

# Geislunarafl ljósaperu

Fríða Margrét Guðmundsdóttir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Science Institute, University of Iceland, Dunhaga 3, IS-107 Reykjavik, Iceland

(Dated: 20/04/2025)

## INNGANGUR

Margir kannast við að hefðbundnar glóperur hitna verulega þegar þær loga. Hitinn sem myndast er vegna samspils milli rafstraums, spennu og viðnáms. Ljósaperur, sérstaklega þær sem byggja á glóþraði úr wolfram, eru gott dæmi um kerfi þar sem rafleiðni breytist við hita. Pegar spennu er beitt eykst straumurinn, glóþraðurinn hitnar og þegar hitastigið verður nægilega hátt þá fer peran að glóa.

Á sama tíma og vírinn hitnar hækkar viðnámið. Petta stafar af því að atómin í kristalgrindinni titra meira við hærra hitastig. Aukinn titringur veldur því að rafeindirnar sem flytja rafstraumin rekast oftar á atómin og viðnámið eykst. Pessi breyting á viðnámi veldur því að sambandið milli spennu og straums verður ólínulegt og ljósaperan hagar sér eins og leiðari sem er ekki ohmískur. Því gildir lögmál Ohm's ekki lengur í sinni einföldu mynd.

Í þessari tilraun skoðum við hvernig viðnám ljósaperu þróast með spennu og hvernig hægt er að meta hitastig hennar út frá mælingum á spennu og straumi. Geislunarafl hennar er borið saman við vænt gildi samkvæmt lögmáli Stefan-Boltzmann til að ákvarða eðlisgeislunareiginleika glóþraðarins.

## FRÆÐI

Lögmál Ohm's lýsir sambandi spennu, straums og viðnáms þar sem hitastig helst stöðugt. Það tengir saman hversu mikill rafstraumur,  $I$ , rennur í gegnum viðnám,  $R$ , þegar spenna,  $V$ , er sett yfir viðnámið

$$V = IR \quad (1)$$

Þó að lögmál Ohm's eigi við um mörg efni við stöðugt hitastig þá er vel þekkt að viðnám málma vex með hitastigi. Einfalt líkan sem lýsir hvernig viðnám breytist með hitastigi er gefið með

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad (2)$$

þar sem  $R_0$  er upphafsviðnám efnisins við hitastigið  $T_0$  og  $R$  er viðnámið við hitastigið  $T$ . Fastinn  $\alpha$  er hitastuðull efnisins og hefur mismunandi gildi eftir málum.

Líkanid má einnig nota til þess að ákvarða hitastig út frá viðnámsbreytingunni (miðað við  $T_0$ ) ef hitastigulinn  $\alpha$  er þekktur

$$T = \left( \frac{\frac{R}{R_0} - 1}{\alpha} \right) + T_0 \quad (3)$$

Pegar spennan yfir ljósaperuna eykst, hitnar glóþraðurinn í ljósaperunni vegna aukins straumflæðis. Hitinn veldur því að glóþraðurinn gefur frá sér varma með geislun. Upphaflega sést dauflegt rauðt ljós en eftir því sem hitinn hækkar verður geislunin sýnilegari og hvítari að lit. Glóþraðurinn er úr wolfram sem hefur hátt bræslumark og góða rafleiðni og þolir því háan hita. Til að koma í veg fyrir að hann oxist er ljósaperan fyllt með eðalgasi sem hvarfast ekki við wolfram og lengir líftíma glóþraðarins.

Geislunarafl hlutar við hitastig  $T$  má lýsa með lögmáli Stefan-Boltzmann

$$P = \sigma \varepsilon S T^4 \quad (4)$$

hér er  $P$  heildaraflid sem geislast frá yfirborði hlutar,  $\sigma$  er Stefan-Boltzmann fastinn,  $\varepsilon$  er eðlisgeislun efnisins,  $0 < \varepsilon < 1$ ,  $S$  er yfirborðsflatarmál hlutarins og  $T$  er hitastig í kelvin.

Ef efni væri fullkominn svarthlutur þá væri  $\varepsilon = 1$  en fyrir raunveruleg efni eins og wolfram gildir að  $\varepsilon < 1$ . Petta samband gerir okkur kleift að áætla eðlisgeislun efnisins út frá mældu affli og hitastigi.

Lögmálið lýsir því að geislunarafl eykst með fjórða veldi hitastigs og er í beinu hlutfalli við yfirborðsflatarmál og eðlisgeislun hlutarins. Petta samband nýtist til að meta eðlisgeislun efnis út frá mældu geislunarafl og áætluðu hitastigi.

## NIÐURSTÖÐUR OG UMFJÖLLUN

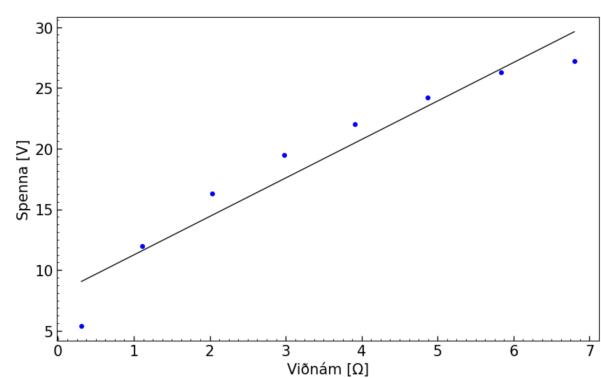


Figure 1. Viðnám ljósaperunnar sem fall af spennu. Viðnámið eykst hratt í upphafi en hægir á aukningunni með hækkandi spennu.

Mynd 1 sýnir að viðnámið eykst með spennu en ekki línulega, heldur hægir á aukningunni eftir því sem spennan eykst. Þetta er vísbending um að viðnámið sé hitaháð og að lögmál Ohm's gildi ekki í þessu tilviki. Þá hegðar ljósaperan sér eins og leiðari sem er ekki ohmískur. Við lága spennu var ljósið dauflegt en við hærri spennu kviknaði á ljósaperunni og birtustigið jókst greinilega sem styður það að glóþráðurinn hitni með aukinni spennu og straumflæði.

Við notuðum upphafsviðnámið og gefið eðlisviðnám wolframs,  $\rho = 5.6 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ , til að meta lengd vírsins samkvæmt jöfnu 5. Þvermál vírsins var  $D = 30 \mu\text{m}$  sem gefur að  $l = 0.0389 \text{ m}$  og  $S = 3.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ .

Með því að nota hitastuðul wolframs og viðnámsgildi við mismunandi spennur var hitastig vírsins áætlað með jöfnu 3. Með þeim gildum og reiknuðu yfirborðsflatarmáli  $S$  var hægt að beita lögmáli Stefan–Boltzmann og reikna út að  $P$  sem fall af  $T^4$ .

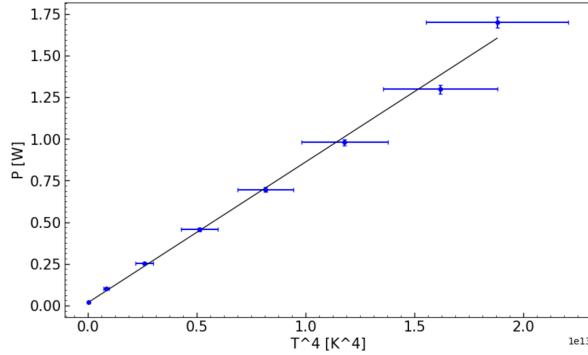


Figure 2. Geislunarafli,  $P$ , sem fall af  $T^4$ . Línulegt samband samkvæmt Stefan–Boltzmann. Hallatala línumnar samsvarar  $\sigma \epsilon S$  og gefur kost á að ákvárdar  $\epsilon$ .

Á mynd 2 má sjá að að eykst línulega með  $T^4$  sem er í samræmi við fræðilega spá Stefan–Boltzmann lögmálsins. Hallatala línumnar var  $(8.4 \pm 1.6) \times 10^{-14} \text{ W/K}^4$ . Þar sem  $\sigma$  og  $S$  eru þekkt, fengum við að

$$\epsilon = 0.43 \pm 0.09$$

Þetta gildi fellur innan fræðilegra marka þar sem  $\epsilon$  á að vera á bilinu  $0 < \epsilon < 1$  og er því niðurstaðan í samræmi við væntingar um eiginleika glóþráðar í ljósaperu.

## LOKAORD

Markmiðið með þessari rannsókn var að kanna hvernig viðnám glóþráðar í ljósaperu breytist með spennu og hvort geislunarafli hans fylgi lögmáli Stefan–Boltzmann.

Mælingarnar sýndu að viðnám glóþráðarins jókst með hærri spennu sem bendir til þess að hann hitni við aukið straumflæði. Pessi hegðun stangast á við klassískra framsetningu Ohm's lögmálsins sem gerir ráð fyrir föstu

viðnámi en er í samræmi við þekkta eiginleika málma þar sem viðnám eykst með hitastigi.

Með því að rita að fall af  $T^4$  og beita lögmáli Stefan–Boltzmann var eðlisgeislun vírsins metin sem  $\epsilon = 0.43 \pm 0.09$ . Þetta gildi fellur innan væntanlegra marka og styður við þá niðurstöðu að lögmál Stefan–Boltzmann lýsi vel geislunareiginleikum glóþráðar úr wolfram.

## FRAMKVÆMD

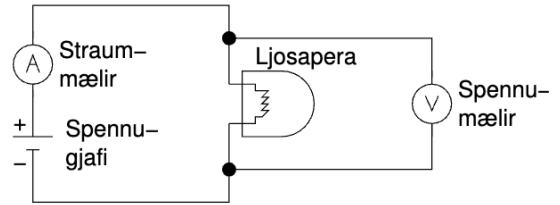


Figure 3. Mynd úr [1]. Skematísk mynd af rafrásinni. Ljósapera tengd við spennugjafa með spennu- og straummmæli til að mæla spennu og straum.

Mynd 3 sýnir skematísku uppstillingu tilraunarnar. Ljósapera var tengd við spennugjafa og við hana voru tengdir spennu- og straummmælir í röð. Upphafsviðnám ljósaperunnar,  $R_0$ , var ákvárdæð með því að leggja lágsíðu,  $V = 0.01V$ , á rásina og mæla samsvarandi straum með straummmæli. Mældist straumurinn  $I = (0.520 \pm 0.005) \text{ mA}$  og spennan  $V = (1.60 \pm 0.02) \text{ mV}$  sem gefur að  $R_0 = (3.08 \pm 0.07) \Omega$  samkvæmt lögmáli Ohm's (jafna 1).

Spennugildum var breytt frá 1 V upp í 8 V og við hvert gildi var lesið af spennu- og straummmæli. Mæligildin voru notuð til að reikna viðnám ljósaperunar við hvert gildi með lögmáli Ohm's og þar af leiðandi hitastig vírsins samkvæmt jöfnu 3.

Til að ákvárða eðlisgeislun efnisins í ljósaperuvírnunum var stuðst við lögmál Stefan–Boltzmann, jafna 4. Þvermál ljósaperuvírsins var gefið sem  $D = 30 \mu\text{m}$  en lengd hans var óþekkt. Eðlisviðnám wolfram var gefið með  $\rho = 5.6 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ . Með upphafsviðnáminu,  $R_0 = (3.08 \pm 0.07) \Omega$ , var því hægt að reikna út lengd vírsins með

$$l = \frac{R_0 A}{\rho} \quad (5)$$

þar sem  $A$  er þverskurðarflatarmál vírsins. Þá reiknast yfirborðsflatarmál vírsins sem

$$S = \frac{R_0 \pi D^2}{4\rho} \quad (6)$$

Út frá mældum straum og spennu var reiknað að sem dælt var til ljósaperunnar. Með því að beyta jöfnu 3 var

hitastig vírsins metin út frá breyttu viðnámi. Teiknað var graf sem sýnir geislunarafl  $P$  sem fall af  $T^4$  og hallatala línumnar var ákvörðuð. Með reiknuðu yfirborðsflatarmáli og jöfnu 4 var eðlisgeislun  $\varepsilon$  wolframs fundin.

## HEIMILDIR

- [1] Háskóli Íslands, Raunvísindadeild, *Verkleg eðlisfræði: Lögmál Ohm og geislunarafl ljósaperu*, Háskóli Íslands (2025).