

Kaflar 6.3 og 6.4

Bohr módelið og bylgjuhegðun efnis

Litróf



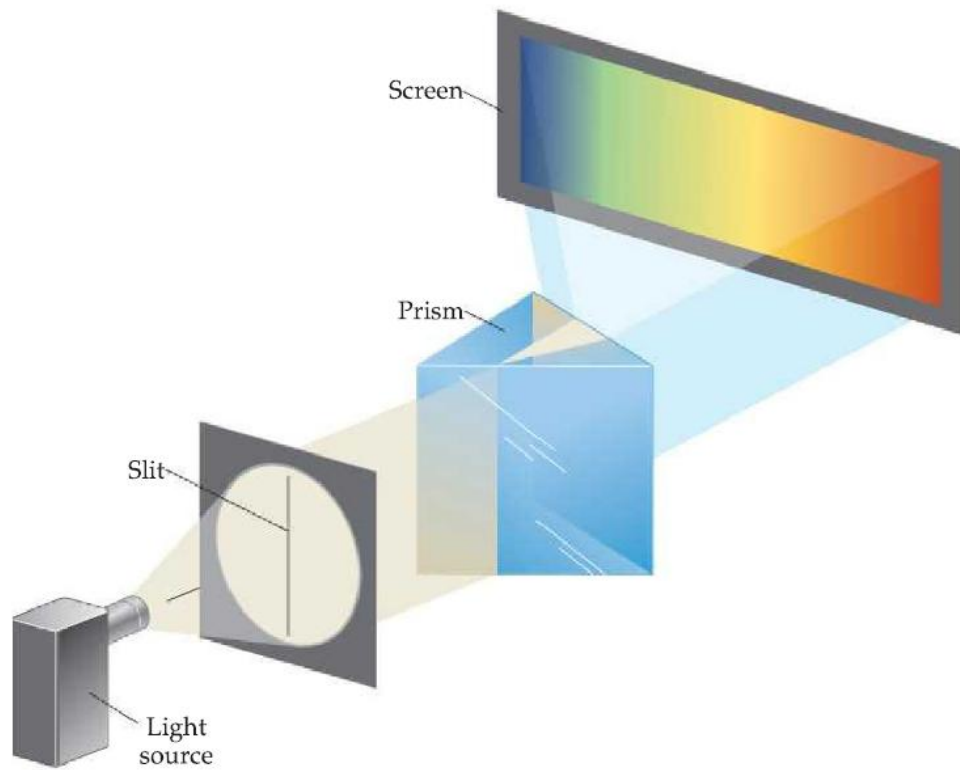
- ▶ Vinna Planck og Einsteins ruddu leiðina fyrir aðra.
 - ▶ En einnig fyrir nýjar hugmyndir og nýja sýn.
- ▶ Einn þeirra var danski eðlisfræðingurinn Niels Bohr.
 - ▶ Algjör töffari.
- ▶ Hann kom með lausn á ráðgátunni um litróf sem hafði lengi staðið í fræðimönnum 19.aldarinnar.

Litróf

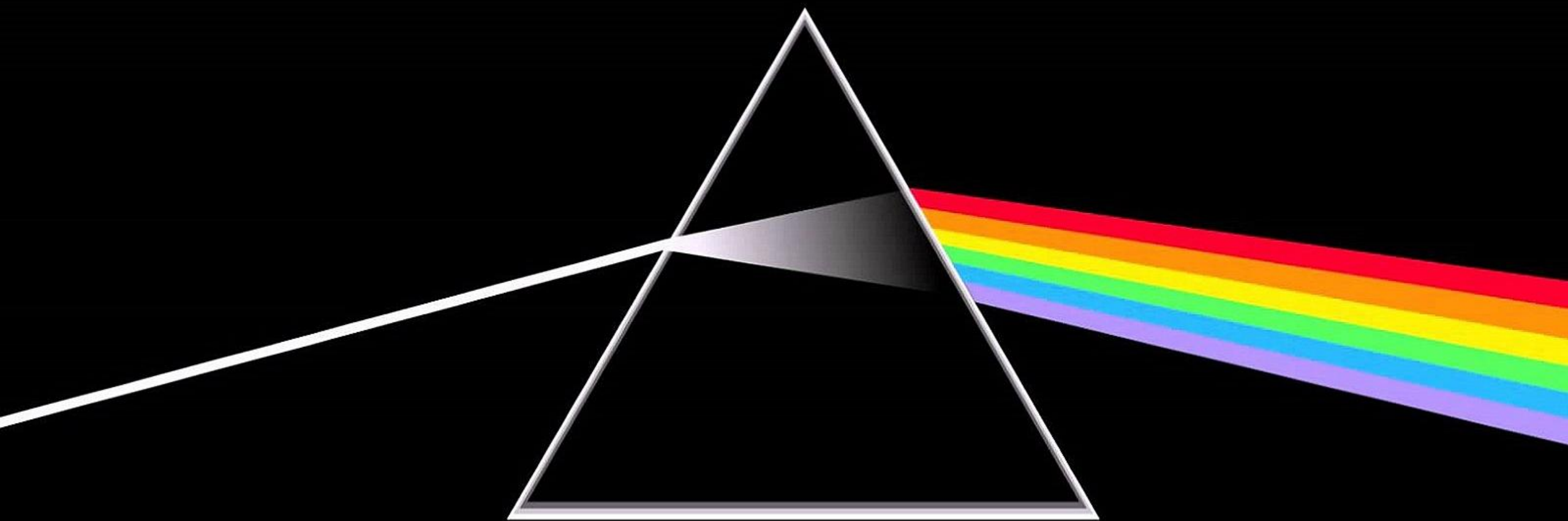


- ▶ Rafsegulgeislun getur verið einlit (*monochromatic*)
 - ▶ Ein bylgjulengd (t.d. Laser)
- ▶ En einnig getur rafsegulgeislun geislað frá sér rafsegulbylgjum með margar mismunandi tíðnir og bylgjulengdir.
- ▶ Slíkar geislanir eru fjöllita (*polychromatic*)
 - ▶ Öll hvít ljós t.d frá ljósaperu
- ▶ Fjöllita rafsegulgeislanir má brjóta niður í stakar bylgjulengdir og þá fæst litróf.

Litróf



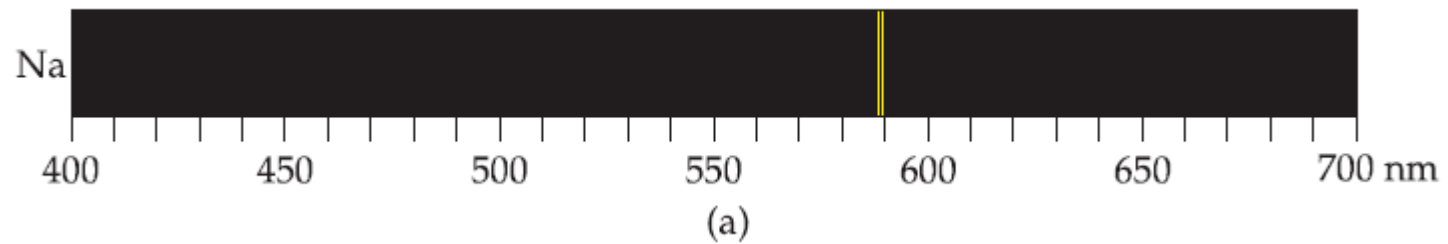
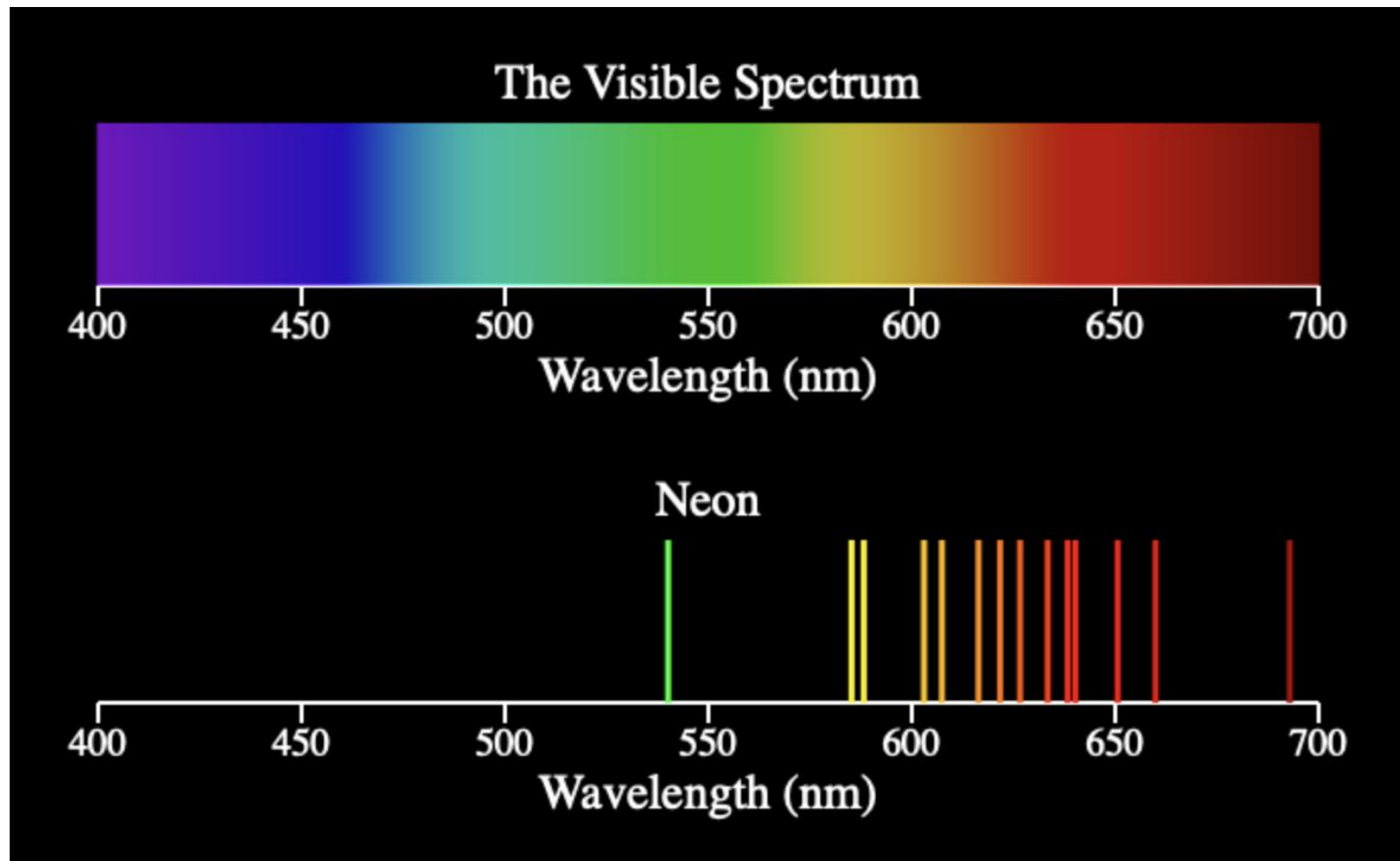
- ▶ Litrófið verður þá samfelld geislun lita frá lægstu bylgjulengd til þeirrar hæstu.
- ▶ Þegar hvítt ljós er brotið niður þá sjást allir litir litrófsins.
- ▶ Frægustu dæmin um litróf eru:
 - ▶ Regnbogar
 - ▶ Dark Side of The Moon



Önnur litróf

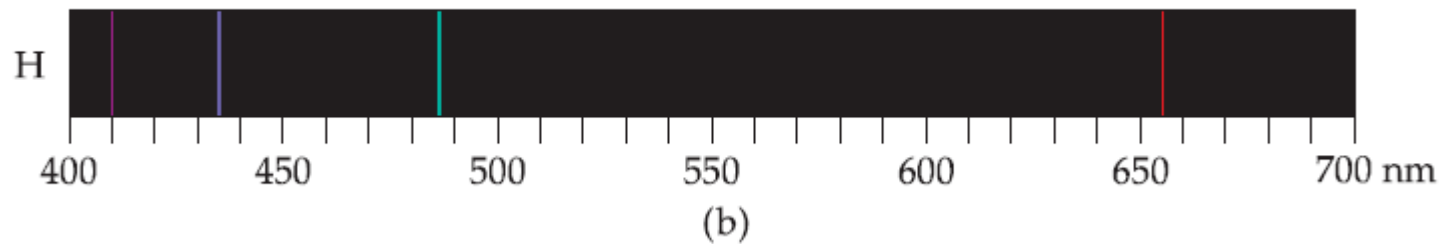
- ▶ Alls ekki allar rafsegulgeislanir gefa frá sér litróf með allar bylgjulengdir sýnilegs ljóss.
 - ▶ Þegar rafspenna er sett í gegnum glerrör sem inniheldur neon gas stafar það frá sér áberandi rauð appelsínugulu neon-ljósi.
 - ▶ Götulýsingar eru mjúk gul geislun Natríum lampa.
- ▶ Ef við brjótum ljós frá neon ljósum eða Natríumlömpum þá fáum við **ekki** litróf allra bylgjulengda sýnilegs ljóss heldur **bara** ákveðnar bylgjulengdir.





Litróf Vetrnis

- ▶ Þegar vísindamenn á miðri 19.öld uppgötvuðu litróf vetrnis fannst þeim það súper merkilegt hversu einfalt og „hreint“ það væri.
- ▶ Það inniheldur bara fjórar áberandi mislitar geislanir.



- ▶ Þeir höfðu samt ekki hugmynd hvað ætti að gera við það eða hvað það þýddi.
- ▶ Það var ekki fyrr en 1885 þegar svissneski kennarinn Johann Balmer tengdi bylgulengdirnar saman með einfaldri formúlu með heildun.

Jafna Balmers

- ▶ Jafna Balmers var frekar hrá en skref í rétta átt.
 - ▶ Fljótlega var hún betrubætt þegar fundust fleiri línur í litrófi vetnis á innrauða og útfjólublá sviðinu.
- ▶ Jafnan sem við endum með er :

$$\frac{1}{\lambda} = R_H * \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

- ▶ Sem er einnig kölluð Rydberg jafnan sökum R_H sem er Rydberg fastinn.
 - ▶ $R_H = 1,096776 * 10^7 \text{ 1/m}$
 - ▶ n_1 og n_2 eru jákvæðar heiltölur

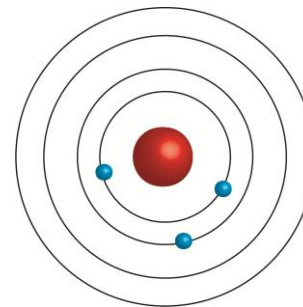
Meira um jöfnu Balmers/Rydbergs



- ▶ Jafnan gekk upp og virkaði
 - ▶ Gat reiknað staðsetningu línanna á litrófi vetnis og sýnt fram á samband á milli þeirra.
 - ▶ En enginn vissi af hverju ekki.
 - ▶ Truflaði fræðimenn enn meira
- ▶ 30 árum síðar, árið 1913 kemur Niels Bohr fram með sínar hugmyndir.
- ▶ Það voru þá komin 50+ ár síðan vetnislitrófið var uppgötvað að menn áttu sig á því hvað það þýddi

← Johannes Rydberg

Hugmyndir Bohrs



- ▶ Bohr áætlaði að rafeindir hreyfast í hring í kringum kjarnann þar sem róteindir og nifteindir eru.
 - ▶ En það gekk ekki upp miðað við eðlisfræðipekkingu síns tíma. Ekkert missir orku en heldur samt áfram hringhreyfingu sinni. Rafeindir ættu að spírala inn á við.
 - ▶ En hann fullyrti að þetta væri bara víst svona, það ætti bara eftir að koma í ljós af hverju !
- ▶ Þannig eru Bohr og Planck svipaðir og að því leiti að báðir koma fram með byltingarkenndir hugmyndir sem þeir neita að séu rangar þótt þeir geti í raun ekki svarað fyrir sig.
 - ▶ Bohr er líka sammála Planck og reiknar með því að orka sé skömmtuð og vinnur með það í líkani sínu.

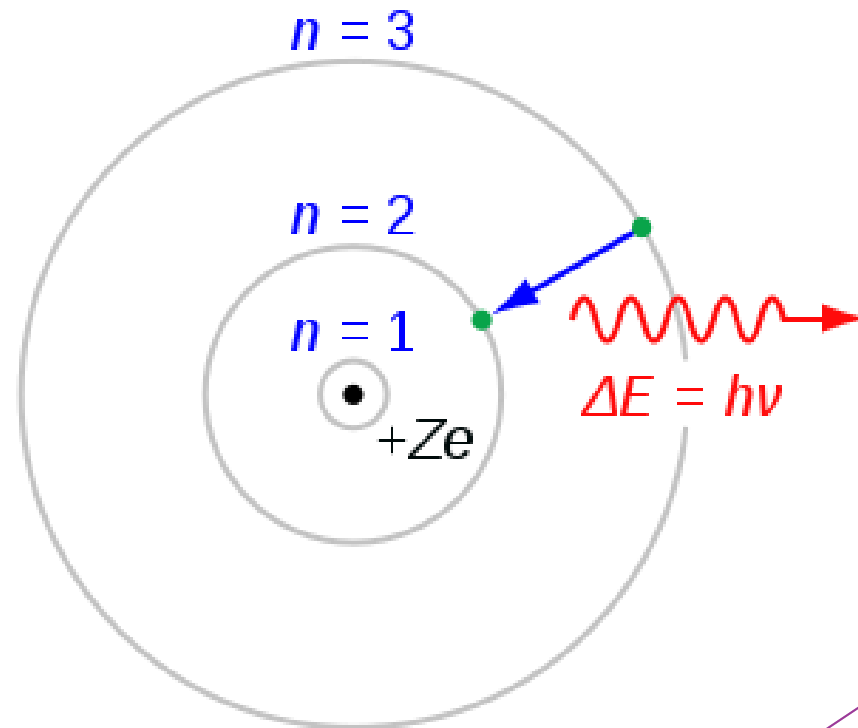
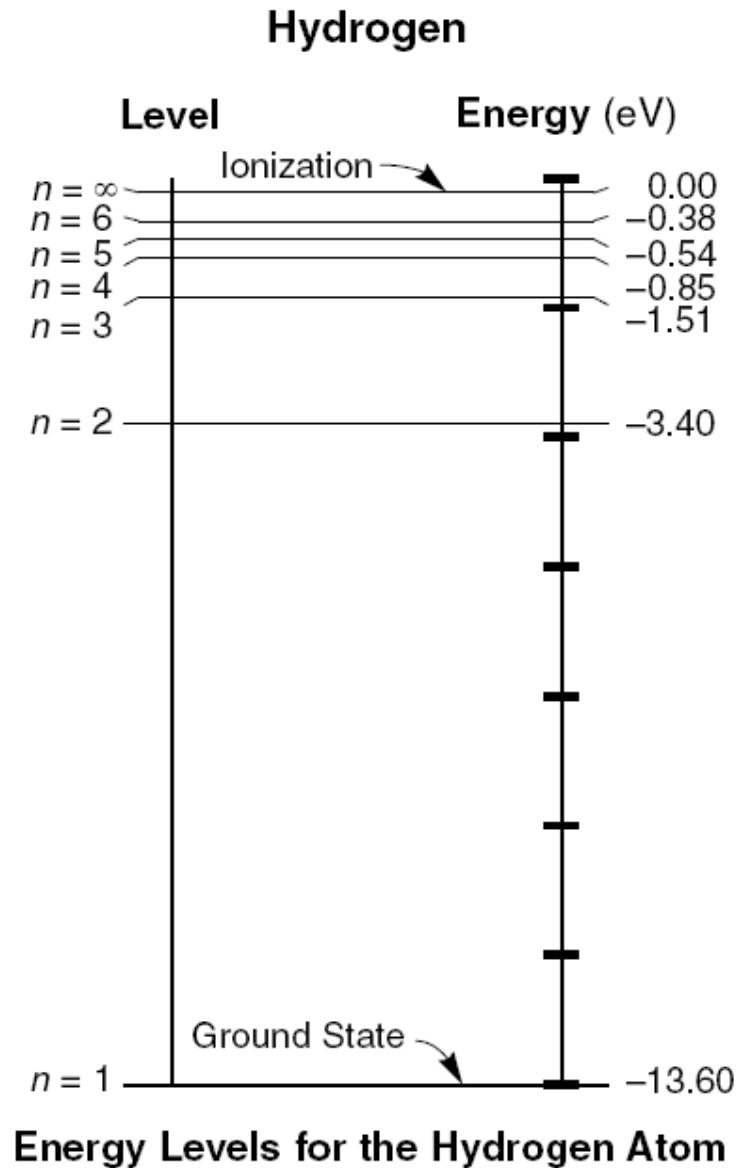
Bohr módelið

► Bohr módelið byggir á þremur grunnhugmyndum:

- 1) Rafeindir eru staðsettar á svigrúmum sem hafa fastan radíus og fast orkugildi. Og rafeindir verða að vera á þessum radíus sem miðast við orku rafeindarinnar.
- 2) Rafeind á ákveðnu orkusvigrúmi er í „leyfðu“ orkuástandi. Rafeind á slíku ástandi fær hvorki né tapar orku og spíralar þess vegna ekki inn í kjarnann.
- 3) Orka losnar eða fer inn í atóm bara þegar rafeind hoppar á milli orkuástanda. Orkan losnar sem ljóseind og hefur orkuna:

$$E = h * \nu$$

Bohr módelið myndrænt



Köfum dýpra

- ▶ Bohr reiknaði orkuna fyrir hvert leyft ástand n í módelinu sínu sem:

$$E = (-hcR_H) * \left(\frac{1}{n^2}\right) = (-2,18 * 10^{-18} J) * \left(\frac{1}{n^2}\right)$$

- ▶ Þar sem c er ljóshraði og h er Planckfastinn.
- ▶ n er jákvæð heiltala á milli 1 og ∞
- ▶ n er þá líka hvaða hringur í kringum kjarnann er verið að tala um, $n = 1$ er þá fyrsti hringurinn, $n = 2$ er næsti hringur etc.
- ▶ Því hærra sem við förum frá kjarnanum því hærri er orkan
 - ▶ $E = 0$ þegar $n = \infty$

Og enn dýpra

- Þriðja grunnhugmynd Bohrs var að rafeindir geta stokkið á milli orkuástanda og við það losnar orka eða orka kemst inn. Þessi orka losnar eða er gleypt af atóminu sem ljóseind.
- Við getum þá skrifað það sem:

$$\Delta E = E_f - E_i = E_{ljóseind} = h * \nu$$

- Og við getum umritað tíðnina samkvæmt bylgjujöfnunni:

$$ef\ c = \lambda * \nu\ \text{þá er} : \Delta E = h * \frac{c}{\lambda}$$

Og aðeins lengra

- Breytingin á E er þá:

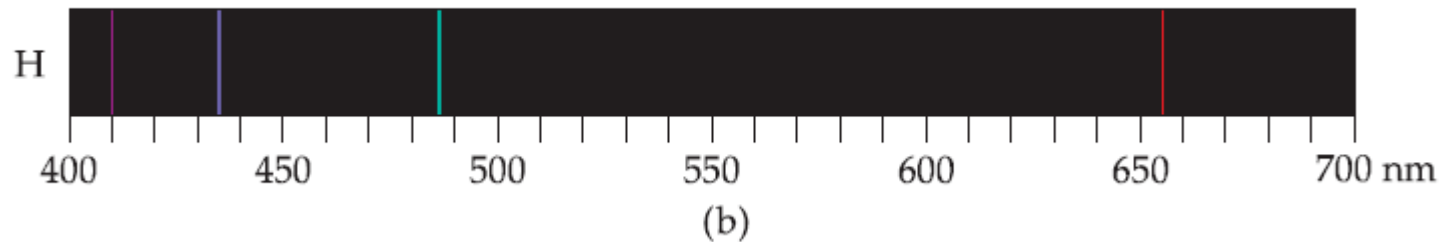
$$\Delta E = (-2,18 * 10^{-18} J) * \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

- Þar sem n eru tvö mismunandi orkuástönd og núna getum við reiknað orkuna þegar rafeind skoppar á milli þeirra !
- Ef við leysum jöfnuna hér að ofan fyrir $1/\lambda$ eins og við skoðuðum á síðustu glæru þá fáum við aftur jöfnu Balmer's !

$$\Delta E = \frac{h * c}{\lambda} \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{\Delta E}{h * c} = \frac{-h * c * R_H}{h * c} * \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) = R_H * \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)$$

Línurnar eru ljóseindir að losna!

- ▶ Línurnar í litrófunum eru því ljóseindir sem losna úr atómum þegar rafeindir hoppa niður um orkuástönd (hringi)



- ▶ Vetrinatómið losar því frá sér ljóseindir með þessar bylgjulengdir sem hafa einkennandi liti.
 - ▶ Með ítarlegri rannsóknum sem byggja á sömu hugmyndafræði má finna sameindir og atóm í geimrannsóknum.

Hvað nýtist þetta okkur?

- ▶ Notum ekki mikið upprunalegu jöfnu Balmers.
 - ▶ Þurfið ekki að kunna útleiðsluna frá síðustu glærum eins og hún væri sönnun.
- ▶ Heldur hvernig eigi að nota:

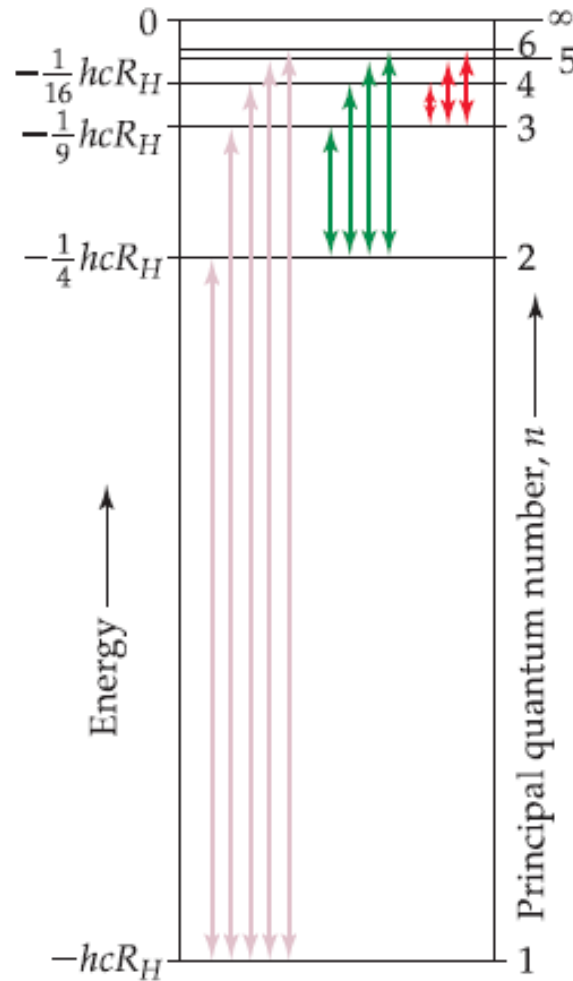
$$\Delta E = -2,18 * 10^{-18} * \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

- ▶ Þar sem við erum að reikna orkubreytinguna þegar rafeind hoppar af einum hring yfir á annan.
 - ▶ n eru orkuástöndin (hringirnir í Bohr líkaninu)
 - ▶ Við stökk losnar eða gleypist ljóseind og getum reiknað tíðni hennar sk.v

$$E = h * v$$

Meira um gildið n

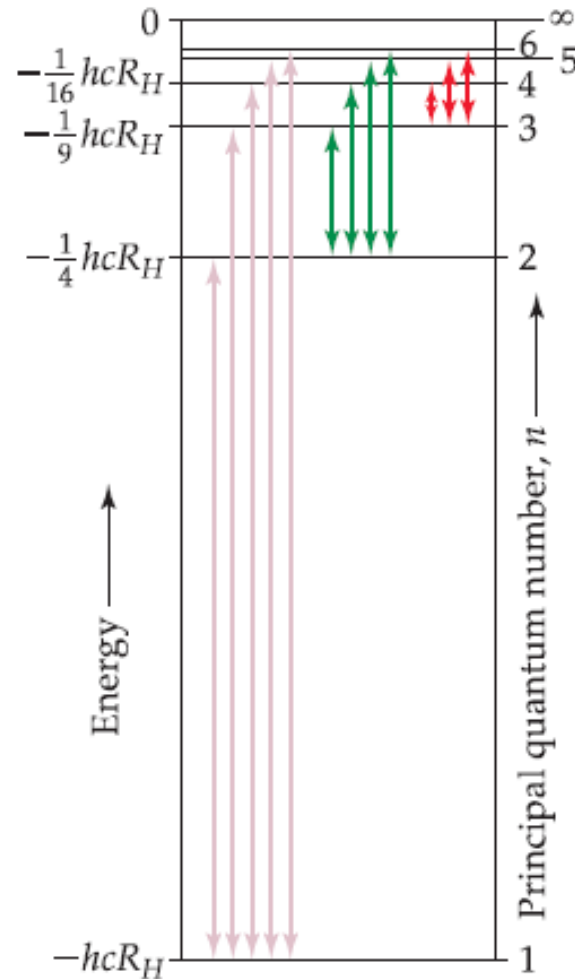
- Gildi n er kallað aðalskammtatalan.
- Þegar $n = 1$ þá tölum við um grunnástand.
- Orkuástandið næst kjarnanum og öll atóm hafa rafeindir sem eru á því ástandi.
- Þegar $n = 2$ eða hærra tölum við um örvað ástand og rafeindin er í orkumeira ástandi en grunnástandið.



Sýnidæmi 6.4

- Hvert af þessum stökkum rafeinda gæfi frá sér línu á litró með mestu bylgjulengdina?

- Frá $n = 2$ yfir á $n = 1$
- Frá $n = 3$ yfir á $n = 2$
- Frá $n = 4$ yfir á $n = 3$

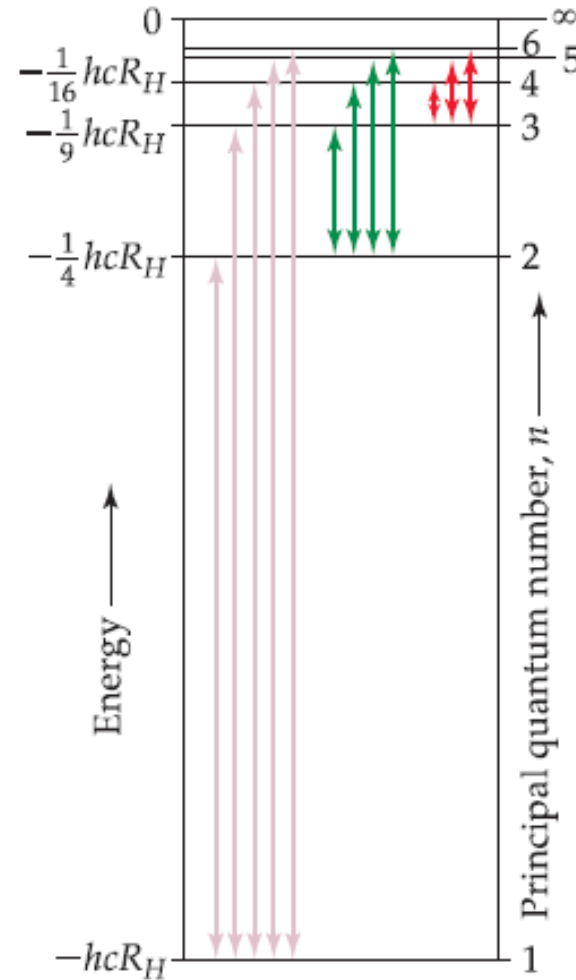


Sýnidæmi 6.4 - lausn

- ▶ Sjáum að því ofar sem við förum er sífellt minna bil á milli orkuástandanna.
 - ▶ Minna stökk = minni orka.
 - ▶ Minnni orka = lægri tíðni = lengri bylgjulengd !
- ▶ Getum líka séð/reiknað þetta frá jöfnunni:

$$\Delta E = -2,18 * 10^{-18} * \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

- ▶ Þar sem n_f er lokastaðsetning og n_i er upphafsstaðsetning.



Annað dæmi

- ▶ Segðu til um hvort að eftirfarandi stökk rafeinda um orkuástönd gefi frá sér ljóseind eða þurfi að gleypa inn ljóseind til að geta stokkið.
- ▶ Frá $n = 3$ á $n = 1$
 - ▶ Hérna er rafeindin að fara úr háu orkuástandi yfir á lægra svo að afgangssorkan losnar frá atóminu sem ljóseind út.
- ▶ Frá $n = 2$ yfir á $n = 4$
 - ▶ Hérna er verið að stökkva frá orkulágu orkuástandi yfir á hærra og þarf því ljóseind með orku til að skjóta rafeindinni upp.

Sýnidæmi 6.4

- ▶ Hver er bylgjulengd ljóseindar sem verður til vegna þess að rafeind stekkur frá $n = 3$ niður á $n = 1$ í vetnisatómi?
- ▶ Lausn:
- ▶ Byrjum á því að skoða jöfnu Bohrs:

$$\Delta E = -2,18 * 10^{-18} * \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

- ▶ Og setjum síðan inn fyrir n :

$$\Delta E = -2,18 * 10^{-18} * \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) = -1,94 * 10^{-18}$$

Sýnidæmi 6.4 - lausn 1/2

- Munum síðan að breytingin á orku, ΔE er jafnt ljóseind sem hefur orkuna:

$$E = h * \nu$$

- Og þá er jafnan:

$$h * \nu = -1,94 * 10^{-18}$$

- Munum síðan að það er fast samband milli tíðni og bylgjulengdar og setjum það inn.

$$c = \lambda * \nu$$

$$h * \frac{c}{\lambda} = -1,94 * 10^{-18} \Rightarrow$$

$$\lambda = \frac{h * c}{-1,94 * 10^{-18}} = \frac{(6,626 * 10^{-34}) * (3 * 10^8)}{-1,94 * 10^{-18}} = -1,02 * 10^{-7} m$$

Sýnidæmi 6.4 - lausn 2/2

- ▶ Sjáum strax að þetta gengur ekki alveg upp.
 - ▶ Svartið okkar er neikvætt og í metrum, en við getum ekki haft neikvæða lengd.
- ▶ Mínusinn þýðir einfaldlega að þessi ljóseind er að sleppa frá atóminu.
 - ▶ Ef við erum með bylgjulengd í plús þá er það ljóseind sem kemur inn í atóm til að örva rafeindir.
- ▶ Bylgjulengdin okkar var:

$$\lambda = 1,02 * 10^{-7} m = 10,2 \mu m$$

- ▶ Sem er innrauð geilsun samkvæmt rafsegulrófinu.

Takmarkanir Bohr líkansins

- ▶ Bohr líkanið er ekki gallalaust og er í besta lagi gróft líkan.
 - ▶ Virkar í raun bara fyrir vetnisatómið
 - ▶ Bohr hunsaði spíralhegðunina og aðra gagnrýni
 - ▶ Hugmyndin um rafeind á ferð um hringi kringum kjarnann er mikil einföldun á sannleikanum
- ▶ En Bohr módeið var ótrúlega mikilvægt skref í rétta átt!
- ▶ Tvö lykilatriði sem skipta öllu komu fyrst fram í Bohr módelinu:
 - ▶ Rafeindir eru staðsettar á föstum orkuástöndum sem eru merkt með skammtatölunni n
 - ▶ Til að stökkva upp eða niður orkuástönd þarf eða losnar orka.

Kaflí 6.4 - Bylgjuhegðun efnis

- ▶ Á nokkrum árum varð tvíhegðun ljóss sem bylgja og eind ásamt Bohr módelinu kunnuglegar hugmyndir.
 - ▶ Margir byrjuðu að vinna með þær hugmyndir og þróa þær áfram.
 - ▶ Aðrir sátu eftir í afneitun eða unnu í öðru.
- ▶ Einn þeirra sem ákvað að skoða þetta nánar var de Broglie
 - ▶ Doktorsnemi í Frakklandi
- ▶ Hugmynd de Broglie:
 - ▶ Ef ljós getur verið bylgja en samt hegðað sér sem eind, getur efni með massa þá líka hegðað sér sem bylgja?

Hugmynd de Broglie

- ▶ de Broglie stingur upp á að rafeindir ferðist í kringum kjarnann sem bylgja.
 - ▶ Og hafi því bylgjulengd og tíðni
- ▶ Bylgjulengdin sé háð massa rafeindarinnar og hraðanum sem hún er á.

$$\lambda = \frac{h}{m * v}$$

- ▶ Þar sem $m*v$ er skriðþungi
 - ▶ Öll efni með massa og hraða hafa því bylgjueiginleika en í flestum tilvikum voðalega litla !

Sýnidæmi 6.5

- Hver er bylgjulengd rafeindar sem ferðast á hraðanum $5,97 * 10^6 \text{ m/s}$?
Rafeindir hafa massann $9,11 * 10^{-31} \text{ kg}$

Sýnidæmi 6.5 - lausn

- ▶ Hver er bylgjulengd rafeindar sem ferðast á hraðanum $5,97 * 10^6 \text{ m/s}$?
Rafeindir hafa massann $9,11 * 10^{-31} \text{ kg}$
- ▶ Lausn:
- ▶ Setjum þetta beint inn í jöfnu de Broglie.

$$\lambda = \frac{h}{m * v} \Rightarrow \lambda = \frac{6,626 * 10^{-34} \text{ Js}}{9,11 * 10^{-31} \text{ kg} * 5,97 * 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1,22 * 10^{-10} \text{ m}$$

- ▶ Ef við berum saman við rafsegulrófið er þetta röntgen geislun.

Hver er bylgjulengd keilukúlu á ferð?

- Fyrir bestan árangur í keilu þarftu að hámarka skriðpunga kúlunnar.

$$E_{kinetic} = \frac{1}{2} * m * v^2$$

- Optimal hraði kúlunnar er 7,6 m/s og maður ætti að kasta eins þungri kúlu og hægt er og ná þessum hraða. Gefur okkur að kúlan sé 6,0 kg.
- Þá er:

$$\lambda = \frac{6,626 * 10^{-34} Js}{6,0 kg * 7,6 \frac{m}{s}} = 1,453 * 10^{-35} m$$

- Sem er langt fyrir utan rafsegulrófið og myndi aldrei vera mælanlegt. Svo bylgjueiginleikarnir eru hverfandi litlir.
 - Niðurstaðan er að við verðum ekki vör við bylgjueiginleika efnis ekkert frekar en að orka sé skömmtuð.

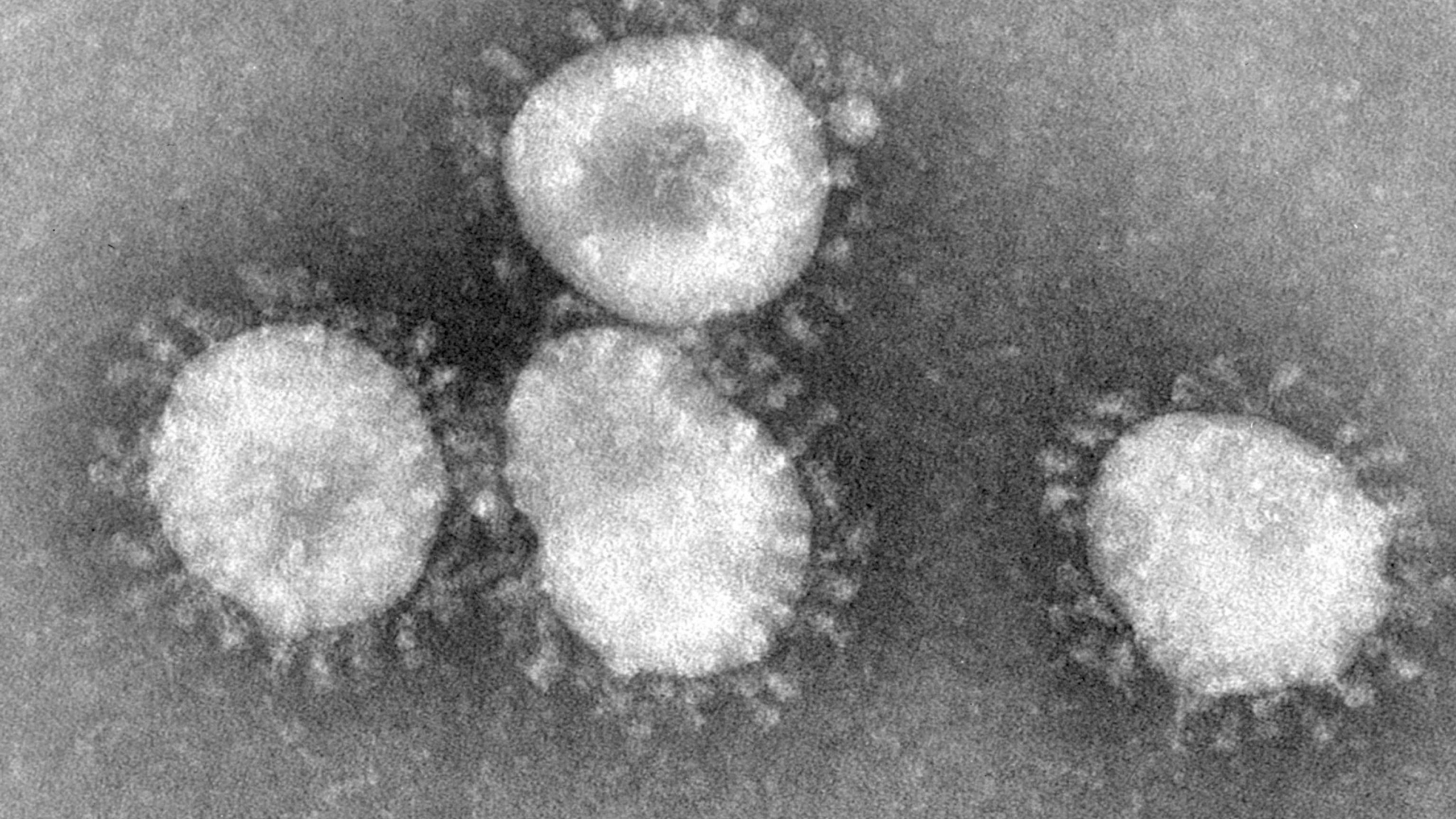
Rafeindasmásjár

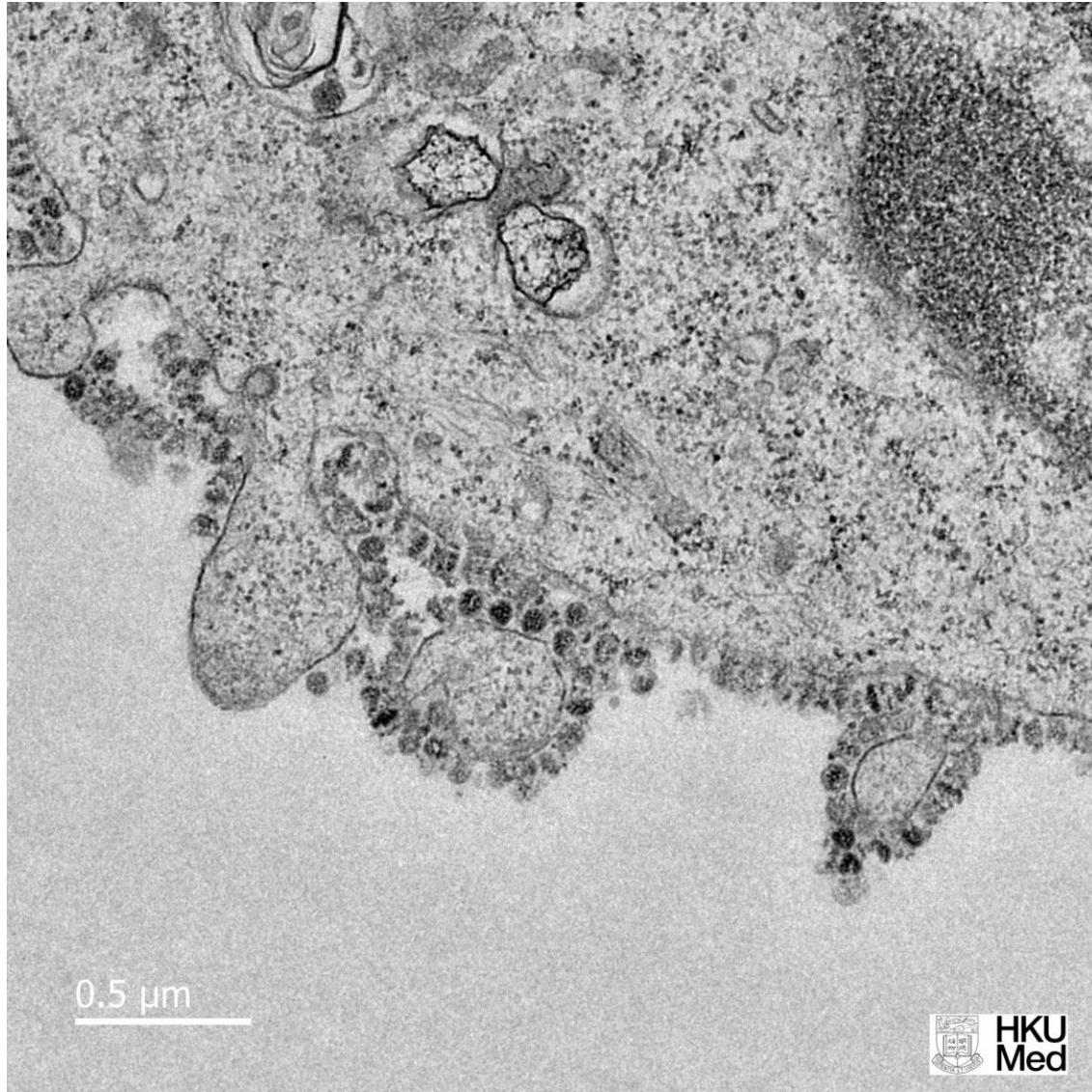
- ▶ Við höfum nýtt okkur bylgjueiginleika rafeindar í magnaðar uppgötvanir.
 - ▶ Röntgen var uppgötvað seint á 19. öld.
 - ▶ Fyrsta röntgen myndin af líkamshluta →
 - ▶ des. 1885 af hönd konu dr. Röntgen
 - ▶ Lokaði sig inni með mælitækjunum sínum því hann hélt hann væri orðinn geðveikur og reyndi að afsanna það fyrir sjálfum sér. Fékk konuna sína til að taka líka af sér röntgen mynd. Og fyrst þá fattaði hvað hann var að uppgötva!
- ▶ Smásjár sem vinna með sýnilegt ljós geta stækkað myndefni 1000 sinnum
- ▶ Rafeindasmásjár geta stækkað myndefni 3.000.000 sinnum vegna þess að bylgjulengdin er svo lítil.



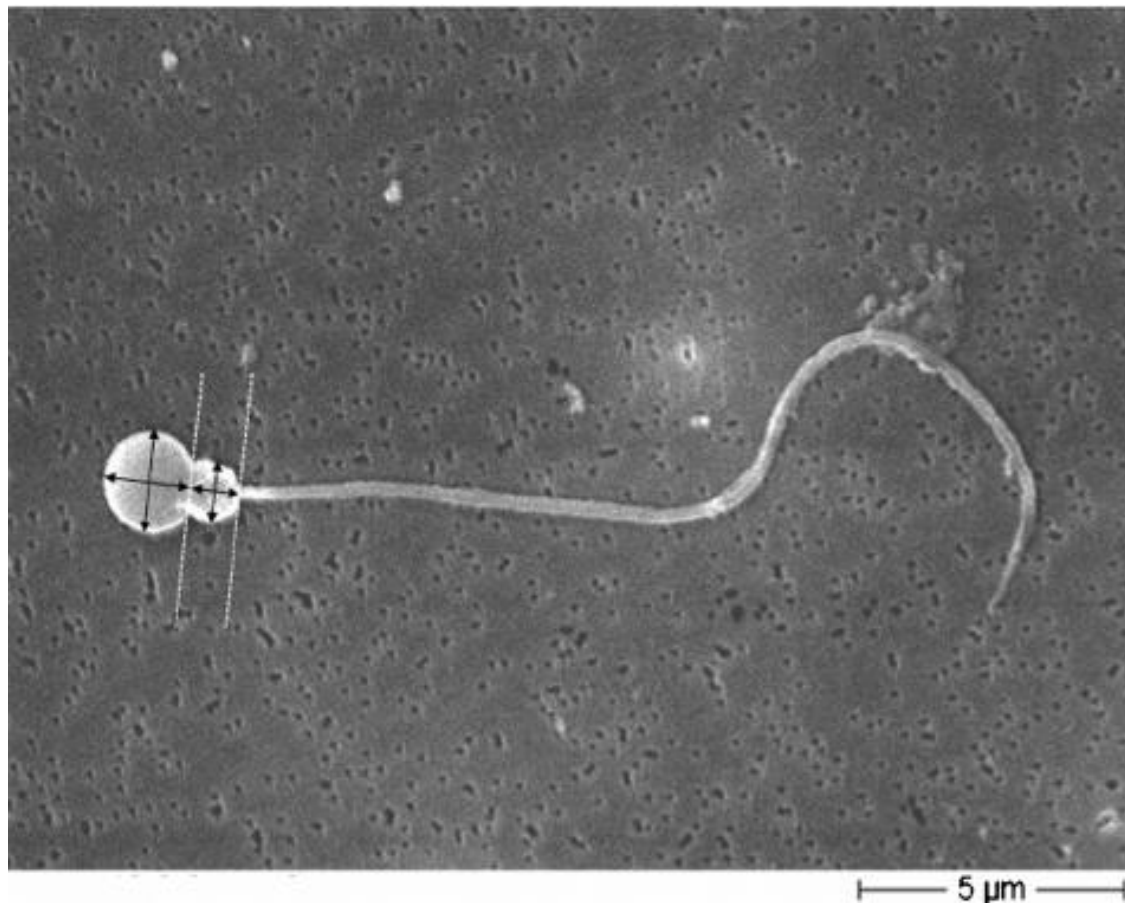


Myndir úr rafeindasmásjám





Sæðisfruma



Höfuðlús

Head Louse



Lice olympics (pole vault). Head louse on two human hair.

Courtesy of Louwrens Tiedt

Taken by Quanta SEM microscope

Magnification: 200x

Detector: SE

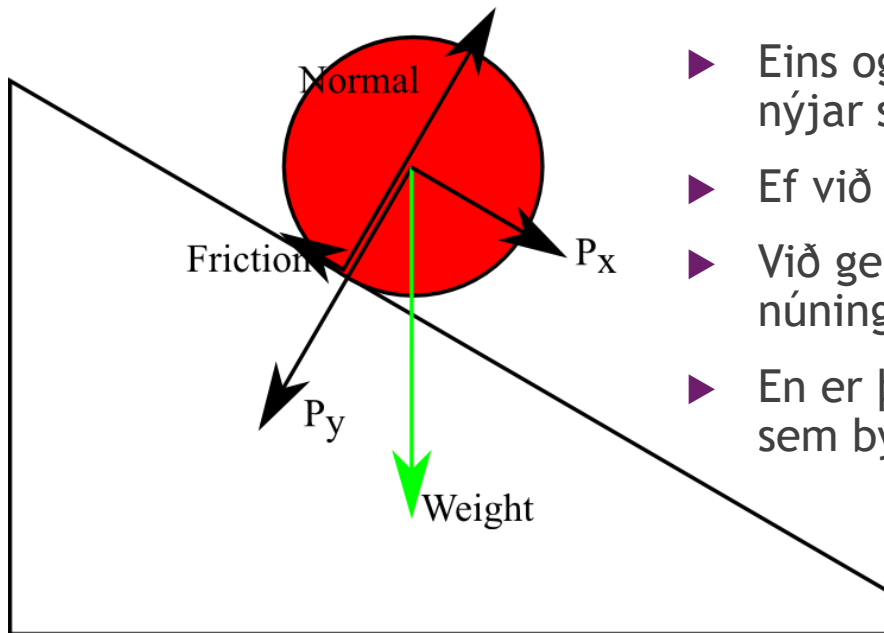
Voltage: 5 kV

Horizontal Field Width: 1.504 mm

Working Distance: 20 mm

Spot: 4

Þessu fylgdu nýjar spurningar



- ▶ Eins og með allar þessar uppgötvanir þá fylgdu þeim nýjar spurningar og nýjar pælingar.
 - ▶ Ef við hugsum okkur bolta sem rúllar niður brekku.
 - ▶ Við getum reiknað staðsetninguna, hraðavigna, núningskraft skriðpunga etc.
 - ▶ En er það líka hægt fyrir rafeind sem hegðar sér líka sem bylgja?
-
- ▶ Bylgjur teygja sig í áfram í tómarúmi og staðsetning á bylgju er ekki vel skilgreind.
 - ▶ Svo er í raun hægt að staðsetja rafeind?

Óvissulögmál Heisenbergs

- ▶ Þýski vísindamaðurinn Werner Heisenberg setti fram áhugaverðar nýjar hugmyndir í kjölfar de Broglie.
 - ▶ Ekki amfetamínframleiðandinn með augljós samskiptavandamál.
 - ▶ Var doktorsnemi hjá Niels Bohr og fékk Nóbelsverðlaun 32 ára.
- ▶ Óvissulögmál Heisenbergs segir að við getum ekki bæði þekkt hraða og staðsetningu hlutar á sama tíma.
 - ▶ Þurfið ekki að kunna né reikna, bara þekkja og hafa lesið.
- ▶ Gildir í raun bara fyrir mjög litla massa á mikilli hreyfingu eins og rafeindir.

$$\Delta x * \Delta(mv) \geq \frac{h}{4\pi}$$

Dæmi um áhrif óvissulögmálsins.

- Sýnidæmi í tímanum.

- Annað útreiknað dæmi:

- Gefum okkur að við séum með rafeind með massa $9,11 * 10^{-31}$ kg og fer á hraðanum $5 * 10^6$ m/s

- Gefum okkur að við vitum hraðann með 1%(0,01) nákvæmni svo

- $\Delta v = 0,01 * 5 * 10^6 = 5 * 10^4$ m/s

- Þá er:

$$\Delta x \geq \frac{h}{4\pi m \Delta v} = \left(\frac{6,626 * 10^{-34} Js}{4 * \pi * (9,11 * 10^{-31} kg) * \left(5 * 10^4 \frac{m}{s}\right)} \right) = 1 * 10^{-9}$$

- Sem er 10 sinnum stærri tala en stærð vetnisatóms $1 * 10^{-10}$ m !