

Kaflir 6.1 og 6.2

Inngangur að skammtafræði, Ljósseindir og bylgjuhegðun Ljóss

Hvað er skammtafræði?

- ▶ Flestir tengja skammtafræði við eitthvað flókið og óskiljanlegt.
 - ▶ Sem er rétt!
 - ▶ Kaflar 6.1 til 6.4 eru einu kaflarnir sem ég leyfi að nemendur segi að meiki ekki sense.
- ▶ Skammtafræði eða nýja eðlisfræðin eru nýjar uppgötvanir 20 aldarinnar sem ollu byltingarkenndum hugmyndum og upppoti.
- ▶ Mjög algeng sjón í vísindaskáldskap.
 - ▶ Schrödinger's cat
 - ▶ „If you think you understand quantum mechanics, you don't understand quantum mechanics „ - Richard Feynman
- ▶ Sorgleg örlög Paul Ehrenfest
 - ▶ <https://medium.com/starts-with-a-bang/the-tragic-fate-of-physicist-paul-ehrenfest-93c946b05d0c>

Double Slit experiment

- ▶ Klassíska myndbandið :

<https://www.youtube.com/watch?v=Q1YggPAtzho>

- ▶ Flottari og nákvæmari fyrirlestur :

<https://www.youtube.com/watch?v=A9tKncAdlHQ>

Kaflí 6.1- Bylgjuhegðun ljóss

- ▶ Eins undarlegt og það virðist vera þá verðum við að byrja að skoða ljós ef við ætlum að skilja hegðun rafeinda og uppbyggingu atóma.
- ▶ Við höfum öll grunnskilning á ljósi.
 - ▶ Tekið fyrir í vonandi öllum grunnskólum landsins, og að sjálfsgöðu er ljós partur af okkar daglega lífi.
- ▶ Allt sýnilegt ljós er dæmi um rafsegulgeislun (electromagnetic radiation)
 - ▶ Geislunin ferjar orku til og frá og er því einnig kölluð geislunarorka (radiant energy)
- ▶ Fleiri dæmi um rafsegulgeislanir eru:
 - ▶ Röntgen, útvarpsbylgjur, innrætt ljós, útfjólublátt ljós og margar fleiri.

Ljós ferðast í bylgjum

- ▶ Ljós fer sem bylgja, svipað eins og bylgjur á vatni.
- ▶ Allar bylgjur eiga það sameiginlegt að:
 - ▶ Hreyfast allar með sama hraðanum, ljóshraða
 - ▶ $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 - ▶ Innihalda uppbygginguna, bylgjulengd, dalir, toppar, tíðni og útslag.

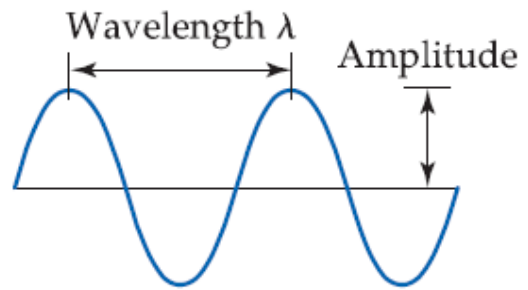


Saga ljóshraðans

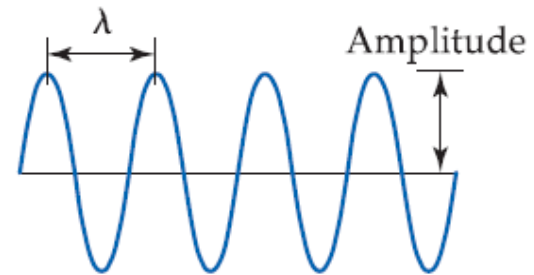
- ▶ Mæli með að allir lesi *The Speed of Light* kaflann á bls 209.
 - ▶ Hann er ekki langur.
 - ▶ Segir frá fyrstu mælingunni á ljóshraða og hvernig við áttuðum okkur á því að ljóshraði væri föst tala.
 - ▶ Tilvalið tækifæri til að taka plastið af bókinni.

Uppbygging bylgna

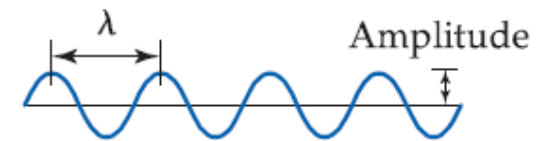
- ▶ Toppar og dalir
 - ▶ Hver bylgja hefur topp og síðan dali á milli hvers topps. Toppar og dalir eru því sami hluturinn eftir á hvernig bylgjuna er horft!
- ▶ Bylgjulengd
 - ▶ Lengdin á milli tveggja toppa eða tveggja dala.
 - ▶ Alltaf táknuð með gríska stafnum λ
- ▶ Tíðni
 - ▶ Hversu margar heilar bylgjur eru á hverja tíma eða lengdareiningu.
 - ▶ Alltaf táknað með gríska stafnum ν
- ▶ Útslag
 - ▶ Hversu stór hver toppur er, eða hversu djúpur dalurinn á milli bylgna er.



(a) Two complete cycles of wavelength λ



(b) Wavelength half of that in (a); frequency twice as great as in (a)



(c) Same frequency as (b), smaller amplitude

Skoðum Tíðni nánar

- ▶ Tíðni táknar hversu oft eitthvað gerist miðað við lengd eða tíma.
 - ▶ Langoftast er miðað við tíma.
- ▶ Einingin á tíðni er því $1/s$ eða s^{-1} sem er líka kallað Hertz (Hz)
 - ▶ T.d er algengt að AM útvarpsbylgjur hafi tíðnina 820 kHz eða 820000 bylgjur á sekúndu.
- ▶ Bylgjur og orka.
 - ▶ Ef við hugsum okkur að bylgjurnar séu að ferðast með eitthvað frá A til B, t.d orku.
 - ▶ Þá myndi há tíðni þýða að hlutir væru að skila sér oft (hægt að ferðast með meira) og lág tíðni myndi ferja meira.
 - ▶ Einnig ef við myndum slétta úr geislun með háa tíðni þá væri hún mun lengri!
 - ▶ Hærri tíðni = meiri orka.



Hraði á bylgjum.

- ▶ Bylgjur á vatni geta verið mishraðar.
 - ▶ Fluga sem lendir á vatni ollir hægari bylgjum og með minna útslag en t.d. Gúmmibátur.
- ▶ Rafsegulbylgjur hinsvegar hafa alltaf sama hraðann, ljóshraða.
- ▶ Því geta rafsegulbylgjur ekki haft bæði háa tíðni og háa bylgjulengd.
 - ▶ Sem sagt : Langt á milli toppa og marga toppa.

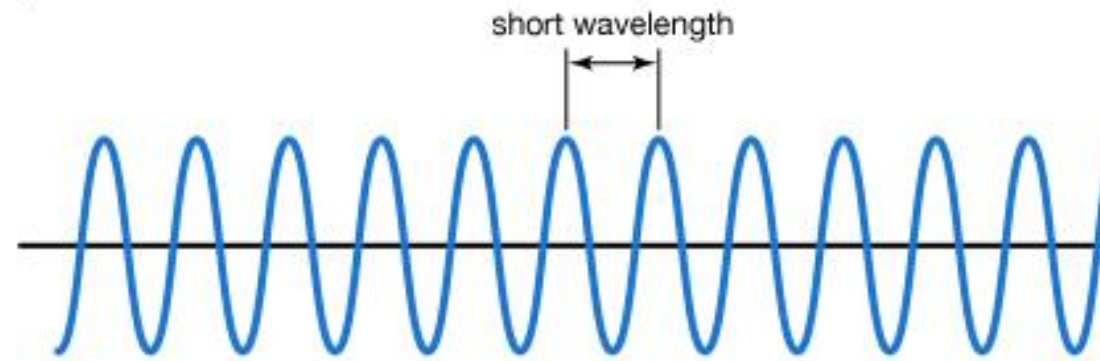
Setjum þetta upp stærðfræðilega

- ▶ Tíðni er hversu margar bylgjur eru og bylgjulengd er hversu langt er á milli þeirra.
- ▶ Því er bara hægt að hafa háa tíðni og lága bylgjulengd
- ▶ Eða lága tíðni og háa bylgjulengd.
- ▶ Setjum það upp sem jöfnuna :

$$c = \lambda * v$$

- ▶ Eða að ljóshraði sé jafn og bylgjulengdin sinnum tíðnin.
- ▶ Einingarnar ganga upp þar sem bylgjulengd er lengdareining (m) og tíðni er hversu oft eitthvað gerist á t.d. Sekúndu (1/s) sem gefur hraða í (m/s)

High frequency



Low frequency

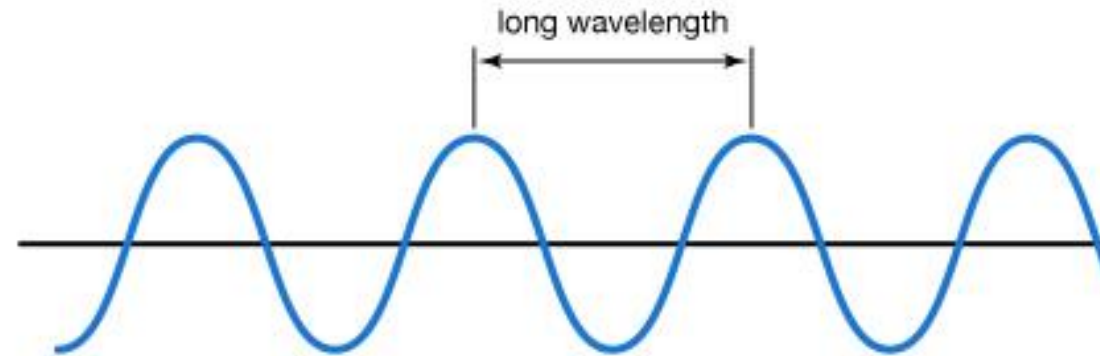
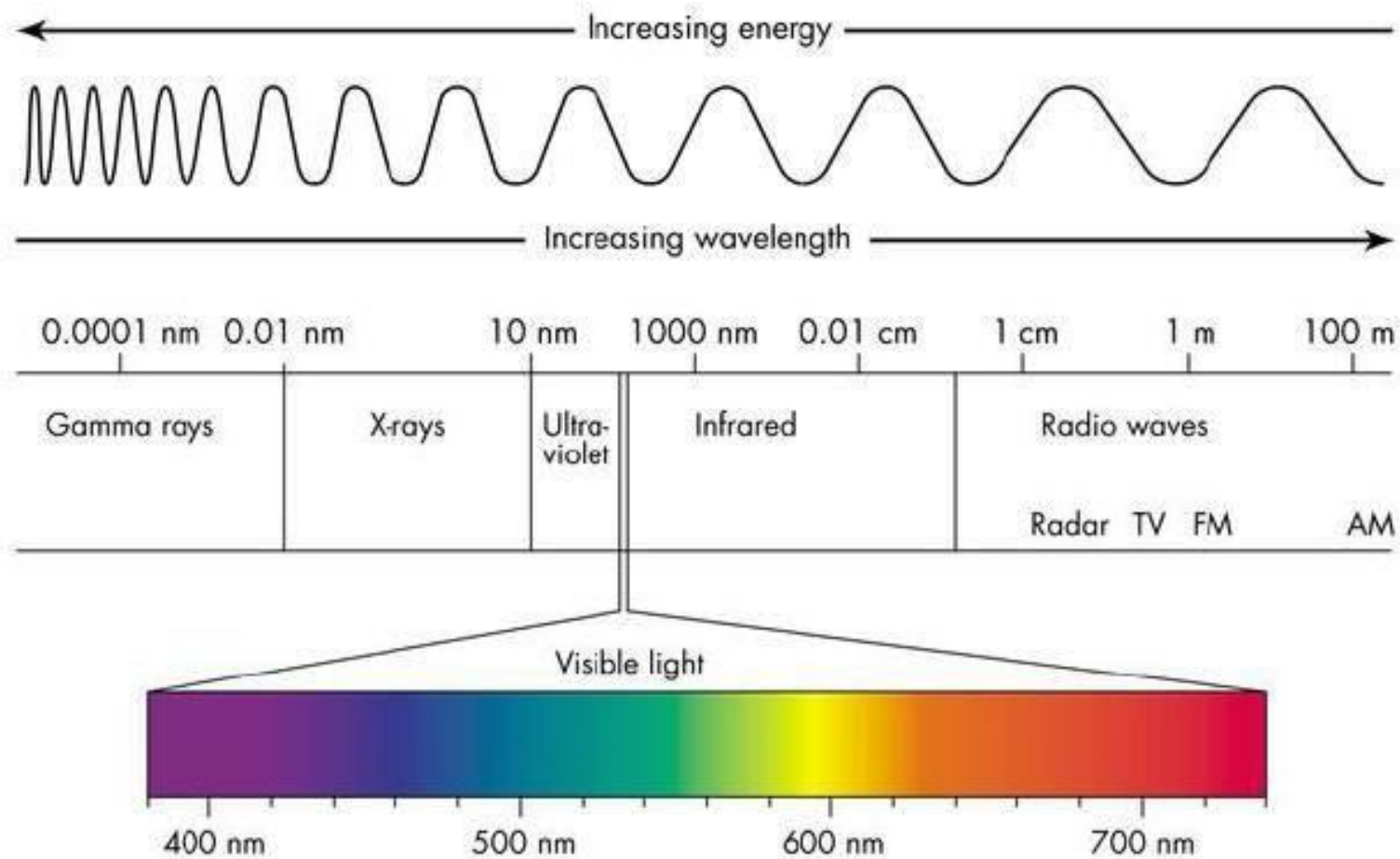
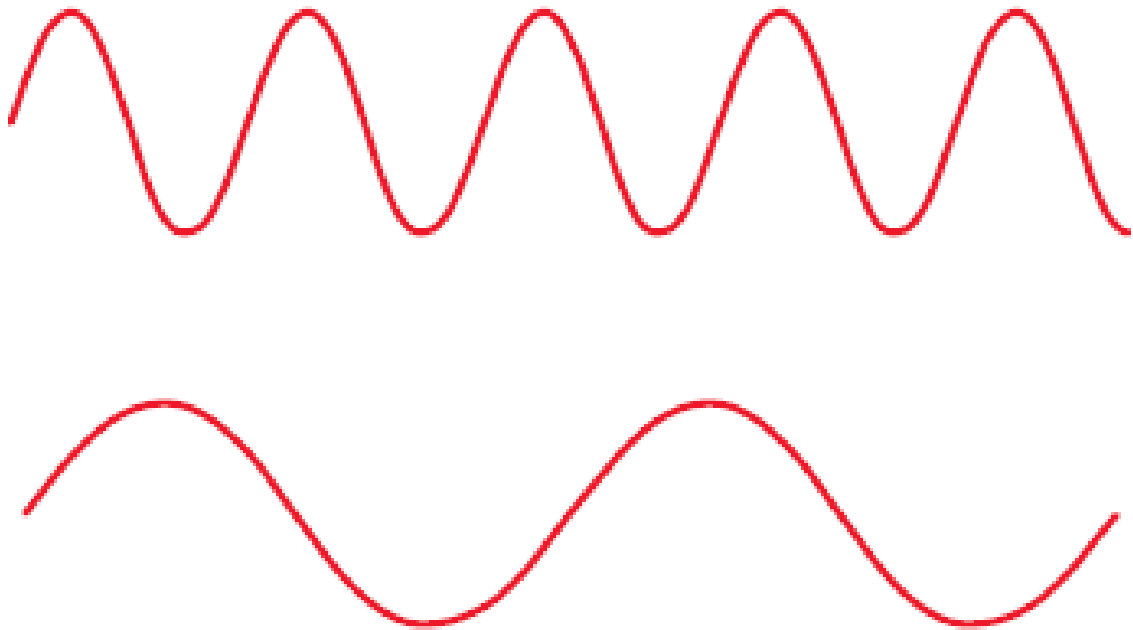


TABLE 6.1 ■ Common Wavelength Units for Electromagnetic Radiation

Unit	Symbol	Length (m)	Type of Radiation
Angstrom	Å	10^{-10}	X-ray
Nanometer	nm	10^{-9}	Ultraviolet, visible
Micrometer	μm	10^{-6}	Infrared
Millimeter	mm	10^{-3}	Microwave
Centimeter	cm	10^{-2}	Microwave
Meter	m	1	TV, radio
Kilometer	km	1000	Radio

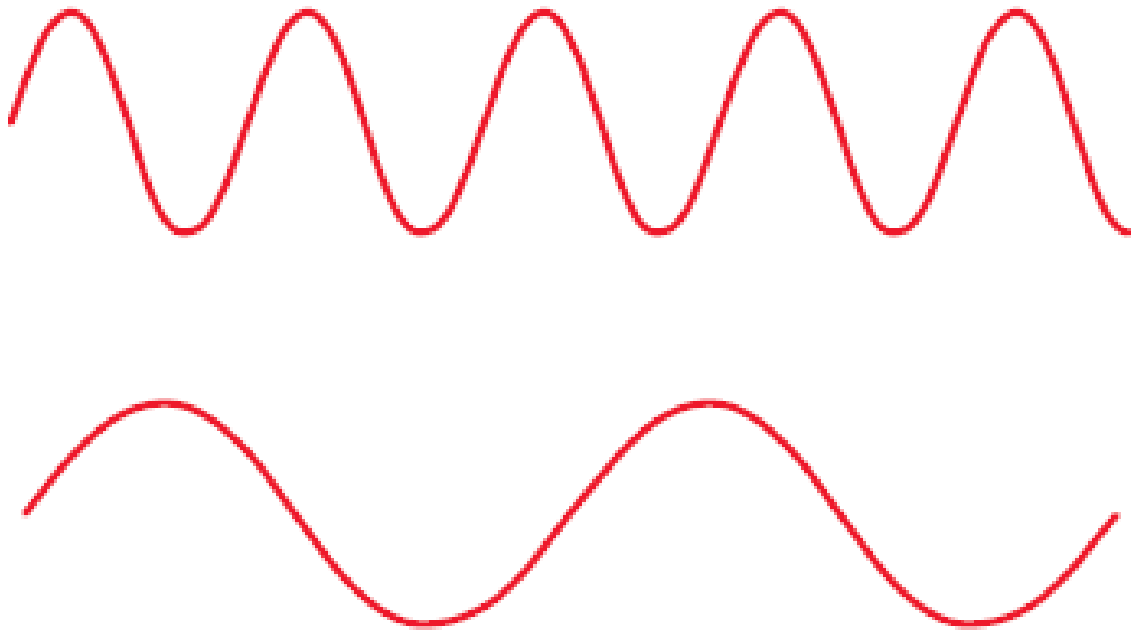


Sýnidæmi 6.1



- ▶ Gefnar eru þessar tvær bylgjur.
- ▶ Hvor bylgjan hefur hærri tíðni?
- ▶ Hvor bylgjan er sýnilegt ljós og hvor þeirra er innrauð geilsun?
 - ▶ (þurfið að notast við litrófsmyndina)

Sýnidæmi 6.1 - lausn



- ▶ Efri bylgjan hefur hærri tíðni en sú neðri því það eru fleiri toppar.
- ▶ Það sem hún hefur hærri tíðni þá hlýtur hún líka að hafa lægri bylgjulengd. Sem er rétt, það er styttra á milli toppanna.
- ▶ Efri bylgjan er því sýnilegt ljós því það er orkumeira og með hærri tíðni en innrautt.

Sýnidæmi 6.2

a)

- ▶ Gult ljós er oftast notað í götulýsingar og ljósastaura. Ljósið frá þeim hefur bylgjulengdina 589 nm en hver er tíðni ljóssins?
- ▶ Lausn:
- ▶ Byrjum á því að rifja upp að $1 \text{ nm} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
 - ▶ sem þýðir að $589 \text{ nm} = 5,89 \cdot 10^{-7} \text{ m}$
- ▶ Svo munum við að allar bylgjur ferðast á ljóshraða og jafnan er :

$$c = v * \lambda \Rightarrow v = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow v = \frac{3,00 * 10^8 \frac{m}{s}}{5,89 * 10^{-7} m} = 5,09 * 10^{14} \frac{1}{s} \text{ eða } Hz$$

Sýnidæmi 6.2

b)

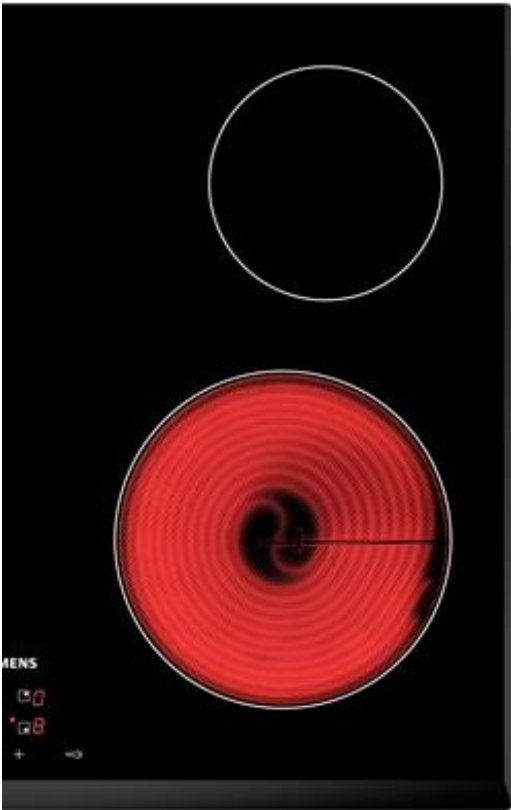
- ▶ FM útvarpsstöð hefur tíðnina 103,4 MHz. Hver er bylgjulengd útvarpsgeislunarinnar ?
- ▶ Lausn:
- ▶ Við vitum að M stendur fyrir Mega eða 10^6
- ▶ Þá er tíðnin = $1,034 * 10^8$ Hz

$$c = v * \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{c}{v} \Rightarrow \lambda = \frac{3,00 * 10^8 \frac{m}{s}}{1,034 * 10^8 \frac{1}{s}} = 2,899 m$$

6.2 - skömmtuð orka og ljóseindir

- ▶ Ljós er hinsvegar ekki bara bylgja. Heldur líka sem eindir.
- ▶ Það tók hinsvegar langan tíma fyrir okkur að átta okkur á því og sumt sem sat lengi í mönnum og var lengi óvissa. En bylgjumódel ljóss getur ekki skýrt þetta þrennt :
 - ▶ 1) af hverju heitir hlutir skyndilega gefa frá sér ljós.
 - ▶ 2) af hverju það losna rafeindir frá málmum við það að fá á sig ljós
 - ▶ 3) Af hverju það kemur ljós frá gastegundum þegar við hleypum rafmagni í gegnum þær.
 - ▶ Skoðum 1) og 2) núna í 6.2 og síðan 3) í 6.3.

Heitir hlutir gefa frá sér ljós



- ▶ Þegar fastir hlutir hitna gefa þeir frá sér rafsegulgeislun sem við sjáum sem lit.
- ▶ Við bókstaflega tölum um rauðglóandi hluti.
- ▶ Við sáum í 6.1 að mismunandi litir eru sökum mismunandi bylgjulengdar og því er rauður hlutur kaldari en gulur/hvítur litur
- ▶ Og blár logi langheitastur því hann hefur mestu tíðnina.

Rauðglóandi ráðgátan

- ▶ Af hverju hlutir geisla frá sér við hitun var sjúklega mikil ráðgáta lengi vel.
 - ▶ Blackbody radiation
- ▶ Seint á 19. öldinni (1800+) var ekki til nein eðlisfræðileg skýring á því en menn þekktu fyrirbærið vel úr daglegu lífi, eins og við.
- ▶ Það var ekki fyrr en 1900 þegar Max Planck stakk upp á því að orka væri skömmtuð.
 - ▶ Það þýðir að orka geti bara losnað í smáskömmtum sem er föst stærð. Hann kallaði einn skammt quantum (sem þýðir fixed amount) og skammtur er geggjuð íslensk þýðing.
 - ▶ Hver toppur er einn skammtur sem þýðir að geislun með hærri tíðni skilar af sér fleiri skömmtum og er því orkumeiri. Þess vegna er blár logi heitari en rauður, því að blá geislun hefur hærri tíðni en sú rauða. Gammageislun er síðan stóhættuleg.

Skammtar

- ▶ Það þarf smá tíma til að átta sig á þessarri skömmtuðu orku.
- ▶ Stigamódelið er langþægilegast.
- ▶ Rampurinn kemur þér upp í nákvæmlega sömu hæð og þrepin nema að rampurinn er línulegur upp á við.
- ▶ Þrepin eru skömmtuð. Þú getur ekki tekið hálft þrep eða $1/3$ úr þrepi. En þú getur tekið tvö, en ekki tvö og hálft!
- ▶ Þrepin eru í heilum skömmtum.



Planck's fastinn og nóbelsverðlaun

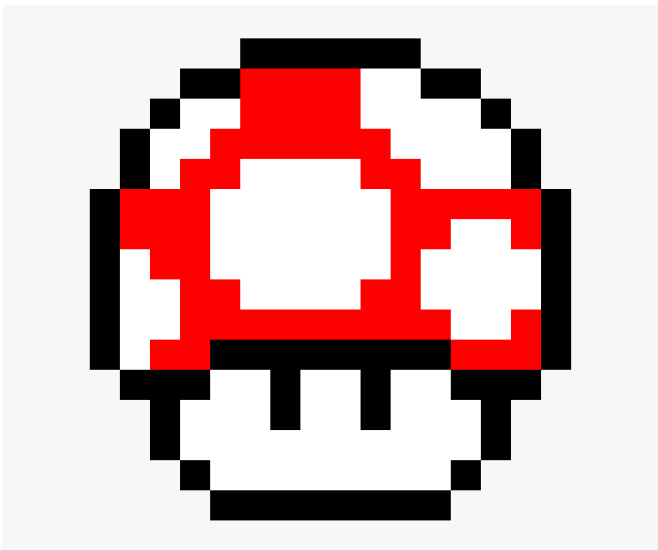
- ▶ Plank setti ekki bara fram hugmyndina af skammtaðri orku heldur sýndi fram á útreikninga og setti fram jöfnuna :

$$E = h * \nu$$

- ▶ Þar sem E er einn skammtur af orku, ν er tíðnin og h er Planck fastinn

$$h = 6,626 * 10^{-34} Js$$

- ▶ Orka getur því losnað bara í skömmtum sem eru margfeldi af E, 1E, 2E, 3E eins og með þrep í stiga.
- ▶ Max Planck fékk síðan Nóbelsverðlaun fyrir rannsóknir sínar 1918.



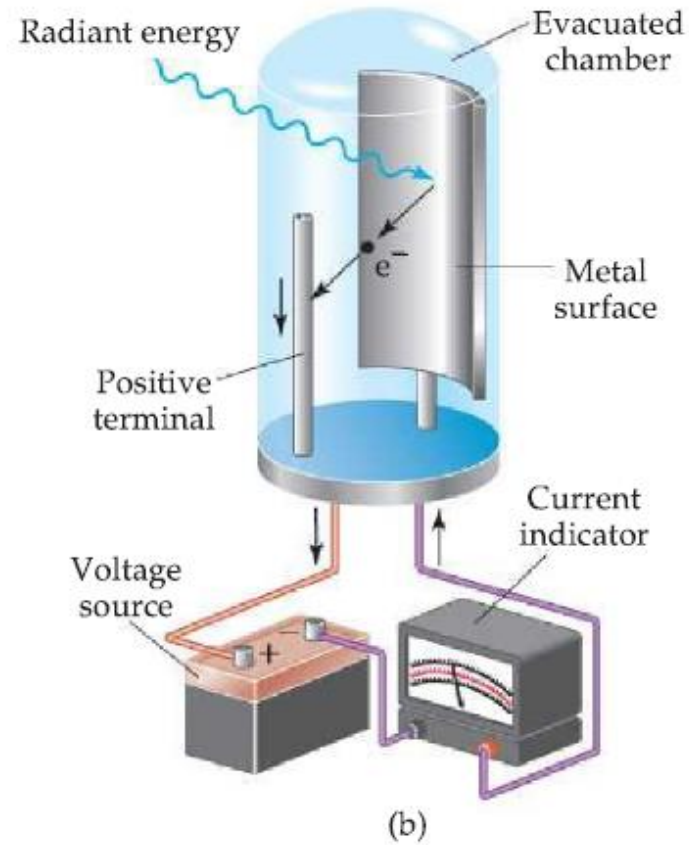
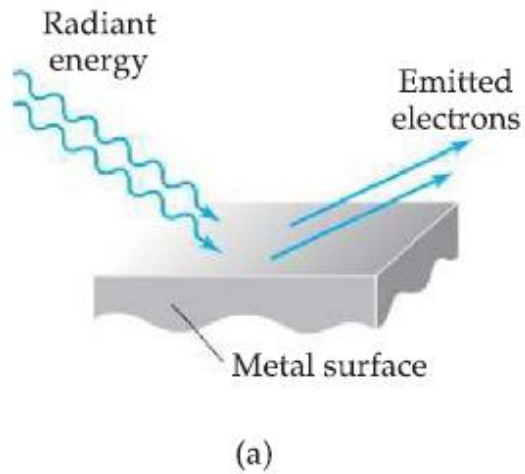
En ef orka er skömmtuð, af hverju finnum við ekki fyrir því ?

- ▶ Sjáum að planckfastinn er ótrúlega lítil tala.
- ▶ Það þýðir að einn skammtur er voðalega lítil orka.
 - ▶ Einn skammtur er því engan veginn eitthvað sem við tökum eftir í okkar daglegu lífi, en þegar við erum að reikna, eða skoða rafeindir og atóm þá er einn skammtur hellingur.
- ▶ Getum hugsað þetta svolítið eins og Pixla í tölvu.
- ▶ Það hefur orðið gífurleg þróun í tölvuskjám, sjónvörpum og leikjum. Áður fyrr var auðvelt að finna fyrir hverjum pixli (Super Mario Bros) en í dag eru þeir mun meira smooth þrátt fyrir að vera úr sömu hugmyndafræðinni.

Ljósrof

- ▶ Stuttu eftir að Planck kom fram með hugmyndina um skammtaða orku fóru aðrir að tengja það saman við fyrri rannsóknir og ráðgátur.
- ▶ Einn þeirra var Albert Einstein.
 - ▶ Útskýrði ljósrof (photoelectric effect)
 - ▶ Ljósrof er þegar ljósi er beint að málmfleti þá losar málmurinn frá sér rafeindir.
 - ▶ Tríkið liggur í því að fyrir mismunandi málma þarf missterkt ljós til að losa rafeindir.
 - ▶ Hver málmur hefur lágmarks tíðni sem ljósið þarf að hafa til að rafeindir losni. Eins og nokkurn veginn dresscode.
 - ▶ T.d. Þarf ljós með tíðni $4,6 * 10^{14}$ Hz til að losa rafeindir frá Cs málm.

▼ **Figure 6.8 The photoelectric effect.** When photons of sufficiently high energy strike a metal surface, electrons are emitted from the metal, as in (a). The photoelectric effect is the basis of the photocell shown in (b). The emitted electrons are drawn toward the positive terminal. As a result, current flows in the circuit. Photocells are used in photographic light meters as well as in numerous other electronic devices.



Meira um ljósrof

- ▶ Það sem er áhugaverðast við ljósrof er að það brýtur sumar reglur sem við höfum tileinkað okkur í daglegu lífi og sumar ekki.
 - ▶ Sýnir bara hvað lífið og umhverfið okkar er skemmtilega flókið.
- ▶ Ef við erum ekki nægilega sterk til að lyfta einhverju þá höfum við tvo valmöguleika:
 - ▶ Fá aðstoð frá einhverjum og lyfta því saman, eða nota skábraut eða önnur hjálpartæki.
 - ▶ Eða verða sterkari og koma og lyfta því seinna.
- ▶ Ljós hefur bara seinni valmöguleikann, ef við myndum bæta við öðrum lampa með tíðni undir lágmarkstíðninni þá mun ekkert gerast.
- ▶ Ef við komumst ekki inn á skemmtistað því við erum ekki 20 ára, þá munu tveir 10 ára ekki komast inn.
 - ▶ Sama hugmyndafræði og lágmarkstíðnin.

Ljóseindir

- ▶ Til að útskýra ljósrofið þá áætla Einstein að ljósið sem skín á málminn sé stöðugur straumur af orku.
 - ▶ Orkan væri skömmtuð eins og Planck lagði til og hver skammtur væri ein ljóseind.
- ▶ Orkan sem hver ljóseind hefur væri þá

$$E = h * \nu$$

- ▶ Þar sem h er planckfastinn, $6,626 * 10^{-34}$ Js og ν er tíðni.
- ▶ Til að losa rafeindir úr málminum þá þyrfti orka ljóseindarinnar að vera meiri en orkan sem heldur rafeindinni fastri.
 - ▶ Hærri tíðni þýðir að hver ljóseind hefur hærri orku og skýrir lágmarkstíðnina.

Meira um ljóseindir

- ▶ Ef að orkan í hverri ljóseind er ekki nægilega mikil til að losa rafeindir þá mun ekkert gerast. Alveg sama hversu margar lenda á málminum.
- ▶ En hvað gerist ef við tvöföldum tíðnina?
 - ▶ Þegar tíðnin er tvöfölduð þá tvöfaldast líka orkan sem hver ljóseind hefur.
 - ▶ Það þýðir samt ekki að það losni tvöfalt fleiri rafeindir, heldur fer umfram orkan í hraða rafeindinnar sem losnar.
 - ▶ Þetta skarast á við það sem þekkjum.
 - ▶ Segjum að við séum að fara með poka úr búðinni heim. Við erum nægilega sterk til að geta haldið á tveimur pokum, en ef við værum ljóseind þá gætum við bara haldið á einum poka en farið með hann hraðar.
- ▶ Einstein fékk Nóbelsverðlaun fyrir þessar hugmyndir árið 1921

Sýnidæmi 6.3

- ▶ Hver er orka einnar ljóseindar sem hefur bylgjulengdina 589 nm ?
- ▶ Lausn:
- ▶ Til að reikna orkuna þá þurfum við tíðnina.

$$c = \lambda * \nu \Rightarrow \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,0 * 10^8 \frac{m}{s}}{589 \text{ nm} * \frac{10^{-9} m}{1 \text{ nm}}} = 5,09 * 10^{14} \frac{1}{s}$$

- ▶ Orkan er þá

$$E = h * \nu \Rightarrow E = 6,626 * 10^{-34} \text{ Js} * 5,09 * 10^{14} \frac{1}{s} = 3,37 * 10^{-19} \text{ J}$$

Annað dæmi um ljóseindir

- ▶ A) Laser gefur frá sér ljós með tíðnina $4,69 \cdot 10^{14}$ Hz. Hver er orka einnar ljóseindar frá lasernum?
- ▶ B) Ef sami laser gefur frá sér ljós sem inniheldur $5,0 \cdot 10^{17}$ ljóseindir. Hver er heildarorka lasersins?
- ▶ C) Ef laserinn gefur frá sér geislun með orkuna $1,3 \cdot 10^{-2}$ J, hvað eru það margar ljóseindir?

Lausn við aukadæmi

- ▶ A) Við setjum það bara beint í jöfnuna:

$$E = h * \nu \Rightarrow E = 6,626 * 10^{-34} \text{ Js} * 4,69 * 10^{14} \frac{1}{s} = 3,11 * 10^{-19} \text{ J}$$

- ▶ B) í A reiknuðum við orku einnar ljóseindar og núna erum við með fjölda ljóseinda svo við margföldum það saman.

$$E_{total} = 3,11 * 10^{-19} \frac{J}{ljóseind} * 5,0 * 10^{17} \text{ ljóseindir} = 0,16 \text{ J}$$

- ▶ C) Núna erum við með fast gildi á orku og við vitum hvað hver ljóseind gefur mikla orku :

$$Fjöldi \text{ ljóseinda} = \frac{1,3 * 10^{-2} J}{3,11 * 10^{-19} \frac{J}{ljóseind}} = 4,2 * 10^{16} \text{ ljóseindir}$$

Samantekt

- ▶ Ljós hegðar sér bæði sem ljós og sem bylgja.
- ▶ Ljós er rafesegulgeislun sem gefur frá sér skammtaða orku í formi ljóseinda og eru háðar tíðni
 - ▶ Há tíðni þýðir meiri orka og því eru t.d. Gammageislar, Röntgen og aðrar hátíðnigeislanir hættulegar.
 - ▶ Lág tíðni eru afar hættulítill og stöðugt í kringum okkur.
- ▶ Það að ljós sé bæði ljós og bylgja leysir margar ráðgátur en opnar einnig fyrir nýjar, hvort gildir í fleiri tilfellum? Getur ljósið „valið“ ?
- ▶ Er ljós það eina sem hegðar sér svona eða gildir þessi tvíhegðun um fleiri hluti?