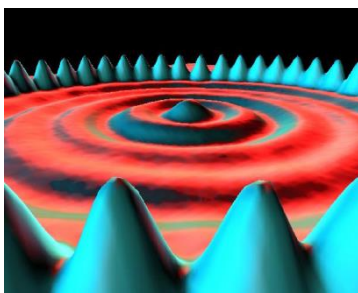


## Kvantfüüsika

Tillukeste asjade füüsika, millel on hiiglaslikud rakendusvõimalused



### 3. osa: PRAKTILISED TEGEVUSED

*Plancki konstandi mõõtmine LED-i ehk valgusdiodi abil*



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



## Plancki konstandi mõõtmine LED-i ehk valgusdiodi abil

### Sissejuhatus<sup>1</sup>

Max Planck (1858-1947) oli saksa füüsik, keda loetakse üheks kvantmehaanika rajajaks. Umbes aastal 1900 võttis ta kasutusele kvantiseeritud energia mõiste. Ta väitis, et aatom saab neelata ja kiirata ainult teatud kindlate väärtustega energiat – seda väljendab valem

$$E = n \cdot h \cdot f$$

milles  $n$  tähistab naturaalarvu,  $f$  sagedust ja  $h$  Plancki konstanti.

Aastal 1905 selgitas Einstein kvantiseeritud energia idee abil fotoelektrilist efekti ehk fotoefekti. Fotoefektiks nimetatakse nähtust, kus teatud kindla lainepikkusega valguse toime hakkab metall elektrone kiirgama – aine pinnale langev elektromagnetkiirgus lööb elektronid ainest välja. Einstein oletas, et iga kiiratud elektron oli neelanud ühe kvandi energiat (ehk footoni), mida väljendab valem

$$E_k = h \cdot f - A$$

kus  $E_k$  on kineetiline energia,  $f$  tähistab footoni sagedust ja  $A$  on väljumistöö. Et elektron saaks metallist lahkuda, peab footoni energia olema piisavalt kõrge, st vähemalt võrdne metallist lahkumiseks tehtava tööga.

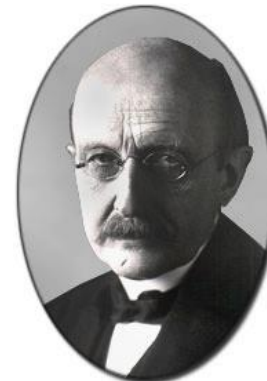
Ka Niels Bohr võttis oma uue aatomimudeli loomisel aluseks Plancki idee. Bohr oletas, et elektronid saavad liikuda ainult teatud kindlatel orbiitidel aatomituuma ümber. Kui elektron liigub tuumale kaugemal olevalt orbiidilt tuumale lähemal olevale orbiidile, kiirgab see elektron valgust ehk ühe footoni, mille energia on võrdne nende orbiitide energiatega vahega.

$$\Delta E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Alates sellest, kui Max Planck energia kvantiseerimise postulaadiga välja tuli, on tehtud palju katseid eesmärgiga Plancki konstant kindlaks määrata. Plancki konstandi praegune väärtus on

$$h = 6,6260693 \cdot 10^{-34} \text{ Js} = 4,13566743 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$$

Selles katses määrad Plancki konstandi LED-i abil.

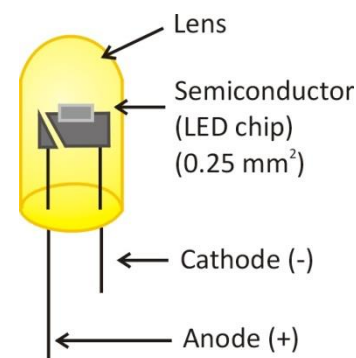
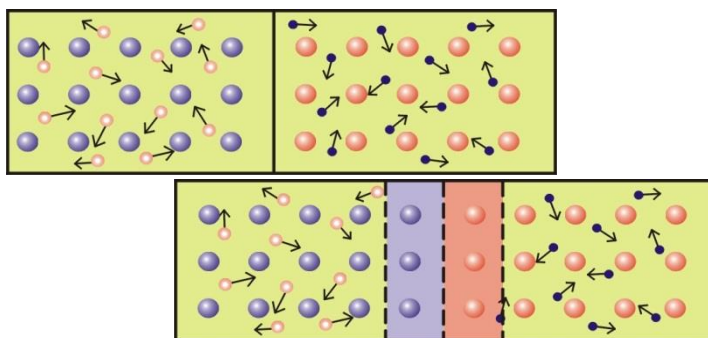


Max Planck  
(1858-1947)

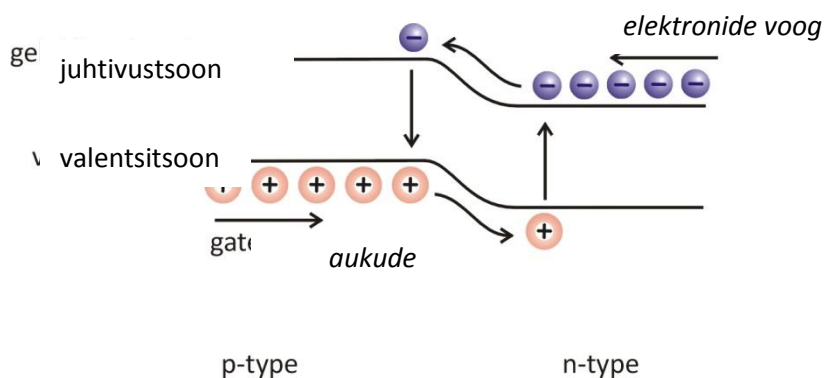
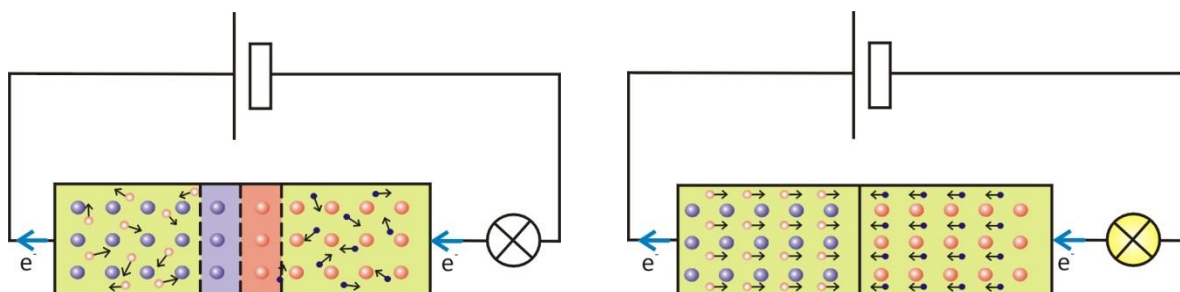
<sup>1</sup> See osa põhineb osaliselt Antwerpeni ülikooli füüsikaosakonna „sillaprojektil“ (prof dr J. Dirckx, W. Peeters)

## LED-i EHITUS

LED koosneb kahte tüüpi pooljuhtmaterjalist: p-kihist ja n-kihist. N-kihis on ülekaalus vabad elektronid ja p-kihis on ülekaalus augud. Kahe pooljuhi piiril rekombineeruvad n-kihi elektronid p-kihi aukudega, tekitades nn tõkkekihi. Tõkkekiht on p-kihi poolel negatiivselt laetud ja n-kihi poolel positiivselt laetud. Rekombineerumise tulemusel tekib kahe pooljuhi piiril elektriväli. Elektriväli omakorda takistab vabade elektronide liikumist läbi tõkkekihi.



Kui LED ühendada pingega, nii et p-kihile rakendub positiivne pinge ja n-kihile negatiivne pinge NING pinge on piisavalt kõrge, andmaks elektronidele piisavalt energiat tõkkekihi elektriväljast läbitungimiseks, siis saavad elektronid liikuda n-kihist p-kihti. Seal saavad nad aukudega rekombineeruda.



Rekombineerudes lähevad elektronid kõrgemalt energiatasemelt (juhtivustsoonist) üle madalamale energiatasemele (valentsitsoon) – energiavahetuse tulemusena kiiratakse valgusena ja LED süttib. Selleks vajalikku minimaalset pinget nimetatakse lävipingeks.

## Praktiline tegevus: Plancki konstandi mõõtmine LED-i ehk valgusdiodi abil

Footonil, mis elektroni auguga rekombineerumisel välja kiiratakse, on teatud energia  $E = h \cdot f$ . See energia on võrdne energiaga, mille elektron sai pingeallika ühendamisel. Ilmselt oled juba õppinud, et seda energiat arvutatakse valemiga

$$E = e \cdot U_0$$

kus  $e$  tähistab elektroni laengut ( $1,60 \cdot 10^{-19} C$ ) ja  $U_0$  lävipinget.

Sellest tuletame, et

$$e \cdot U_0 = h \cdot f \quad \Leftrightarrow \quad e \cdot U_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Kui mõõta LED-i süttimiseks vajalik lävipinge ja kiiritava valguse lainepikkus, siis saame määrata Plancki konstandi.

### Katse

**Uurimisküsimus:** Kuidas määrata katse abil Plancki konstanti?

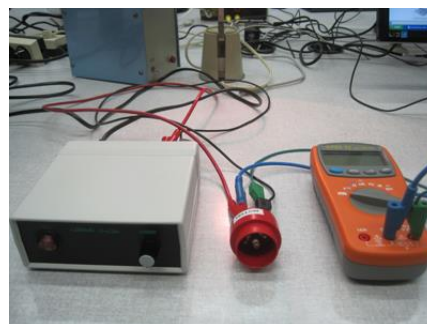
## KATSE ABIL PLANCKI KONSTANDI MÄÄRAMINE

### Materjalid

- 4 erivärvilist LED-tuld
- spektroskoop
- pingeallikas
- voltmeeter
- LED-i pesa

### 1. küsimus:

## SUURT ENERGIAT VAJAVAD LED-id SÜTTIMISEKS?



KUI

### Meetod

1. Ühenda pingeallikas voltmeeteriga (vt joonist).
2. Aseta üks LED-tuledest pesasse.
3. Veendu, et pingeallika pinge on 0.
4. Ühenda LED pingeallikaga.
5. Jälgi LED-i lähedalt.
6. Suurenda aeglaselt pingeallika pinget, kuni näed kindlalt, et LED helendab.
7. Vähenda pinget, kuni LED taas kustub.
8. Suurenda pinget, kuni LED taas süttib.
9. See on lävipinge, mis suudab elektronid läbi tõkkekihi „tõugata“. Märki üles iga LED-i lävipinge ja arvuta vastav energia.



Praktiline tegevus: Plancki konstandi mõõtmine LED-i ehk valgusdiodi abil

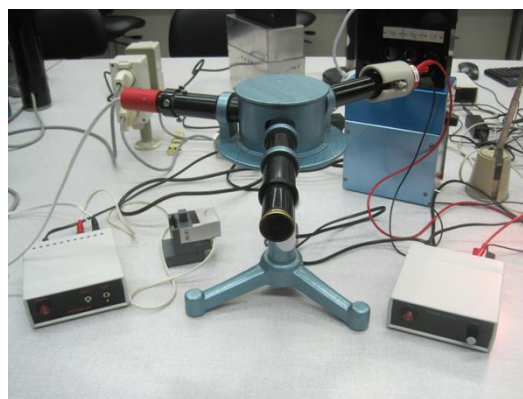
LED-i värvus	pinge $U_0$ (V)	arvutus $E = U_0 \cdot e$
sinine		
roheline		
kollane		
punane		

2. küsimus:

**MIS ON LED-ide KIIRATAVA VALGUSE LAINEPIKKUS?**

Meetod

1. Aseta skaalaga lamp spektroskoobi ühele poolele.
2. Lülita sisse lambi pingesallikas.
3. Ühenda LED pingesallikaga.
4. Aseta üks LED-tuledest pesasse.
5. Veendu, et pingesallika pinge on 0.
6. Aseta LED-i pesa teisele poole spektroskoopi.
7. Suurenda pinget, kuni LED süttib ja püüa määrata selle asukoht skaalal.
8. LED-i kiiritava valguse lainepikkuse määramiseks kasuta kalibreerimiskõverat.



LED	Mõõt	Lainepikkus: $\lambda$ (nm)
sinine		
roheline		
kollane		
punane		

## Järeldamine – küsimused 1 &amp; 2

Kasutame sissejuhatuses antud valemit

$$h = \frac{E}{f} = \frac{E \cdot \lambda}{c}$$

kus  $c = 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

	1. KÜSIMUS	2. KÜSIMUS	
LED	E (J)	$\lambda$ (m)	$h$ (Js)
sinine			
roheline			
kollane			
punane			

Määra Plancki konstandi keskmine väärtus

$h =$  \_\_\_\_\_

Kas see vastab teoreetilisele väärtusele? Kas suurusjärk on õige?

## Järeldused &amp; refleksioon

---



---

## Bibliograafia

M.F. Crommie, C.P. Lutz, D.M. Eigler. **Confinement of electrons to quantum corrals on a metal surface.** *Science* 262, 218-220 (1993).