Mingem tagasi Huygensi mõtete juurde. Ta arvas, et kui tahta nt vees teha tasalaineid, siis võib selles hoida lamedat lehte ning teha vertikaalseid üles-alla liigutusi.

Huygens hakkas mõtlema, kas sellist lainet saaks luua vaid mõne laineallika abil. Paberilehe asemel võib kasutada näiteks markereid, mis laine teekonnal üles-alla liiguksid. Kas need laineallikad, tegelikult keskpunktid, moodustaksid uue laineharja? Proovi seda, pöörates tähelepanu sellele, et markerid ühes faasis võnguksid (liigutage neid koos üles-alla).

Huygens selgitas: kõik need keskpunktid tekitavad keralaineid. Lained hääbuvad ja jõuavad pärast teatud vahemaad samasse kohta: nad lähevad üksteisest läbi (nagu lained teevad!) ning ümberpaigutusel rakenduvad üksteisega. Pool lainepikkust tagapool kohast, kus võnkuvad markerid moodustasid laineharja, liituvad nende ümberpaigutused kõik kokku, ning luuakse uus lainehari!

Plane wavefront



Spherical wavefront



Huygens leidis, et see on lainete uus printsiip:

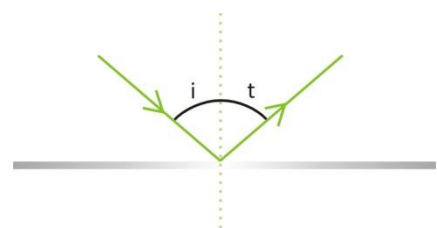
*Lainefrondi iga punkti võib vaadelda keskpunktide seeriana, mis ühes faasis võnguvad. Neist eralduvad keralained ning see põhjustab uue lainefrondi moodustumise poole lainepikkuse kaugusel.*

Seda kutsutakse **Huygensi printsiibiks**.

#### 3.b Peegeldumise ja murdumise seletamine laineteooriat kasutades

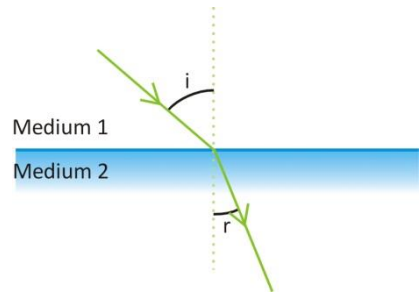
Huygensi printsiipi kasutades saab seletada:

- miks on peegeldumisel langemisnurk sama, mis peegeldamisnurk;



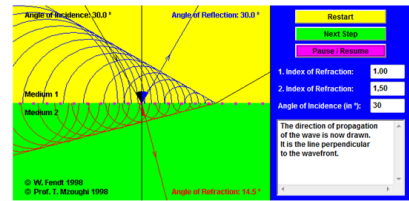
- valguse murdumisel ühest keskkonnast teise üleminekul, on langemisnurga siinus  $i$  ja murdumisnurga siinus  $r$  vahel kindel suhe (refraktsiooniindeks). Huygens näitas, et murdumisnurgad moodustuvad täpselt valguse levimise eri kiiruse tõttu eri keskkondades. Tegelikult ta demonstreeris, et refraktsiooniindeks  $n$  võrdub täpselt esimese ja teise keskkonna lainekiiruste suhtega.

$$\frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{1 \rightarrow 2} = cte$$



Reflection and Refraction of Waves (Explanation by Huygens' Principle)

the reflection and the refraction of waves by the principle of Huygens. Explanations for each the "Next Step" button. You can stop and continue the simulation by using the "Pause / Restart" button. The medium with the smaller index of refracti



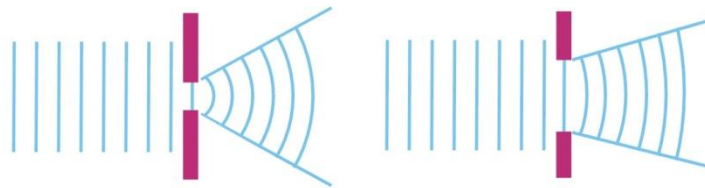
Selle apleti abil saate Huygensi arutluskäiku jälgida (apleti autor Walter Fendt, inglise keeles): [www.sciencejoywagon.com/physicszone/otherpub/wfendt/huygens.htm](http://www.sciencejoywagon.com/physicszone/otherpub/wfendt/huygens.htm)

*Just laine kiiruse muutus teise keskkonda sisenemisel põhjustab selle laine murdumise.*

### 3.c Difraktsiooni seletamine laineteooria kaudu

Lained võivad peegelduda, murduda ning ka painduda takistuse ümber või avanemisel. Seda kutsutakse **difraktsiooniks**. Seda näitavad hästi helilained: sa oled võimeline kuulma lähedal toas räägitavat juttu, kui uks on lahti.

Difraktsiooni võib seletada ka Huygensi printsiibi abil: iga punkt avanemisel või takistuse äärel käitub keskpunktina, mis tekitab laineharju igasse suunda.



Klõpsake selle nähtuse kohta illustratsiooni nägemiseks lingil: [http://www.wainet.ne.jp/~yuasa/flash/Huygens\\_diffraction.swf](http://www.wainet.ne.jp/~yuasa/flash/Huygens_diffraction.swf)

Difraktsiooni hulk sõltub avanemise või takistuse suuruse proportsioonist lainepikkusega. Helil on suur lainepikkus: arvuta nt heli lainepikkus sagedusel 440 Hz.

..... (Vastus 0,773 m).

Avanemised ja takistused, mille suurusjärg on võrreldav helilaine omaga, tekitab neile lainetele märkimisväärse difraktsiooni.

Nähtaval valgusel on seevastu väga väike lainepikkus: nt punase valguse lainepikkus on umbes 650 nm. Seetõttu on valguse difraktsioon märgatav üksnes väga väikeste takistuste ja avanemiste puhul.

**Näide:**

- Kiirteel olevad helitõkestid ei loo absoluutset vaikust nende ülaserval tekkiva difraktsiooni tõttu. Tõkesti taga olev heli on rohkem summutatud kui selle ees. Siiski painduvad suurema lainepikkusega lained (madalamad toonid) rohkem kui väiksema lainepikkusega lained.

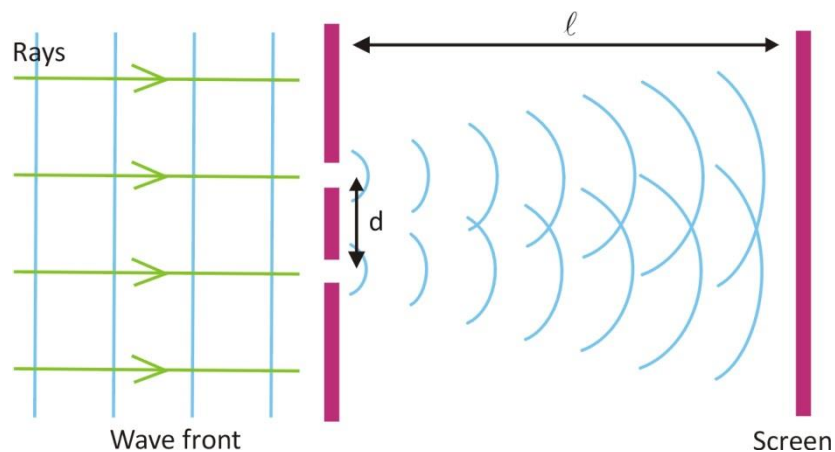
## 4 Topeltpilude katse valgusega

1803. aastal demonstreeris Thomas Young (1773-1829), et topeltpilude katses tekib lainete interferents, mis on lainete põhiomadus! Kuigi usuti, et see katse tõestab lõplikult, et valgus koosneb lainetest, jäi nende lainete tõeline olemus siiski avamata. Mis see siiski valguslainetes vibreeris? Järgmises õppemoodulis arutame, millest valguslained tegelikult koosnevad.

Aga esmalt uurime kuulsat topeltpilude katset valgusega.

### 4.a Miks ilmnevad topeltpilude katses minima ja maxima?

Valgusallikas levitab valgust tasalainete harjadena. Nad jõuavad topeltpiludega takistuseni. Huygeni printsiibi järgi tekib lainehari, mis paindub ning jõuab pilude taga olevate punktideni.



Kõik katse elemendid on selgelt märgitud ülal asuvale joonisele. Eri dimensioonide ja teepikkuste suhted ei selgita *reaalset* topeltpilude katset. Pilud on palju kitsamad kui nende vaheline osa  $d$ . Pilusid võib näha *punktikujulistena*. Ning ekraan on piludest palju kaugemal.

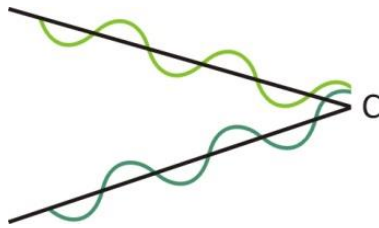
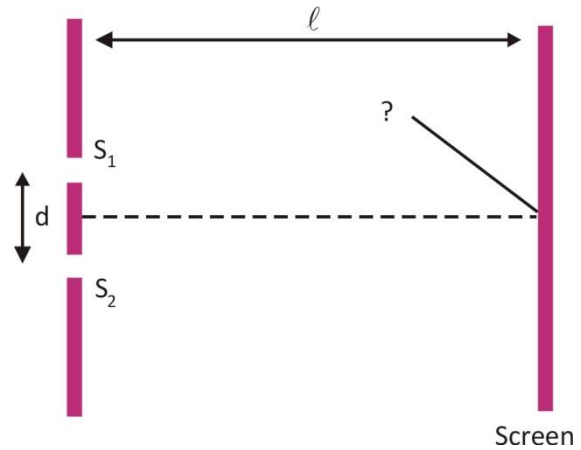
Kuidas on võimalik, et ekraanile ei ilmugi valgust või ilmub valguse muster?

Pilude taga on kaks lainet kerakujuliste lainefrontidega, mis teatud piirkonnas üksteisega kattuvad. Nad rakenduvad või *interfereeruvad*. Kuna need kaks lainet olid enne pilu üks, on nad pilu juures põhimõtteliselt samas faasis: nad käivad koos üles-alla. Kuid pilude taga ei tarvitse need lained enam sama teekonda läbida, mistõttu ei pruugi nad enam olla samas faasis.

### 4.b Erinev kaugus, erinev faas

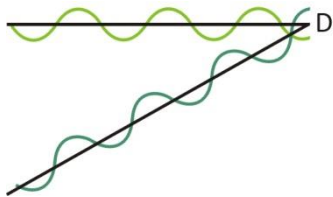
**Mida näed kahe pilu taga keskel?  
Kas kirkast punkti või mitte? Miks?**

.....  
.....



Täpselt kahe pilu taga olevas piirkonnas (tähistatud C-ga) on mõlemad lained läbinud sama kauguse. Lained olid pilude juures samas faasis ning on seda ka punktis C. Lained võnguvad ühes taktis ning kaks lainet võimendavad üksteist: ilmneb kirkas maxima (*tõusinterferents*).

Sellest keskel asuvast punktist pisut vasakul (või paremal) on üks pilu kaugemal kui teine. See tähendab, et lained ei liigu enam ühes faasis. Tulemusena toimub ühisest taktist mõningane kõrvalekaldumine.



Kindlas nurgas erineb ühest pilust tulev valgus täpselt poole lainepikkuse võrra teisest pilust tulevast valgusest: kui üks laine liigub alla, siis teine laine liigub üles. Kui lainete amplituud on sama, elimineerivad lained üksteist (vt joonisel punkti D). Ilmneb *destruktiivne interferents*.

Suuremate nurkade puhul on läbitud vahemaa pikkus jälle üks lainepikkus. Mõlemad lained on neis kohtades jälle ühes faasis ning võimendavad üksteist: ilmneb maxima. Nurka veidi veel laiendades ilmneb jälle minima, ja nii edasi. Nii tekib maxima ja minima muster.

**Praktiline tegevus: Kui valguse lainepikkus väheneb, siis kas näeksid ekraanil rohkem või vähem maximat? Selgita, miks.**

.....  
.....