

F0047T

Laboration: Frank-Hertz

Daniel Brolin, danbro-3@student.ltu.se
Kenny Eriksson, keneri-3@student.ltu.se

11 januari 2019

Sammanfattning

Frank-Hertz experiment var 1914 det första elektriska mätningarna att tydligt visa kvantnaturen av atomer och ge inblick i deras kvantenerginivåer. Frank-Hertz experimentet vi utför accelererar elektroner genom ett moln av upphettad kvicksilvergass och mäter strömmen för olika spänningar och observerar det emitterade ljuset från röret.

I mätningar kommer vi fram till en kvantspänningsskillnad på $\Delta U_A = 4.0$ eV mellan miniman, se tabell 1; vilket beräknas till en våglängd på 302 nm, se ekv. (4.1). Detta bör resultera i ett ljus, ej synligt med bara ögon, nästan ultraviolett ljus. I själva verket lös röret med ett ljus närmare turkos, vilket bör ligga någonstans i det blå spektrat mellan 450 – 495 nm vilket bör ge en spänning på ≈ 2.76 eV.

Enligt fler källor, däribland en rapport från Manchester University[4] rapporterar kvantnivåer på 4.9 V, vilket bör resultera i en rimligare och mer passande våglängd för det observerade skenet. 302 nm är väldigt nära den andra förväntade våglängden på 297 nm[6].

Trots avvikelserna från de "korrekta" värdena har syftet med utförandet varit tydligt och förståelsen är densamma. Möjliga fel diskuteras i avsnitt 4.

1 Introduktion

Syfte

Frank-Hertz experiment är ett av de första experimenten uppbyggda med avsikten att studera kvantisering av energin i valenselektroner, utfört av James Frank och Gustav Hertz 1914. Experimentet utförs här i avsikt att fördjupa förståelse för kvantisering av energi, och var den resulterande kvantmekaniken avviker från klassisk mekanik.

Teori

Grundstommen som experimentet baseras på är vakumrörteknologi; en apparat som i modern tid näst intill ersatts av transistorer i de flesta användningsområdena på grund av dess inkompatibilitet med modern höghastighetselektronik.

Det klassiska vakumröret består av katoden, ett upphettat filament som avger sig elektroner till sin omgivning; anoden, en fysiskt separat ledare mot vilken de frigjorda elektronerna attraheras med hjälp av en pålagd spänning; samt gallret, ett nät placerat mellan anoden och katoden och vars spänning kontrolleras relativt de andra två för att modulera strömmen som färdas emellan.

Principen som experimentet baseras på är att vakumröret i detta fall innehåller kvicksilver som kommer förångas vid upphettningen av kammaren röret placerats i. När kammaren och katoden är upphettade kommer en spänning läggas mellan katoden och anoden vilket kommer driva elektroner däremellan som ger upphov till en mätbar ström. Med hjälp av en transresistiv¹ förstärkare och ett oscilloskop så kan strömmen grafas mot den pålagda spänningen.

Under experimentet kommer även gallret att backspännas. Detta kommer motverka elektronerna som propagerar mot anoden genom att introducera ett potentialsteg som kan styras. Detta tillåter en arbiträr barriär för att kunna attenuera elektronflödet utöver drivspänningen och elektronernas interaktion med kvicksilvret.

Experimentets utförande är tydligt detaljerat stegvis i handledningen[2] och upprepas därför inte här.

¹Omvandlar en strömsignal till en spänningsignal

2 Metod

Alla tester kördes utan förstärkning och värden är sparade med 5 V/div. För att enkelt kunna läsa av maximan och miniman för accelerationsenergin, U_A , för att i sin tur kunna beräkna excitationenergin, måste korrekt backspänning och en bra temperatur i ugnen uppnås. Med Ekvation (2.6) kan man hitta våglängd från elektronvolt, denna är sammansatt från ekvationer ekv. (2.1) till (2.4)[5, sec. 7.2]. Detta kan användas för att identifiera excitationsspektrat, kvicksilvers unika fingeravtryck.

$$E^2 = p^2 * c^2 + E_0^2 \quad (2.1)$$

där E är energin för en relativistisk partikel och E_0 i detta fall är viloenenergin för en foton. Denna kombineras med

$$E_0 = m_0 * c^2 \quad (2.2)$$

där $m_0 = 0$ är massan för en foton. Detta ger $E_0 = 0$ och följande ekvation

$$E^2 = p^2 * c^2 \Leftrightarrow E = pc \Leftrightarrow p = E/c \quad (2.3)$$

Efter detta används de Broglies ekvation för dess relation mellan rörelsemängden p och våglängden λ .

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (2.4)$$

där h är planck's konstant i elektronvolt.

$$\begin{cases} h &= 4.1356672 * 10^{-15} \text{ [eV-s]} \\ c &= 299792458 \text{ [m-s]} \\ E &= \Delta V \text{ [eV] över uppmätta maxima} \end{cases} \quad (2.5)$$

ger ekvationen

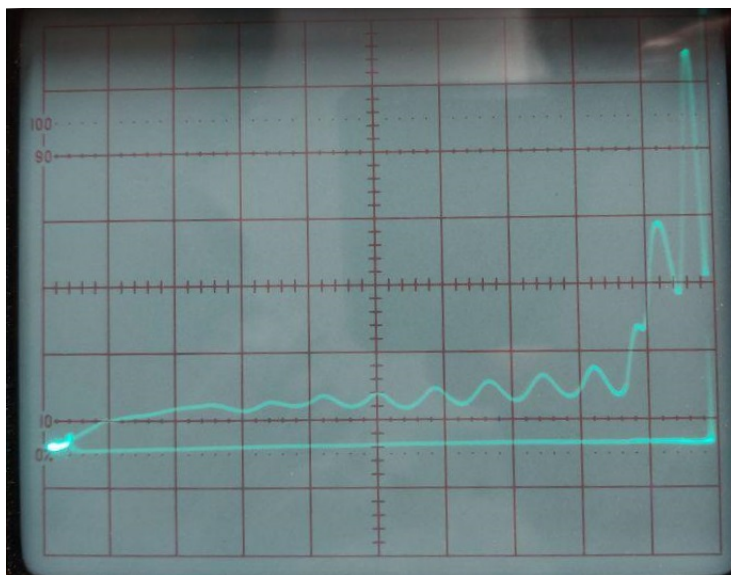
$$\lambda = \frac{hc}{E} = \{\text{värden från ekv. (2.5)}\} = 302 \text{ nm} \quad (2.6)$$

Temperaturen ska sättas till 180° C, detta för att säkerhetsställa rätt tryck i tuben. För låg temperatur leder till att det kan bli för få kvicksilveratomer för att märka topparna, och för högt tryck leder till att medelavståndet mellan kollisioner sjunker och slumpmässig rörelse höjs[3].

Backspänningen agerar som en potentialstegsbarriär, när denna är för hög "absorberas" alla låga accelerationsspänningar bort och "subtraheras" från de passerande elektronernas energi. Är denna för låg syns nästan bara brus. En bra nivå på backspänningen sattes till cirka 9 V.

3 Resultat

Med ett svep på 50 V accelerationsspänning, U_A , gavs följande vy, Figur 1 och värdena i Tabell 1.



Figur 1: x-led: accelerationsspänning, U_A , [5 V/Major div.]
y-led: ström, I_A , [arbiträr enhet]

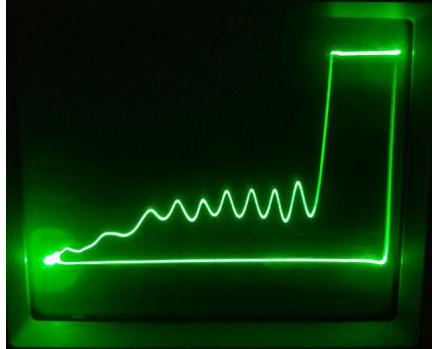
Maxima [div.]	Maxima [V]	Minima [div.]	Minima [V]
3.4	17	3.0	15
4.2	21	3.8	19
5.0	25	4.6	23
5.8	29	5.4	27
6.6	33	6.2	31
7.4	37	7.0	35
8.2	41	7.8	39
8.8	44	8.4	42
9.0	45	—	—

Tabell 1: Maxima och minima i [divisioner] (för jämförelse mot graf) och [V] för analys. Data utläst från graf fig. 1

Från Figur 1 kan det ses hur strömmen ökar exponentiellt med högre accelerationsspänning med periodiska dipp som motsvarar excitationenergierna för kvicksilver, 4 eV, enligt periodiciteten som ses i tabell 1. Den exponentiella ökningen ses tydligt i början av Figur 2c där vi mätte maximan och miniman

för systemet.

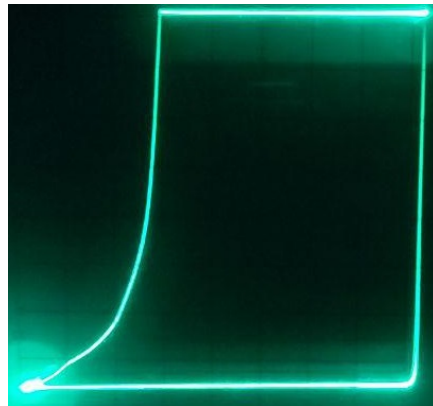
Från jämförelse mellan bilderna fig. 2a och 2b kan vi se att en skillnad i spänningen över filamentet "förskjuter" området vi ser maximan och miniman. I fig. 2b, där U_b har ökat, syns de periodiska fallen i strömmen bara mot slutet av skalan, där accelerationsspänningen är stor nog för att driva elektronerna förbi potentialbarriären.



(a) Utströmmen mot accelerationsspänningen då en låg backspänning lagts på. Dalarna motsvarar de kinetiska energier varvid elektronerna stoppas av och exciterar kvicksilveratomerna.



(b) Efter backspänningen ökat krävs det mer accelerationsspänning för att nå anoden och registrera som ström.



(c) När temperaturen, backspänningen och spänningen över filamentet var perfekt visades tydligt det exponentiella förhållandet mellan accelerationsspänning och ström, och Franck-Hertz röret började agera som ett lysrör, se fig. 3c.

Figur 2: Bilder fångade på oscilloskopet med släckt lampa för tydligare bild

4 Diskussion

Om systemet ses från ett klassiskt mekaniskt perspektiv så består det av en elektron, en partikel, som får en initiell rörelseenergi från accelerationsspänningen, som måste färdas genom ett kontinuerligt retarderande fält i form av kvicksilvergasen och sedan passera potentialsteget som kommer från backspänningen innan den kan bidra till den uppmätta strömmen.

För en given filamentspänning, kammartemperatur och backspänning kommer partikelflödet öka proportionerligt mot accelerationsspänningen, så den mätta strömmen borde ses som en ramp på oscilloskopet. På grund av backspänningen borde det ses en gräns längs accelerationsspänningsaxeln under vilken ingen ström syns då partiklarna inte har nog energi för att passera barriären. Om filamentspänningen ökas frigörs ett större antal elektroner som kan svepas av accelerationsspänningen, så rampen börjar på samma ställe men blir brantare. Om nu kammartemperaturen ändras så ändras mängden förångat kvicksilver; högre temperatur ger mer kvicksilver som kan absorbera energi från elektronerna. Därför borde temperaturkontrollen ge liknande resultat som backspänningen; senare start på rampen då mer kvicksilver ger större total absorption efter elektronens färd genom molnet.

Enligt tabellen tabell 1 har vi miniman i spänningar 15, 19, 23, 27, 31, 35, 39, 42 V. Då effekten av backspänningen börjar kicka in på slutet observerar vi bara de första 6 spänningarna. Det kan antas att med rätt justeringar på backspänningen bör detta mönster upprepas både ner till det första kvantstadiet och säkert även för högre spänningar, smartast hade nog varit att zooma in på det tidiga området på plats, men det blev inte av. Ett tydligt mönster på cirka $\Delta 4$ V/peak kan urskiljas. Denna energi bör stämma överrens med en våglängd av ljus emitterad av kvicksilver. Användandes ekv. (2.6) i avsnitt 2 ges en våglängd på cirka $302 * 10^{-9}$ m, eller 302 nm, se ekv. (4.1). Stoppas $E = 4.9$ eV in i ekvationen, vilket bör vara den korrekta spänningsskillnaden, fås med ekvationen ekv. (2.6) den förväntade våglängden 253 nm[6].

$$\lambda = \sqrt{\frac{hc}{E}} = 302 * 10^{-9} \text{ m} \quad (4.1)$$

302 nm är ett ljus gränsfall till ultraviolett, och bör därför inte gå att se med bara ögon. Då skenet i tuben, fig. 3, har ett tydligt turkost sken estimerat till någonstans i det blå spektrat mellan 450 – 495 nm vilket bör överensstämja med en spänningsskillnad på $\approx 2.7 - 3.1$ eV enligt ekv. (2.6), är vi inte riktigt säkra på vad som hänt.

Möjliga felkällor är, i ordning av sannolikhet.

- Fel antagande i härledning av ekvationen ekv. (2.6), någonting relevant kan ha missats.
- Fel estimering av förstärkningssteget. Då förstärkning ansågs vara irrelevant sattes denna i botten vilket antogs vara förstärkning Gain = 1.
- Fel avläsning från oscilloskop.

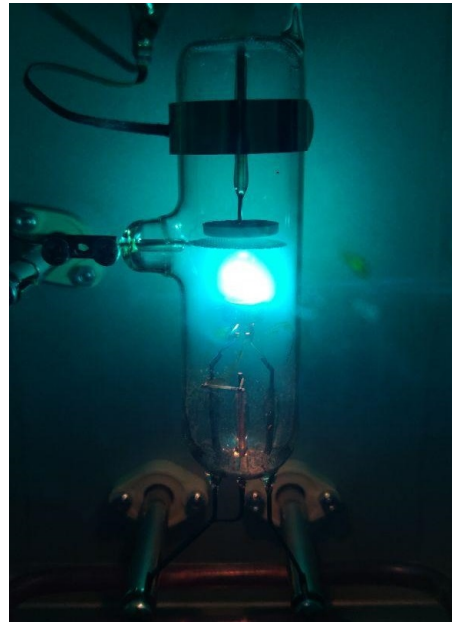
- Dålig kombination av test-setup-parametrar
- Materiell avvikande från specifikation

Referenser

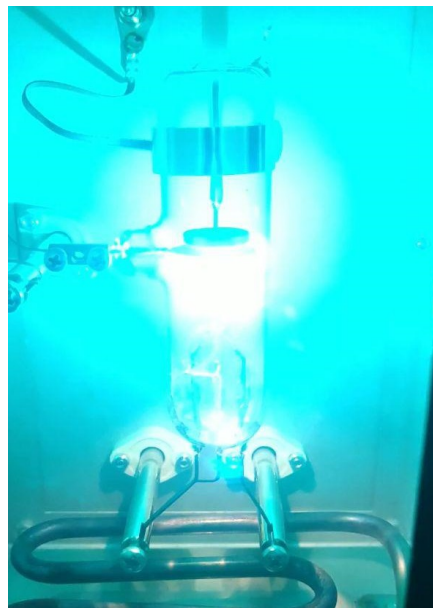
- [1] <http://www.astronoo.com/en/articles/spectroscopy.html>
- [2] Labhandledning, labpm2018, "Laboratory and numerical experiments in Quantum Physics F0047T".
- [3] "The Franck-Hertz Experiment: Excitation of Mercury Atoms", *University of Rochester*, http://teacher.nsrl.rochester.edu/phy_labs/Franck_and_Hertz/Franck_Hertz.html
- [4] *Kristin M. Beck, Jacob Mainzer*, "The Franck-Hertz Experiment", *University of Rochester*, https://www.pas.rochester.edu/~advlab/reports/beck_mainzer_franckhertz.pdf , accessed: 11 januari 2019
- [5] *Nordling, Österman*, "Physics handbook", ed.8.8, ISBN:978-91-44-04453-8.
- [6] *Franck J; Hertz G; Hermann A*, "Die Elektronenstossversuche", *Munchen, E. Battenberg*, ©1967, <https://www.worldcat.org/title/elektronenstossversuche/oclc/9956175>



(a) motsvarar grafen i fig. 2a



(b) Motsvarar grafen i fig. 2b



(c) Motsvarar grafen i fig. 2c

Figur 3: Bilder fångade på Franck-Hertz röret med släckt lampa för tydligare bild, dessa motsvarar respektive grafer fångade i fig. 3