

<b>III ÕPPEMOODUL: MIS VÕNGUB VALGUSEGA?</b>	<b>42</b>
<b>1 Mehaanilised lained</b>	<b>42</b>
1.a Mehaaniliste lainete allikas	42
1.b Kas on vaja keskkonda?	42
1.c Kas levimine ja nihe on sama- või erisuunalised?	43
1.d Kas osakesed liiguvad piki lainet?	44
1.e Valguslainete allikas	45
<b>2 Valgus: mis siis ikkagi võngub?</b>	<b>46</b>
2.a Jõu(väljad), mis suudavad liikuda läbi tühja ruumi	46
2.b Väljad, mis muutuvad ajas: laineväljad	48
2.c Elektromagnetlained	49
<b>3 Elektromagnetspekter</b>	<b>51</b>
<b>4 Elektromagnetlainete meri</b>	<b>51</b>
<b>5 Rutherfordi aatomimudeli lõpp</b>	<b>52</b>
<b>6 III õppemooduli mõisted</b>	<b>52</b>

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 või 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 järgnevalt:

Frans R., Tamassia L., Andreotti E. (2015) Quantum SpinOff Learning Stations. Art of Teaching, UCLL, Diepenbeek, Belgium



Quantum Spin-Offi rahastab Euroopa Liit LLP Comenius programmi kaudu (540059-LLP-1-2013-1-BE-COMENIUS-CMP).

Renaat Frans, Hans Bekaert, Laura Tamassia, Erica Andreotti

Kontakt: [renaat.frans@khlm.be](mailto:renaat.frans@khlm.be)

See teave kajastab ainult teksti autori seisukohti ning Euroopa Komisjon ei ole vastutav selle informatsiooni kasutamise eest

## Sissejuhatus 1. osasse: Milleks kvantfüüsika?

Õppemoodulite 1. osas uurime kvantfüüsika päritolu, alustades nähtustega, mida klassikaline füüsika ei suutnud seletada. Samm-sammult püüame neist nähtustest aru saada. Õppemoodulites käsitleme kõrvuti klassikalise füüsika ja kvantfüüsika mõisteid, et paremini aduda, kuidas kvantfüüsika on aidanud meil universumi toimimist mõista. Kuna klassikalise füüsika mõisted on kvantmaailma mõistmiseks väga olulised ja õppemoodulites leiavad käsitlust mõlemad, on iga peatüki lõpus toodud kokkuvõtte peamistest klassikalise füüsika ja kvantfüüsika mõistetest. See kokkuvõtte on harjutuse vormis, andes õpilasele võimaluse neid kahte "tüüpi" mõisteid eristada ja õpitud materjal veelkord üle vaadata.

Järgnevalt tutvustame iga õppemooduli sisu, et enne õppemoodulitega töö alustamist anda õpitavast parem ülevaade ja saada selgust, kust alustame ja kuhu välja tahame jõuda.

### **I õppemoodul:** Seletamatu nähtus

Meie teekond algab elektronidega tehtava kahe pilu katsega: kas väikestel osakestel on kindel trajektoor, nagu näeb ette klassikaline füüsika? Kas saame vaadeldavaid nähtusi seletada, mõeldes elektronidest kui väga väikestest osakestest? Võrdleme kahe pilu katseid, mida tehakse liiva, elektronide ja valgusega, ning püüame mõista mateeria ja valguse loomust – kas saame ikka veel tõmmata selge piiri meie maailma lainelise ja osakeseline käitumise vahele?

Seejärel püüame seletada molekulide omadusi, mida klassikaline füüsika ei ole suutnud siiani seletada. Vaatame elementide kiirgus- ja neeldumisspektreid ning mõtleme, kas need on seletatavad Rutherfordi klassikalise aatomimudeliga või vajame selleks hoopis kvantfüüsika mõisteid.

### **II õppemoodul:** Mis on valgus?

II õppemoodulis alustame kahe pilu katse tulemustest ja keskendume valguse loomusele. Valguse käitumise mõistmine aitab meil paremini aru saada kõigi osakeste käitumisest ning I õppemoodulis tehtud vaatlustest. Siin on peamiseks küsimuseks, kas valguse käitumist saab seletada, mõeldes valgusest kui osakestest koosnevast kiirest või hoopis kui lainest. Seda uurime klassikalise füüsika abil ning tutvume valgusteooriate ajalooga.

### **III õppemoodul:** Mis võngub valgusega?

Kui valgust pidada laineks, siis peame uurima, mis paneb valguslained võnkuma ja levima. Uurime seda klassikalisele füüsikale tuginedes ning võrreldes valgust mehaaniliste lainetega. Süüvime ka klassikalise füüsika "välja" mõistesse, mis on üheks põhimõisteks ka kvantfüüsikas.

### **IV õppemoodul:** Osakese-laine dualism

Eelnevates õppemoodulites käsitlesime valguse kui laine omadusi, seletades neid klassikalise füüsika abil. Nüüd on aeg astuda samm edasi ja uurida valguse kvantloomust. Mis juhtub, kui teeme kahe pilu katse madala intensiivsusega valgusega? Kas valgus tundub endiselt käituvat ainult lainena? Või näib sel olevat ka osakeselisi omadusi? Selles õppemoodulis arvutame valguskvandi energia, kasutades selleks Plancki-Einsteini võrrandit. Osakese lainepikkuse arvutamiseks tuginame de Broglie' hüpoteesile. Nii avastame, et laine-osakese dualism on valguse ja mateeria üks põhiomadusi.

**V õppemoodul:** Vesiniku kiirusjoonte ennustamine kvantmudeliga

Meie teekonna selles punktis oleme juba tuttavad põhimõistetega, mis on vajalikud selliste nähtuste mõistmiseks, mis ei ole seletatavad klassikalise füüsika abil. Lähme tagasi elementide diskreetsete kiirus- ja neeldumisjoonte juurde ning püüame omandatud teadmiste abil neid mitte ainult seletada, vaid ka arvutada välja vesiniku kiirusjoonte sagedused.

Kõik õppemoodulid on kättesaadavad projekti veebilehel [www.quantumspinoff.eu](http://www.quantumspinoff.eu).

Soovime teile põnevat teekonda läbi tillukeste asjade füüsika, millel on hiiglaslikud rakendusvõimalused!

# III õppemoodul:

## Mis võngub valgusega?

Nüüdseks peaksid olema veendunud, et valgus on laine. Kuid **mille laine?** Me loodame teha kindlaks valguslainete tõelise olemuse: milline on valguslaine?

Kõigepealt vaatleme mehaanilisi lained, mida näeme nõöril ja vees või mida kuuleme helilainetena. Seejärel uurime nende omadusi ja teeme kindlaks, kas need kehtivad ka valguse puhul.

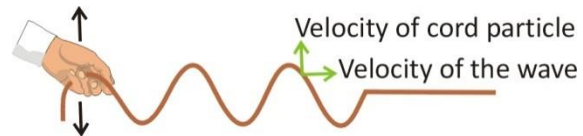
### 1 Mehaanilised lained

#### 1.a Mehaaniliste lainete allikas

Alustuseks mõtle lainele nõöril. Kuidas saada nõör võnkuma? Millest see laine tekib?

.....

Kui Sa vaatad väikest nõöri osa, siis kuidas see liigub, kui laine levib mööda nõöri?



.....

See on tõepoolest algupärane võnkumine, mis levib, kuid nõör seda ise edasi ei kannu... Nii nagu iga heli, tuleneb ka nõöri võnkumine selle allika vibratsioonist. Näiteks mis võngub siis, kui sa kuuled

kitarri heli?.....

klaveri heli?.....

mootori heli?.....

Õhuosakesed ei levi. Edasi kandub hoopis **heli** võnkumine, mis tekitab *helilaine*. Uurime seda lähemalt.

#### 1.b Kas on vaja keskkonda?

**Võnkumine** võib **edasi kanduda** läbi nõöri, sest selles olevad molekulid on omavahel seotud.

**Kas alati on vaja keskkonda, läbi mille  
saab laine edasi kanduda?**

**Kas heli vajab keskkonda?**

Kui sa võngutaksid kitarrikeelt vaakumis, siis kas sa kuuleksid midagi?

*jah/ei* Miks või miks mitte?

.....

Helilaine saab ainult siis levida, kui õhus olevad võnked antakse edasi ühelt molekulilt teisele. Tõepoolest, helilained vajavad edasikandumiseks keskkonda.

*Mehaanilised lained vajavad keskkonda.*

### Kas valgus vajab keskkonda?

Kas **valgus** saab läbida vaakumi või mitte? .....



Mõttele ruumile, mis on **Päikese** ja **Maa** või **tähtede** vahel: seal ei ole õhku ega asju – see on tühi. Sellest hoolimata näeme valgust, mis pärineb Päikeselt ja tähtedelt! Ilmselt saab valgus minna *läbi tühja ruumi*. Kui nii, siis mis liiki laine on valgus?

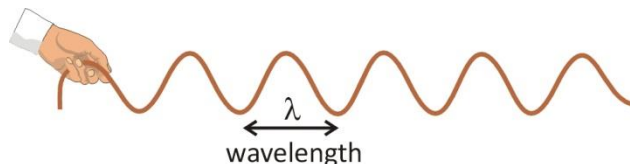
Mõttele paljudele **traadita kommunikatsiooni-vahenditele**, mida me kasutame iga päev, näiteks WiFi, mobiiltelefoni või GPS-võrgu signaalid. Nad kannavad teavet ühest kohast teise lainete kaudu. Kas need lained on oma olemuselt nagu valguslained, mis vajavad levimiseks keskkonda?

Kas need signaalid võivad ka läbi vaakumi edasi kanduda või on selleks vaja õhku või mõnda muud keskkonda? .....

### 1.c Kas levimine ja nihe on sama- või erisuunalised?

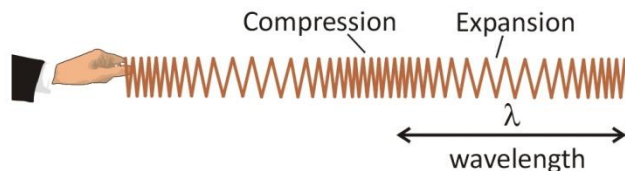
Kui võnkumine kandub edasi läbi keskkonna või ruumi, siis võib tekkida kahte tüüpi laineid. Laine võib edasi kanduda:

- a. risti võnkumise nihkega



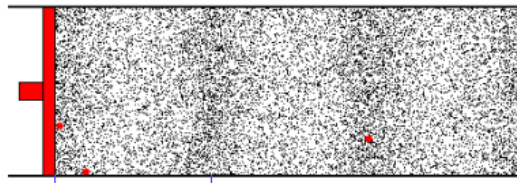
Allikas võngub (vertikaalselt) ja põhjustab läheduses osakeste kaasavõnkumise. On näha lainet, mis on tekitatud horisontaalsuunal. Seega levib võnkumine (samas suunas / ristjoones) laine levimise suunaga. Seda nimetatakse **ristlaine**ks.

- b. paralleelselt võnkumise nihkega



Seekord levib võnkumine (samas suunas / ristjoones) laine levimise sihis. Seda nimetatakse **pikilaine**ks. Sellel on oma laienevad ja kokkusurutud piirkonnad.

Kas helilained on rist- või pikilained?



Joonis 1 Helilaine tekitavad õhuosakesed, mis on rohkem või vähem kokku surutud. See surve paneb laine levima pikisuunal. (Allikas: heli- ja võngete uurimise instituudi õppematerjal, Southampton, UK)

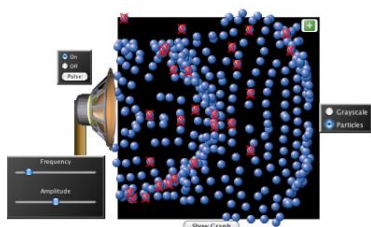
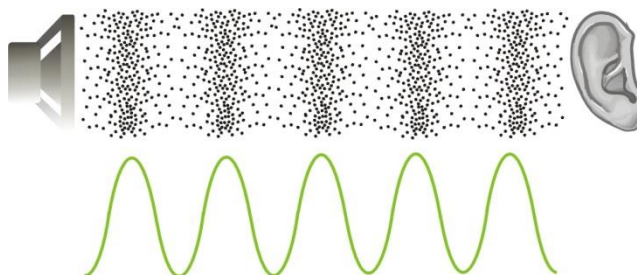
Nüüd ei ole enam nii lihtne välja nuputada, kas valgus, mis pealtnäha ei vaja levimiseks keskkonda, on rist- või pikilaine. Seega uurime, kas valgusel on lainetele omased jooned. Kui nii, siis see toetab meie hüpoteesi, et valgus on võnkumise levimine, teisisõnu laine.

## 1.d Kas osakesed liiguvad piki lainet?

Kas oskad öelda, kas võnkuvad osakesed liiguvad piki laine levimise suunda?

Uuri see välja piki- ja ristsuunaliste lainete teemaliste animatsioonide abil ISVR-i (Southamptoni Ülikooli heli ja vibratsiooni instituudi) veebilehelt (inglise keeles) [http://resource.isvr.soton.ac.uk/spcq/tutorial/tutorial/Tutorial\\_files/Web-basics-nature.htm](http://resource.isvr.soton.ac.uk/spcq/tutorial/tutorial/Tutorial_files/Web-basics-nature.htm)

Osakesed liiguvad edasi-tagasi lokaalselt, kuid neil ei ole üldist liikumist. Laine on midagi, mis on seotud häirituse levimisega. Nihkeenergia on see, mida pidevalt transporditakse ja liigutatakse.



Näiteks helilaines võnguvad osakesed tasakaalupunkti ümber. See, mis liigub, on häiritus: õhuosakesed kannavad võnkeenergia edasi ja põhjustavad lõpuks kuulmekile vibreerimise. Seda illustreerib siinne Phet-animatsioon (inglise keeles): <http://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-interference>

## 1.e Valguslainete allikas

Seega heli tuleneb võnkumisest. Kui see võnkumine levib läbi õhu, siis tekibki helilaine.

Kui valgus on laine, siis võime oletada, et *ka see tuleneb teatavast võnkumisest*. Kuid milline see võnkumine on? Seda ei olegi nii lihtne ette kujutada. Kuid hollandi füüsik Christiaan Huygens taipas, et kui valgus on tõepoolest laine, siis peab see samuti tulenema võnkumisest.

Huygens pakkus, et valgus – kuna see tuleneb tavaliselt kuumadelt objektidelt (küünal, kuum hõõguv metall, miilav puit ...) – pärineb **osakeste tugevast võnkumisest** kuumas materjalis.

Ta pakkus, et valguse võnkumise sagedus on palju suurem kui heli puhul.



*Kuum objekt, nagu Päike või tuline metall, särab valgusest.*

***Kas materjalis olevate osakeste võnked võivad olla valguslainete allikaks?***

Võtame näiteks metallitüki, mida hoiad tules: kas saad metalli värvuse järgi aru, kas see on kuum või väga kuum?



Mida saad järeldada tähtede värvusest?

Punased tähed on „jahedad“, vaid umbes 3000 kelvinit (K), samas kui sinised tähed on kuumemad – nende temperatuurid võivad olla üle 30 000 K. Meie oma armas kodutäht Päike on parajalt kuum – 6000 K.

Pildi vasakus ülaosas näed Orioni tähtkuju. „Vägilase“ keha moodustavate kuumemate sinakate tähtede seast paistab välja jahe punane superhiid Betelgeuse. Tähtkuju alumises parempoolses servas särab sinine superhiid Rigel. Kas leiad nad üles?

*Orioni tähtkuju Nemrut Dagı mäe kohal*

*Türgis. Allikas: Astronomy picture of the Day, Nasa*

**Harjutus:**

Mis on nähtava valguse võnkesagedused? (Vaata järele!) .....

Kas Huygens oletas õigesti, et valgusel on väga kõrge võnkesagedus? (jah/ei)

Kui mitu korda kõrgem on nähtava valguse sagedus 440 Hz heli (muusikas la-noot ehk A) omast?

.....

Niisiis – kuumemad kehad kiirgavad kõrgema sagedusega (punasemat/sinisemat) valgust kui jahedamad kehad. Huygens oletas, et valguse kiirgumise põhjustab mingisuguste aineosakeste võnkumine. Mida kuumem on aine, seda kiiremini osakesed võnguvad.

**Kuid mis võngub valguslaines,  
kui valguslaine on juba ainest lahkunud ning ruumis levimas?**

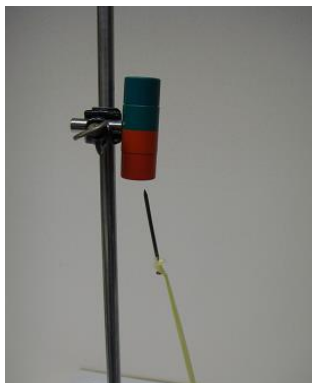
## 2 Valgus: mis siis ikkagi võngub?

Kuna valgus ei vaja levimiseks ainelist keskkonda, ei saa tegu olla mehaanilise lainega, nagu see on helilainete või nõöri lainetamise puhul.

Teame, et valgust ei saa parimagi tahtmise juures taskusse panna. Seega otsime füüsikalisi suurusi, mis ei ole seotud ainega. Võimalikud kandidaadid on *väljad*. Valgus võib tekkida välja tugevuse muutumisega – välja võnkumisega, mis on võimeline levima tühjas ruumis. Kas me tunneme neid välju, mis ei vaja keskkonda ja mis võivad tõepoolest liikuda läbi tühja ruumi, nagu teeb valgus? Uurigem neid välju lähemalt.

### 2.a Jõu(väljad), mis suudavad liikuda läbi tühja ruumi

#### i) Magnetväli



Meenuta oma lapsepõlve ja seda, kui põnev oli mängida magnetitega. Kui hoida kahte magnetit teineteisest teatud kaugusel, siis võib tunda **jõudu**, mida nad vastastikku avaldavad.

Kas need magnetid peavad olema teineteisega **kontaktis**, selleks, et jõudu üle kanda?

.....

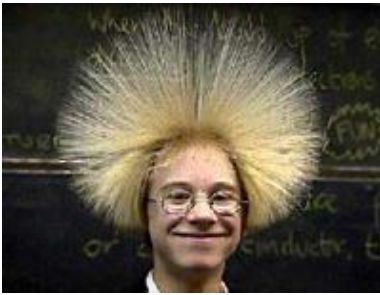
Kas magnetid mõjutavad teineteist vastastikku, kui nad on **vaakumis**? jah/ei

Magnetjõud ei pea üle kanduma läbi keskkonna. Magnet tekitab magnetvälja. Magnetit ümbritsev ala saab uue füüsikalise omaduse – *magnetvälja*.

Kui asetada nael vms magnetvälja, siis jõud kaob. See jõud ei vaja keskkonda, seda tekitab väli ise ja jõud saab mõju avaldada **distantsilt ilma otsese kontaktita**.



**ii) Elektriväli**



Sa oled tõenäoliselt näinud, kuidas juukseid kergitatakse (nailon)kammiga ilma otsese kontaktita. Siin on tegemist elektrijõuga. On olemas ka jõud, mis mõjub distantsilt *läbi välja*. Sinu juuksed ei pea kammiga kokku puutumagi.

Juuste vahel on eemaletõukav elektrijõud, mis mõjub ilma otsese kontaktita!

Kammi ümber ja juuste vahel on **elektriväli**. Kus iganes on elektriväli, seal ilmneb elektrijõud, mis toimib *distantsilt ilma otsese kontaktita*.

**iii) Teised väljad: gravitatsioon**

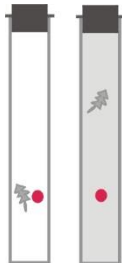


Peale elektri- ja magnetvälja on olemas võib-olla kõige silmanähtavam väli: gravitatsioon. Mis jõud seda põhjustab?

.....

1687. aastal märkis Newton, et näiteks Maa ja Päikese vahel on universaalne gravitatsioonijõud.

Kas see on samuti näide jõust, mis on tekkinud välja mõjul? jah/ei



Kas see jõud mõjub vaakumis või vajab ta keskkonda?

.....

Kas objektid kukuvad maha ka vaakumis?

.....

**iv) Väli on põhimõiste!**

Algul vaidlesid füüsikud palju idee "tegevus distantsilt" üle – jõu üle, mis mõjub kaugusest läbi "mitte millegi". Kuid nemad sidusid selle idee peamiselt välja mõistega. Sellest ajast peale pole välja mõistet kunagi füüsikast lahutatud ja väli on füüsikateooriates kesksel kohal.

Nimeta kolm jõudu, mille on tekitanud väli ja mis toimivad ka vaakumis:

- |    |       |
|----|-------|
| 1. | ..... |
| 2. | ..... |
| 3. | ..... |

Väljadel saab olla allikas. Näiteks on gravitatsiooniväljade allikas mass, elektriväljade

allikas on elektrilaeng ja magnetväljade allikas on magnet või elektrivool.

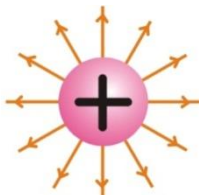
Allika ümber tekib ala, kus ilmneb väli. **Jõud** on **välja** olemasolu **tulemus**.

## 2.b Väljad, mis muutuvad ajas: laineväljad

Niisiis – kas valgus võib olla muutuva elektri- ja magnetvälja laine?

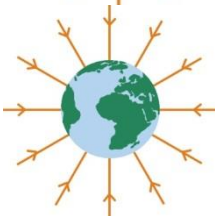
Seni oleme käsitlenud välju, mis ajas ei muutu – nad on staatilised väljad.

### Näide: elektriväli



Kui välja allikas on muutumatu, siis on väli staatiline. Siin on üks näide, kus eemaletõukav väli on ümber positiivse laengu. Füüsikud joonistavad kujuteldavaid jõujooni, mis näitavad välja olemasolu.

Kui sa asetaksid välja sisse teise positiivse elektrilaengu, siis tekiks jõujoonte suunas eemaletõukav jõud.

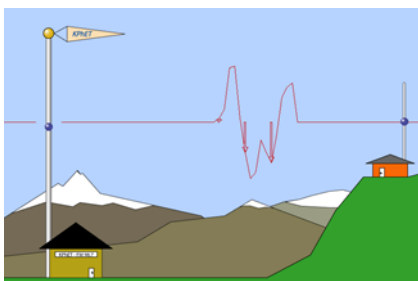


### Näide: gravitatsiooniväli

Kui asetad massi sellesse gravitatsioonivälja, siis ta kogeb gravitatsioonilist tõmbumist Maa keskme poole.

Kuid kas on mõeldav, et välja tugevus ajas muutub? Kuidas on see võimalik? Võib-olla peame panema välja allika liikuma?

### Antennid:



Võnkuma pandud laeng antennis saadab välja raadiolaineid. Kui vaja, vaata uuesti antenni teemalist rakendust:

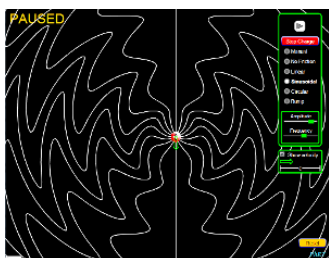
[phet.colorado.edu/en/simulation/radio-waves](http://phet.colorado.edu/en/simulation/radio-waves).

Mis siis ikkagi antennis võngub?

Laeng on välja allikas. Millise välja? .....

Laengu võnkumise tõttu on elektriväli (staatiline/mittestaatiline). Seega on välja suund pidevas muutumises. Seesama muutus levibki lainena ruumis – muutuva elektrivälja laine.

### Võnkuvad laengud:



Leidke, kuidas varieerida staatilist elektrivälja ajas alljärgneva rakenduse abil (inglise keeles):

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/radiating-charge>

Seega võivad võnkuvad laengud tekitada muidu staatilises elektriväljas *laineid!*

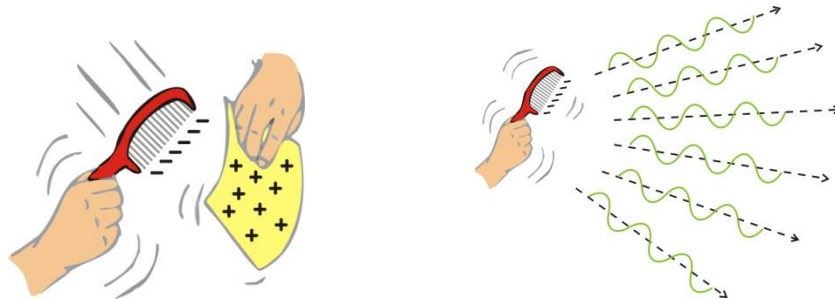


Kas oskate teha katseks elektrivälja, mis varieerub ajas, et vaadelda lainetavat välja? (Vihje: võta alustuseks mõni ese, millele saad anda elektrilaengu.)

.....  
 .....

**Katse:**

Kui sa liigutad (negatiivselt) laetud kammi edasi-tagasi, siis saad distantsilt tekitada paberitüki võnkeid!



Kas seda saab samuti selgitada oletusega, et elektrilaenguga kammi tekitatud väli võib ajas varieeruda nagu laine liikumine? See selgitab paberitükkide vaadeldavat liikumist.

**Võnkuvat välja saab suurepäraselt ette kujutada:  
 välja laine saab levida vaakumis,  
 sest väli ise on võimeline eksisteerima vaakumis.**

## 2.c Elektromagnetlained

Seni oleme rääkinud elektri- ja magnetväljadest kui kahest eraldi nähtusest. 1820. aastal avastas aga Taani teadlane Oersted, et elektrivool (st muutuv elektriväli) juhtmes tekitab juhtme ümber magnetvälja.

**Katse:**

Proovi seda katseliselt tõestada: raputa papitükile rauapuru ja pista papitüki keskelt läbi traadijupp. Kui traati läbib piisavalt tugev alalisvool, joondub rauapuru nii, et näed tekkivat magnetvälja.



Kva.



t osakesi

Alternatiivse võimalusena saad vaadelda magnetvälja tekkimist ümber vooluga traadi, kui asetad traadijupi ümber väiksed magnetid.

Aastal 1831 õnnestus Michael Faradayl ka vastupidise näitamine: muutuv magnetväli tekitas elektrivälja.

**Katse:**



Ka sina saad seda proovida. Sul läheb vaja tundlikku ampermeetrit, mähist ja magnetit.

Kas tekib vool, kui hoiad magnetit paigal?

Kas tekib vool, kui magnetit raputad?

**Elektriväli, mis muutub ajas, tekitab magnetvälja ja vastupidi**  
(magnetväli, mis muutub ajas, tekitab elektrivälja)

Seda tõestas Šoti füüsik James **Maxwell** oma elektromagnetlainete teooriaga: *elektri- ja magnetväljad, mis muutuvad ajas, tegelikult kutsuvad teineteist esile* ning seega põhjustavad teineteise levimise:

Seepärast *ei saa elektriväljast tulenevad lained eksisteerida ilma lisanduvate magnetlaineteta* ja vastupidi.

Füüsikud on lisaks näidanud, et elektromagnetlainete kaks välja (elektri- ja magnetväli) on teineteise suhtes ristsuunalised (vt joonist).

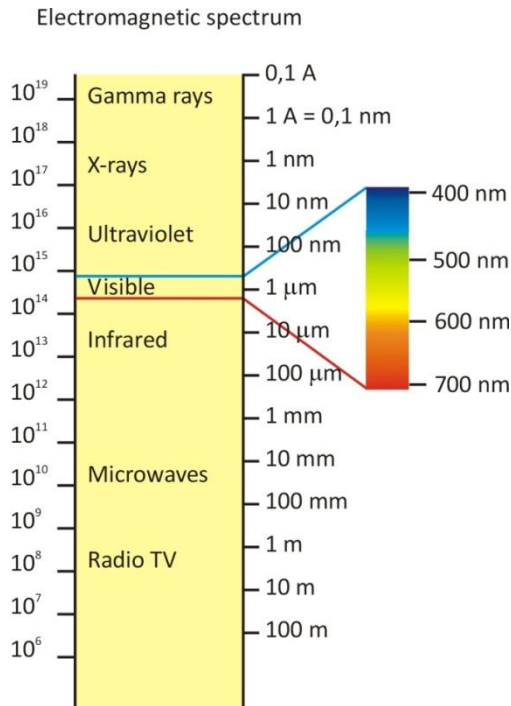
Tuleb välja, et **valgus ise on edasikanduv elektromagnetlainete**.

Newton oletas, et muutused väljal on hetkelised. Alates Einsteini relatiivsusteooriast me teame, et välja edasikandumine esineb kõige rohkem **valguse kiirusel**. Teave selle kohta, et täht või laetud osake on muutnud oma asendit, antakse edasi välja kaudu, välja muutuste abil (ja seda valguse kiirusel!)

*Infot muutuse kohta väljal saab ühest kohast teise edasi anda selle välja laine abil.*

Sellist **energia ülekandmist välja kaudu** kasutatakse iga päev näiteks WiFi puhul, mobiiltelefonilt helistades või raadiot sisse lülitades.

### 3 Elektromagnetspekter



Meie nähtav valgus on tegelikult kõigest üks osa laiast elektromagnetlainete spektrist. Raadiolained, mis toovad muusika raadiosse, mikrolained mikrolaineahjus, mobiiltelefoni ja WiFi-võrgus kasutatavad lained on kõik elektromagnetlained.

Kõik need lained on füüsiliselt ühesugused. Seega **mille poolst valgus-, raadio-, mikrolained jne erinevad?**

.....

Vaadake joonis üle, sellel on näha kõigi elektromagnetlainete diagramm.

Järjesta lainepikkuse suurenemise järjekorras:

nähtav valgus, raadiolained, UV-kiired, gammakiired, mikrolained

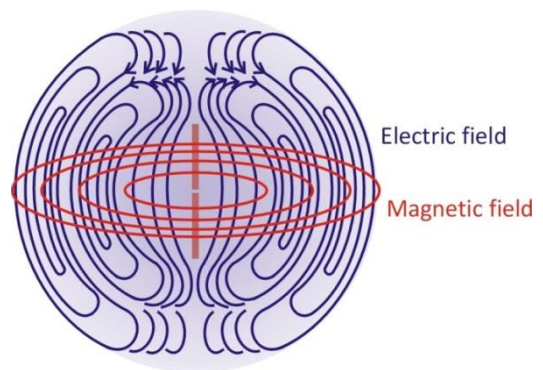
.....

### 4 Elektromagnetlainete meri

Tegelikult me elame elektromagnetlainete meres, millest enamikku me isegi ei näe ega tunne. Meie andur, silm, on ainus, mis on tundlik spetsiifilisele lainepikkuste intervallile. Seepärast nimetatakse neid elektromagnetlaineid nähtavaks valguseks.

Elektromagnetlaineid võib esile kutsuda näiteks elektrilaenguga kammi **raputamine** ja ka **antenn**, kus laengud **liiguvad edasi-tagasi** metalltraadi sees. 50 Hz raadiolained on väga tüüpiline näide, sest me oleme pidevalt ümbritsetud 50 Hz vahelduvvoolust.

Alljärgneval joonisel on visandatud antenn ning see, kuidas elektri- (sinine) ja magnetväljad (punane) levivad elektrivoolu vaheldumise tõttu kolmes dimensioonis.



Joonis 20 Elektromagnetlaine koosneb **võnkuvast elektriväljast** ja sellega ristsuunalisest **võnkuvast magnetväljast**, millel on samasugune perioodilisus.

Lõpuks teame, mis väreleb koos valguslainetega ...

Mis võngub koos valgusega?

.....

Miks saab valgus vaakumis levida?

.....

## 5 Rutherfordi aatomimudeli lõpp

Teame, et Rutherfordi klassikalises aatomimudelis tiirleb elektron ümber aatomituuma. Nagu sa nüüdseks juba mõistad, on elektron on laeng. Tiirlev laeng näib veidi eemalt vaadates võnkuvat. Võnkuvad laengud kiirgavad elektromagnetlaineid. Seega kui elektronid tiirleksid tõesti ümber tuuma, siis kiirgaksid nad kogu aeg valgust. Nagu juba I õppemoodulis mainitud, ei ole see võimalik. Miks?

.....



*Aatomituuma ümber tiirlev elektron kiirgab pidevalt elektromagnetlaineid. (Joonise allikas: EDN, märts 2000)*

Seega ei suuda klassikaline füüsika aatomeid seletada. Nagu näed järgmisest kahest õppemoodulist, suudab vaid kvantfüüsika aatomite ja molekulide olemust selgitada, kuigi veidi uues võtmes.

## 6 III õppemooduli mõisted

### Kirjuta lünkadesse puuduolevad mõisted

#### Klassikalise füüsika mõisted:

Laine on ....., mis levib ruumis.

„Välja“ mõiste. Elektri-, magnet- ja gravitatsiooniväljad.

Valgus on ruumis leviv .....-laine.

#### Kvantfüüsika mõisted:

Siin puuduvad.