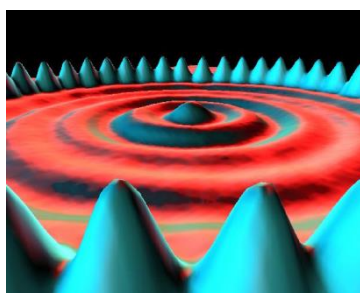


# Kvantfüüsika

*Tillukeste asjade füüsika, millel on hiiglaslikud rakendusvõimalused*



## 3. osa: PRAKTILISED TEGEVUSED

*Diskreetsed kiirgusspektrid*



Lifelong  
Learning  
Programme

Projekti Quantum Spin-Off rahastab Euroopa Liit programmi LLP Comenius raames (540059-LLP-1-2013-1-BE-COMENIUS-CMP).

Renaat Frans, Laura Tamassia

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

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



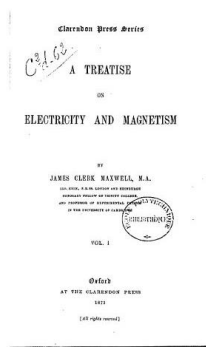
## DISKREETSSED KIIRGUSSPEKTRID

UURIMISTEEMA:

## Mõõda He diskreetsete spektrijoonte lainepikkused

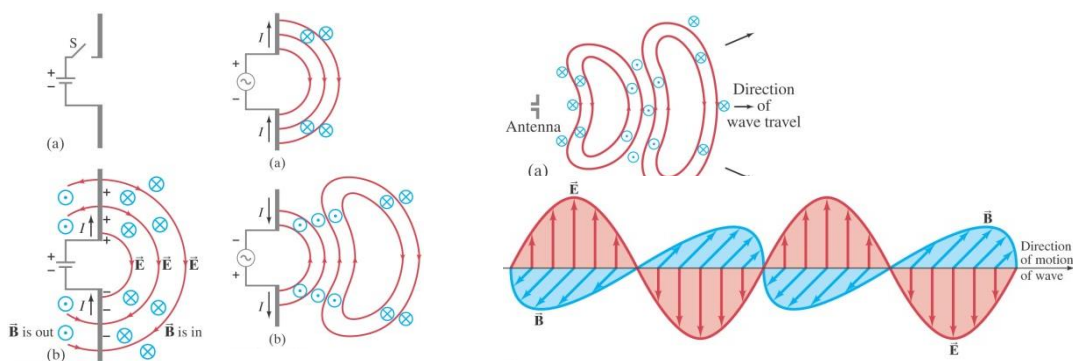
## 1. OSA: SISSEJUHATUS

## Maxwell ennustas, et valgus on elektromagnetiline ristlainne



Šoti füüsik James Clark Maxwell tuli 19. sajandil välja ennustusega, mis tol ajal ei olnud veel katseliselt vaadeldav: iga elektriline ja/või magnetiline muutus tekitab ristlainne (mitte pikilaine, nagu arvasid paljud tema kaasaegsed). Elektromagnetiline laine oli lahenduseks tema kuulsale neljale võrrandile, mis kirjeldavad elektri- ja magnetväljade käitumist.

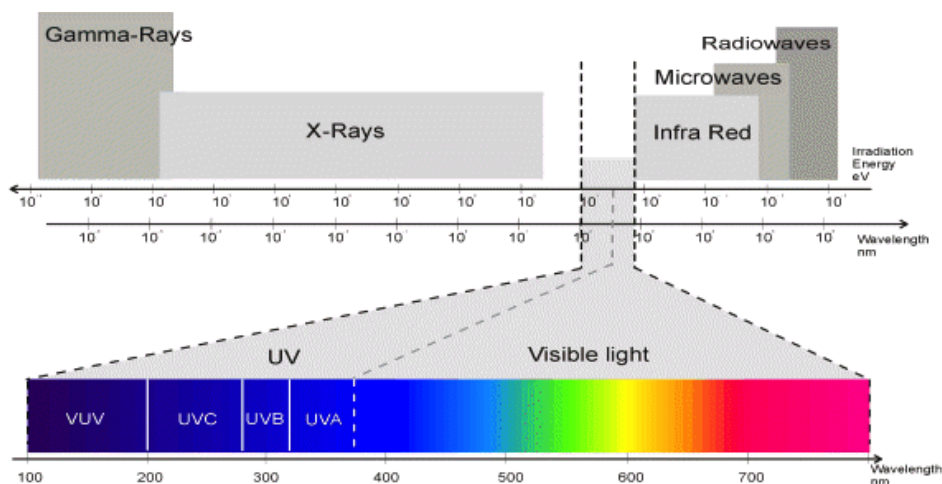
Maxwelli võrrandid ennustasid, et muutus elektrivoos tekitab magnetvälja, mis on elektriväljaga risti. Tekkinud magnetväli tekitab omakorda elektrivälja, mis omakorda tekitab magnetvälja jne. See on näha allolevalt jooniselt, kus vahelduvvool lastakse läbi antenni (kõigepealt liigub vool  $I$  üles ja siis alla). Vool tekitab magnetvälja ( $\vec{B}$  paberi pinnalt sisse ja välja), mis omakorda tekitab endaga risti oleva elektrivälja  $\vec{E}$ . See muutuv väli levib ruumis.



Maxwelli võrranditest selgub, et lained levivad valguse kiirusega (umbes  $3,0 \cdot 10^8$  m/s). Elektromagnetilaineid jaotatakse lainepikkuste järgi järgmiselt (lainepikkuse suurenemise järjekorras): gammakiirgus, röntgenkiirgus, ultraviolettkiirgus, nähtav valgus, infrapunakiirgus, mikrolained, raadiolained. Erinevate kiirguste lainepikkused on kujutatud kõrvaloleval jooniselt. Meie silmadele on nähtav ainult väike osa kogu elektromagnetlainete skaalast.

Selle, mis värvi valgust näeme, määrab ära nähtava valguse lainepikkus.

Järjesta värvused suurimast lainepikkusest väikseimani: kollane, sinine, punane, violetne, roheline



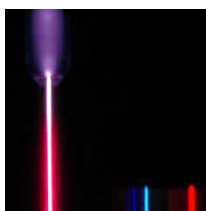
### Keemiliste elementide valgus

19. sajandil avastati, et perioodilisustabeli keemilised elemendid, näiteks vesinik (H), heelium (He), elavhõbe (Hg) jne, kiirgavad vaid neile iseloomuliku värvusega valgust. Elemendi kiiratav valgus on nii ainulaadse värvusega, et selle järgi saab kohe aru, mis elemendiga on tegemist.

Seda elementide omadust rakendades toodetakse gaaslahenduslampe, ilutulestikke jm.

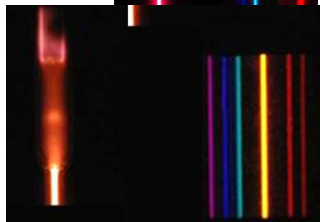


Kaaliumiga täidetud lamp (kasutatakse Belgia kirrteedel)



Prisma abil saab valguse lahutada selle erinevateks värvusteks ja näha, mis lainepikkusega (värvusega) valgust element kiirgab. See on elemendi kiirgusspekter.

Joonisel on vesinikuga (H) täidetud gaaslahenduslamp ja selle kõrval vesiniku kiirgusspekter.



Joonisel on heeliumiga (He) täidetud gaaslahenduslamp ja selle kõrval heeliumi kiirgusspekter.

Iga elemendi kiirgusspekter on ainulaadne, mistõttu saame kiirgusspektri mõõtmise abil kindlaks määrata materjali keemilise koostise. Näiteks määratakse nii tähtede keemilist koostist ilma realselt kohapeal käimata ning kontrollitakse, kas kuldne sõrmus on ikka tõesti kuldsõrmus.

### Mis täpsemalt aatomis valgust kiirgab?



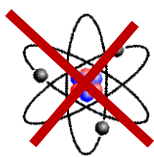
See, et igal elemendil on oma iseloomulik kiirgusspekter, peab kuidagi olema seotud elemendi ainulaadse siseehitusega: iga elemendi tuumas on erinev arv nukleone (prootoneid ja neutroneid) ning tuuma ümber erinev arv .....

Kiiresti liikuvad elektronid võivad põhjustada kõrge sagedusega kiirgust ning aeglasemalt liikuvad elektronid madalama sagedusega kiirgust.

### Diskreetsete spektrijoonte selgitus kvantmehaanilise aatomimudeli abil

Seda, et elementidel on diskreetsed spektrijooned, teati juba 19. sajandil. Niels Bohri, kes töötas noore tudengina Ernest Rutherfordi laboris Cambridge'is, häiris Rutherfordi aatomimudeli suutmatust neid kiirgusjooni selgitada.

## Praktiline tegevus: Diskreetsed kiirgusspektrid



Nende kiirgusjoonte vahel mingit kiirgust ei ole. Rutherfordi aatomimudel on elektronide liikumine ümber tuuma sarnane planeetide liikumisele ümber Päikese. Sellises mudelis oleks elektronidel mitte diskreetne, vaid pidev kiirgusspekter. Elektroni kiiruse suurenemisel või vähenemisel kiirgab elektron kiirgust, mille energia on võrdne elektroni kineetilise energia muutusega. Rutherfordi mudel näeb ette, et kui elektron kiirgab kiirgust, siis kaotab ta energiat.



Fundamental or first harmonic,  $f_1$



First overtone or second harmonic,  $f_2 = 2f_1$

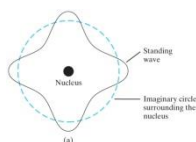


Second overtone or third harmonic,  $f_3 = 3f_1$

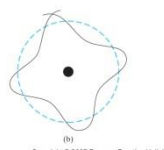
Energia jäävuse seaduse kohaselt liiguks ta seejärel aeglasemalt ning tuumale lähemal. Sellise elektroni tõmbaks tuum väga kiiresti endasse. Teisisõnu ei suutnud Rutherfordi mudel mitte ainult seletada diskreetseid kiirgusjooni, vaid väitis ka, et aatomid ei suuda stabiilselt eksisteerida, sest tuum neelaks elektroni väga kiiresti endasse.

Louis de Broglie'd huvitas kindlatele energiatele vastavate kiirgusjoonte sarnasus nn seisulainetega, mille iga punkt võngub kindla amplituudiga.

Alles pärast de Broglie' oletust, et elektronid käituvad samuti nagu lained, sai selgeks, et sarnaselt pillikeele võnkumisele ei ole ka aatomis lubatud kõik elektroni vibratsioonid, vaid ainult mõned diskreetsed.



(a)



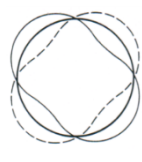
(b)

De Broglie' mudelis liigub elektronilaine ümber aatomituuma.

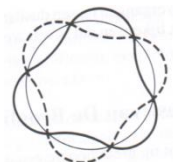
Viiulikeele puhul saavad eksisteerida ainult teatud lained, sest kõik teised lained segaksid üksteist. Sama kehtib ka ümber tuuma liikuva elektroni lainete puhul.



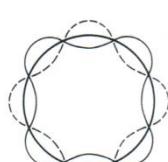
1 lainepikkus



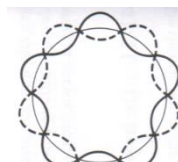
2 lainepikkust



3 lainepikkust



4 lainepikkust



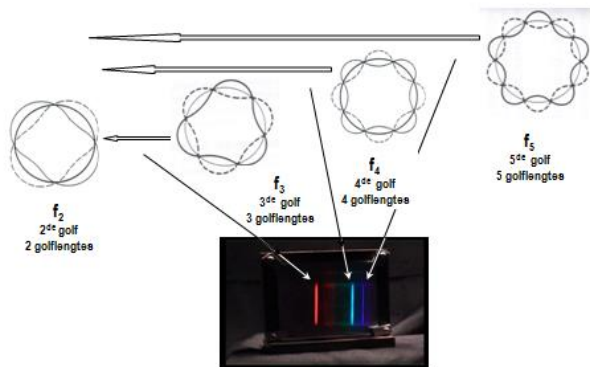
5 lainepikkust

Võimalikud elektronide seisulained vesiniku aatomi tuuma ümber de Broglie' aatomimudel: ühest täislainepikkusest viie täislainepikkuseni. Ühtki teist võimalust olla ei saa (toimuks iseene segamine).

### Diskreetsete spektrijoonte selgitus kvantteooria abil

Kui aatom saab energiat (näiteks sattudes kõrgepingele alla, nagu toimub spektraallambis), siis võnguvad elektronlained kõrgema sagedusega ja seega suurema energiaga.

De Broglie' mudelis saavad elektronlained võnkuda vaid diskreetses võnkemoodides (lainetel saavad olla vaid teatud konkreetsed lainepikkused ja sagedused). Seetõttu saab elektronidel olla ainult teatud kindla väärtusega energia – elektroni energia on kvantiseeritud.



Elektronlaine, mis võngub kõrge sagedusega (st suure energiaga), saab osa oma energiast loovutada. Kuna lubatud võnkemoodid on kvantiseeritud, saab elektronlaine ära anda vaid energiakoguse, mis on võrdne lubatud võnkemoodide energiatega. Näiteks saab see minna 3., 4. või 5. võnkemoodilt 2.-le võnkemoodile. Sellise ülemineku käigus loovutab elektron energiakoguse  $\Delta E$ , mis kiiratakse välja elektromagnetvälja võnkumisena – elektromagnetlainena (nt

valgusena). Mida rohkem energiat loovutatakse, seda kõrgem on kiiritava valguse sagedus. Max Plancki avastuse kohaselt on elektromagnetlainete energia võrdeline selle sagedusega:

$$\Delta E = h \cdot f$$

$h$  tähistab Plancki konstanti

$$h = 6,6260693 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Elektroni kiiratud energia kandub edasi elektromagnetlainena. Kuna valguse värvuse määrab selle sagedus, siis sõltub kiiratud valguse värvus tegelikult elektroni liikumisest.

Kui elektron läheb 3. võnkemoodilt üle 2. moodile, siis loovutab see vaid väikse koguse energiat – kiirgab punase footoni. Punase valguse sagedus ( $f$ ) on suhteliselt (madal/kõrge).

Üleminekul 4. võnkemoodilt 2. moodile kiiratakse suurem kogus energiat – tärkiissinine footon.

5. moodilt 2. moodile ülemineku tulemuseks on veelgi rohkem energiat – lillakassinine footon.

Kiiratud energiakogused võivad olla silmale nähtamatud. Näiteks kiirgab elektron footoneid elektromagnetspektri infrapuna- või UV-kiirguse piirkonnas.

Nii suudab kvantmehaaniline aatomimudel täpselt ennustada ja seletada diskreetsete spektrijoonte olemasolu. Oletusest, et osakesed – nagu näiteks elektronid, prootonid, neutronid ja isegi terved molekulid – käituvad lisaks ka nagu lained, sai loodusteaduste üks põhiprintsiipi.

7. õppemoodulis arvutame kiiratud footonite lainepikkused, kasutades de Broglie' kvantmehaanilist aatomimudelit.

Miks on igal elemendil erinevad spektrijooned?

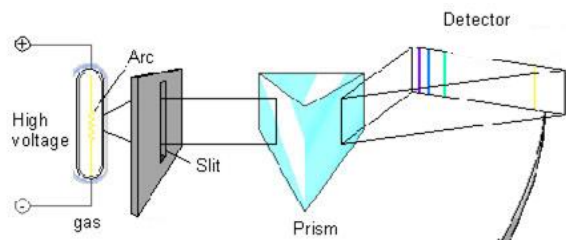
Igal elemendil on oma energiatasemete „redel“, mida mööda toimuvad energiatasemete vahelised võimalikud üleminekud. Igal gaasil on oma **spektrijooned, sest elektronide energiatasemed on igal elemendil erinevad.**

## 2. OSA: KATSE

## Mõõda He diskreetsete spektrijoonte lainepikkused

Selles katses mõõdate heeliumi (He) diskreetsete spektrijoonte lainepikkused.

Palja silmaga ei ole võimalik määrata, mis värvustest valgus koosneb. Spektromeeter eraldab prisma abil valguskiire selle koostisosadeks (erinevat värvi valgusteks), nii et erinevaid lainepikkusi saab eraldi vaadelda. Spektrijooned projitseeritakse skaalale, kust saab lugeda lainepikkuse nanomeetrites. Nii saab määrata spektrijoonte erinevad lainepikkused.



He on katseklaasis, mille saab paigutada kõrgepinge alla.



<http://labs.physics.dur.ac.uk/levelt/projects/spectrometer.php>

Spektromeeter

*Praktiline tegevus: Diskreetsed kiirgusspektrid*

**Meetod:**

1. Lülita lambi pinges all sisse (oota umbes minut, kuni lamp soojeneb).
2. Vaata läbi okulaari kõiki He spektrijooni.
3. Liiguta okulaari vasakule ja paremale, et näeksid kõiki jooni.
4. Märgi skaalale joonte asukohad. Skaala ise projitseeritakse lambi abil okulaari. Lülita lambi pinges all välja.
5. Täida tabel.
6. Spektromeetri kalibreerimiskaala abil märgi üles vastav lainepikkus nanomeetrites.



Mõõtetulemused

Joone värvus	Suhteline intensiivsus (1=nõrk, 3=väga tugev)	Asukoht skaalal	Lainepikkus $\lambda$ (nm) (Kasuta spektromeetri kalibreerimisgraafikut)
Punane	1		
Punane	3		
Kollane	3		
Roheline	1		
Roheline	2		
Rohekassinine	2		
Violetne	1		
Violetne	2		