

# Fotoelektrisk effekt.

## Förberedelser

Läs i "Kvantvärldens fenomen" om *fotoelektrisk effekt* (sid 5 - 9).

Läs genom hela laborationsinstruktionen.

## Gör följande uppgifter:

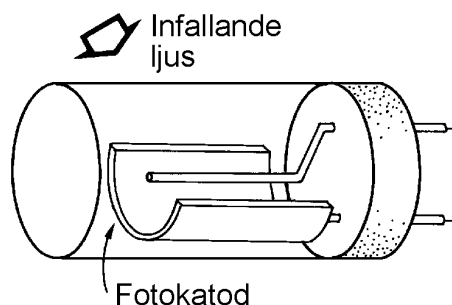
Varje laborant ska vid laborationens början lämna renskrivna lösningar till handledaren för kontroll.

1. Ett fysikaliskt samband mellan  $x$  och  $y$  beskrivs matematiskt av

$$y = a + \frac{b}{x}$$

där  $a$  och  $b$  är konstanter. Vad skall man ha på diagramaxlarna om punkterna ska hamna på en rät linje? Vad blir linjens riktningskoefficient?

2. En vakuumfotocell av den typ som visas nedan i figur 1 har ett utträdesarbete på 1,50 eV.



**Figur 1** En vakuumfotocell med en stor ljuskänslig elektrod.

- a) Vilken kinetisk energi får fotoelektronerna när fotocellen belyses med ljus med våglängden 365 nm? Svara i enheten 1 eV.  
b) Vilken bromsspänning gör att strömmen i fotocellen precis blir noll när cellen belyses med våglängden 365 nm?  
c) Vilken är den längsta våglängd (gränsvåglängden) som ger upphov till fotoelektrisk effekt hos cellen.

**Svar:** a. 1,90 eV b. 1,90 V c. 827 nm.

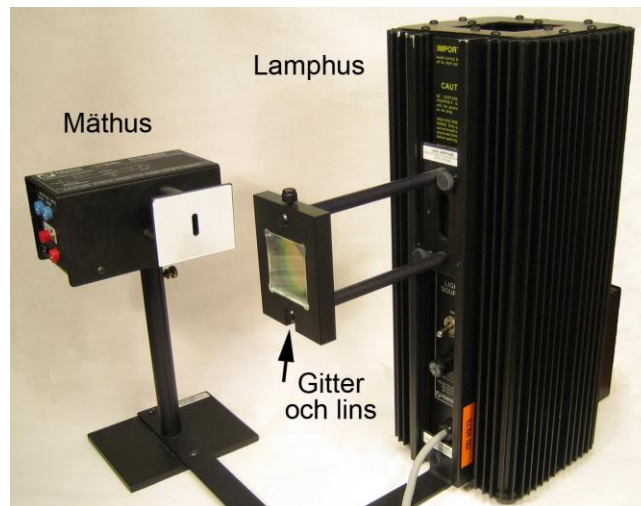
3. Ett fysikaliskt samband mellan  $x$  och  $y$  beskrivs matematiskt av

$$y = be^{-ax}$$

där  $a$  och  $b$  är konstanter. Vad skall man ha på diagramaxlarna om punkterna ska hamna på en rät linje? Vad blir linjens riktningskoefficient?

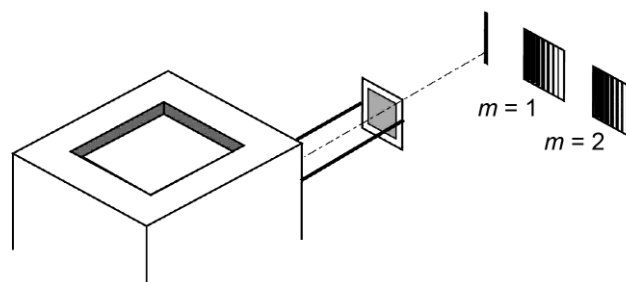
## Utförande

Försökupställningen visas i figur 2. De viktigaste delarna är en kvicksilverlampa och en vakuumbfocell. Kvicksilverlampan avger fem smala våglängdsområden som ska användas vid mätningen. Våglängdsområdena är antingen enstaka spektrallinjer eller grupper av tätt liggande linjer. Kvicksilverlampan har vanligt glas i höljat och därför avges inte kortvågig uv-strålning i någon större utsträckning. Den starka linjen med våglängden 254 nm absorberas t ex mycket effektivt.



**Figur 2.** Experimentupställningen består av ett mätus (till vänster) och en spektrallampa med gitter.

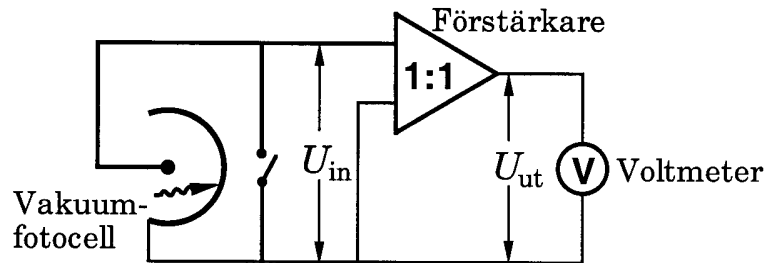
För att kunna belysa fotocellen med monokromatiskt ljus placeras ett transmissionsgitter framför kvicksilverlampan. Se figur 3. Gittret är av sk blazetyp och vilket innebär att första och andra ordningens spektra har olika intensitet på de båda sidorna om mittpunktsnormalen (nollte ordningen). För att få bra belysning på fotocellen sitter det en positiv lins bakom gittret.



**Figur 3.** När gitter-lins-kombinationen placeras framför lamphuset kan man med hjälp av ett vitt papper se de olika gitterordningarna.

Focellen är monterad i ett hus tillsammans med några elektriska komponenter. Se Figur 4. Funktionen kan beskrivas på följande sätt. När fotokatoden belyses slås elektroner loss. En del elektroner träffar anoden som via en mycket höghög förstärkare ( $\approx 10^{12} \Omega$ ) är ansluten till en voltmeter. Efter-

som strömmen genom förstärkaren är försumbart liten laddas anoden upp tills fotoelektronerna börjar repelleras. Den backspänning som precis gör att strömmen blir noll genom fotocellen ställs alltså in automatiskt. Hos förstärkaren är  $U_{in} = U_{ut}$  och därför mäter voltmeter elektronernas bromsspänning.



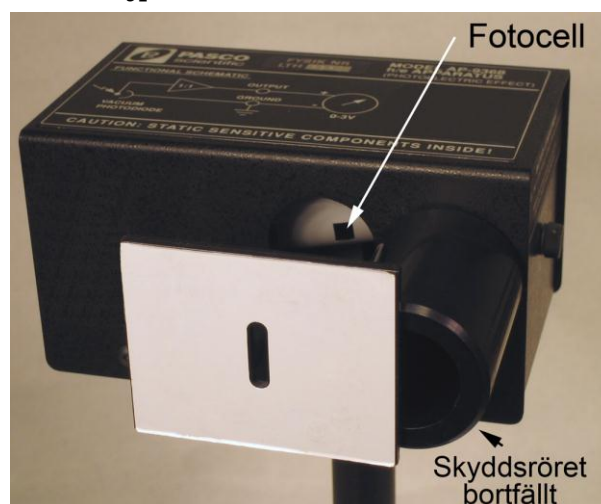
**Figur 4.** I mäthuset finns förutom vakuumfotocellen en förstärkare, en nollställningsknapp och en utgång till en voltmeter.

## Uppgift 1

Slå på strömmen till förstärkaren och voltmeter. Tänd kvicksilverlampan och leta upp de fem starkaste våglängderna i första ordningen.

Fokusera en våglängd mitt på spalten i den vita plattan framför mäthuset. Spänn därefter fast gittret och linsen i skenan. Fäll undan det svarta röret framför vakuumfotocellen och justera mäthuset (lossa skruven under mäthuset) så att denna våglängd faller symmetriskt på öppningarna i den vita skyddstejp som omger fotocellen. Se figur 5. Spänn därefter fast mäthuset.

**Figur 5.** När det svarta skyddsröret fälls undan kan man se fotocellen. Den är omgiven av vit tejp som skall underlätta inställningarna.



Fokusera en våglängd mitt på spalten i den vita plattan framför mäthuset. Spänn därefter fast gittret och linsen i skenan. Fäll undan det svarta röret

framför vakuumfotocellen och justera mäthuset (lossa skruven under mäthuset) så att denna våglängd faller symmetriskt på öppningarna i den vita skyddstejp som omger fotocellen. Se figur 5. Spänn därefter fast mäthuset.

## Uppgift 2

Ställ in fotocellshuset så att en våglängd hamnar på cellens fönster. Fäll tillbaka det svarta röret och urladda anoden med tryckknappen på huset. Efter ett kort ögonblick stabiliseras voltmeterutslaget.

## Uppgift 3

Mät bromsspänningen för de fem våglängderna (365 nm, 405 nm, 436 nm, 546 nm och 578 nm). När de gula och gröna våglängderna används placeras ett gult respektive ett grönt filter i strålgången. Filtren ska ta bort kortvågigt ljus från högre gitterordningar. Filtren fäster magnetiskt på den vita plattan framför mäthuset.

## Uppgift 4

Pricka mätvärdena i ett diagram där punkterna förväntas ligga på en rät linje. Beräkna Plancks konstant med hjälp av linjens lutning. Upprepa mätningen på en av de andra uppställningarna och beräkna medelvärdet av Plancks konstant.

## Uppgift 5

Bestäm utträdesarbetet hos de båda fotocellerna uttryckt i enheten 1 eV. Vilken är gränsvåglängden för fotoelektrisk effekt hos de båda fotocellerna?

# Vätespektrum

## Förberedelser

Läs i "Kvantvärldens fenomen" om fotoner och fotonutsändning (sid 7, 78 och 168).

Läs genom hela laborationsinstruktionen.

## Bakgrund

De system vi betraktat kan tillverkas med metoder från nanotekniken. Av speciellt intresse är tre-dimensionella kvantbiljarder - läs sid 85 – 89. I denna laboration ska du studera ett exempel på bundna elektrontillstånd, nämligen väteatomen. Genom Coulombpotentialen (se uppgift 5 sid 43) befinner sig Vi har i kursen studerat bundna tillstånd för en partikel som befinner sig i en potentialgrop. elektronen i en tredimensionell potentialgrop. Det är ganska besvärligt att lösa Schrödingerekvationen för detta system – man behöver speciella funktioner och god kunskap i sfäriska koordinater för att kunna hantera denna problemställning matematiskt. Den vetgirige kan försöka läsa kapitel 7 – 8 i läroboken men detta rekommenderas inte!

Som för kvantbiljarder behövs det tre kvanttal (förutom spinn) för att beskriva elektronens vågfunktion i väteatomen. På grund av flera olika symmetrier har tillstånden stor degenerationsgrad, vilket innebär att man kan ange energierna med endast ett kvanttal, det s k huvudkvanttalet  $n$ . Detta kvanttal kan enbart anta positiva heltalsvärden. De kvantiserade energierna kan uttryckas med följande formel:

$$E_n = -\frac{me^4}{2(4\pi\epsilon_0\hbar)^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -13.6 \cdot \frac{1}{n^2} \text{ eV},$$

$m$  = elektronmassan,  $e$  = elementarladdningen,  $\epsilon_0$  = dielektricitetskonstanten.

En bild på detta spektrum finns på sid 168 i läroboken. Som vi ser har talföljden  $E_n$  en hopningspunkt i 0 då  $n \rightarrow \infty$ , vilket innebär att det finns oändligt många bundna tillstånd i detta system.

## Fotonenergier

Vid övergång mellan två nivåer med energierna  $E_i$  respektive  $E_f$  utsänds en foton med energin  $E_{\text{foton}} = E_i - E_f$ . Kombinerar detta med formeln ovan för energierna får man:

$$E_{\text{foton}} = 13.6 \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right).$$

För fotonen gäller att  $E = \frac{2\pi\hbar c}{\lambda}$  vilket ger  $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$ , där  $R$  är Rydbergs-konstanten.

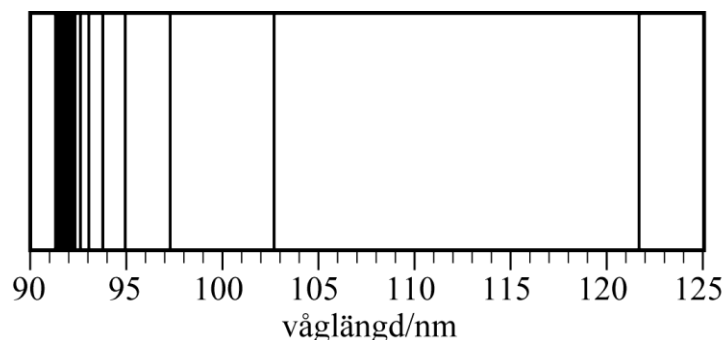
Denna konstant har mätts med mycket hög noggrannhet (även en teoretisk beräkning ger samma noggrannhet). Värdet är  $R = 1.096775833 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ .

Lundafysikern Janne Rydberg hade funnit denna formel empiriskt genom att undersöka vätespektrum. När du har föreläsning i B-salen kan du beskåda hans porträtt bredvid skrivtavlor. Om man sätter  $n_f = 1$  får man våglängderna för de övergångar som slutar i grundtillståndet. Denna serie av våglängder kalla för Lymanserien.

## Gör följande uppgifter

Varje laborant ska vid laborationens början lämna renskrivna lösningar till handledaren för kontroll.

**1.** Med en sk spektralserie menas en grupp av linjer som konvergerar mot en gränsvåglängd. I figur 1 visas en spektrografupptagning av den sk Lymanserien i väte. Lymanserien innebär övergångar till grundtillståndet i väte.



**Figur 1** Våglängder för Lymanserien i väte.

- Beräkna de två längsta våglängderna i Lymanserien med 6 siffrors noggrannhet.
- Vilken våglängd konvergerar Lymanserien mot? Ge svaret med 6 siffrors noggrannhet.
- I en spektrograf ger ljuskällans våglängder upphov till linjer, vilket underlättar mätningen. Vad är det hos spektrografen som gör att det blir just linjer?

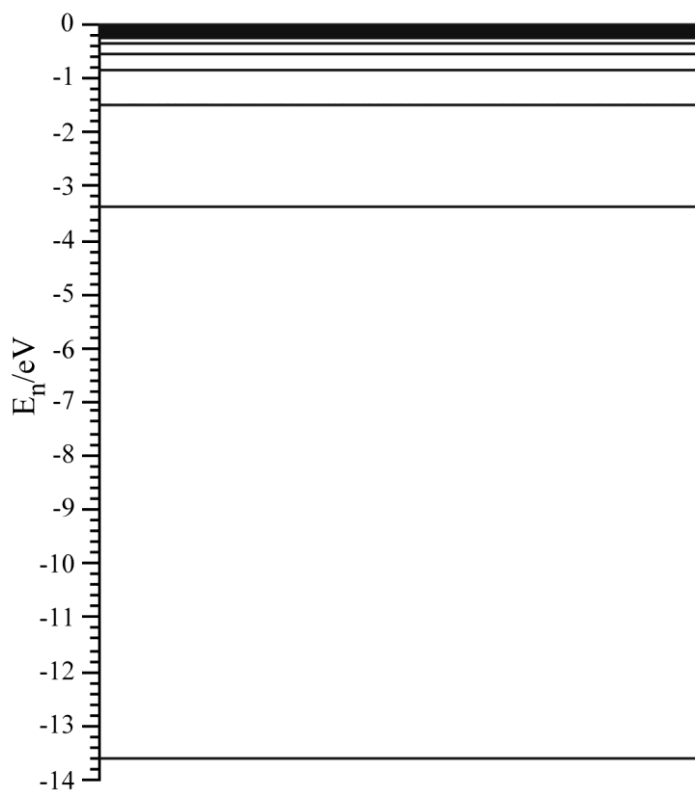
**2.** Med hjälp av våglängderna i Lymanserien kan man rita upp ett energinivådiagram för väte. Se figur 2.

- Vad innebär energin 0 eV i figuren? Vilket huvudkvanttal  $n$  motsvarar

det?

**b)** Med hjälp av enbart de två våglängderna från uppgift 1a kan en ny väte-våglängd beräknas. Gör det och ange hur  $n$ -kvanttalen ändras vid den övergång som ger upphov till den beräknade våglängden.

Ledning: Rita in övergångarna i figuren nedan så ser du lättare lösningen.



**Figur 2** Energinivådiagram för väte.

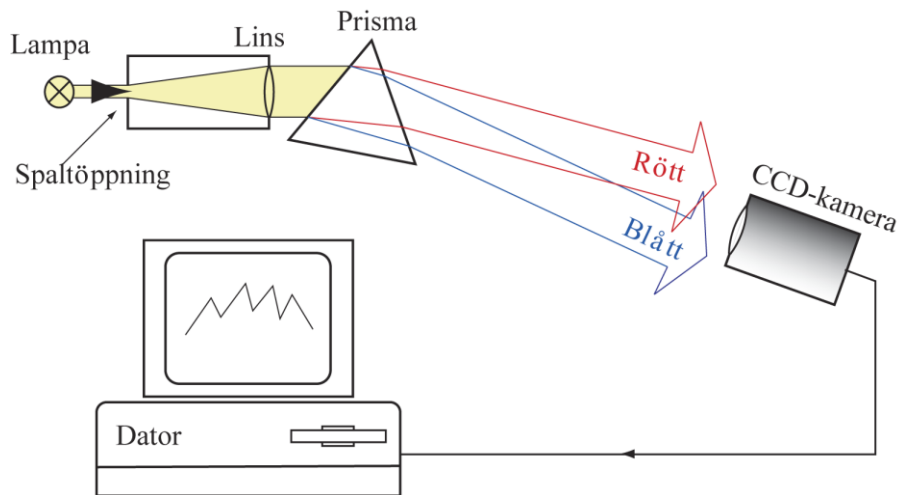
## Utförande

Under laborationen skall du registrera några spektrallinjer i Balmerserien i väte. Balmerserien karakteriseras av att  $n_f = 2$ . I motsats till Lymanserien har ljuset i denna serie våglängder i det synliga området. När du bestämt deras våglängder ska du beräkna ett medelvärde av Rydbergs konstant i väte. Du skall också titta på spektra från några olika ljuskällor (glödlampa, lysrör och lysdioder).

## Experimentuppställning

I figur 3 (på nästa sida) visas en schematisk bild på laborationsutrustningen. Ljuset från lampan passerar en spalt, en lins och ett prisma. Efter prismet kommer ljus med olika våglängder ut i olika riktningar. Eftersom ljuset går genom en spalt ger olika våglängder upphov till linjer. Det kan du kontrollera genom att själv titta direkt in i prismet. Vid själva mätningen ska vi använda

en digitalkamera med en bildsensor av CCD-typ. CCD är en förkortning av engelskans "charge coupled device" och syftar på funktionen hos den ljuskänsliga delen i kameran. En obehandlad CCD-yta absorberar mellan 40 % och 80 % av de infallande synliga fotonerna, vilket kan jämföras med en fotografisk film där 2 % till 4 % av fotonerna reagerar med de ljuskänsliga silverbromidmolekylerna och bildar korn.



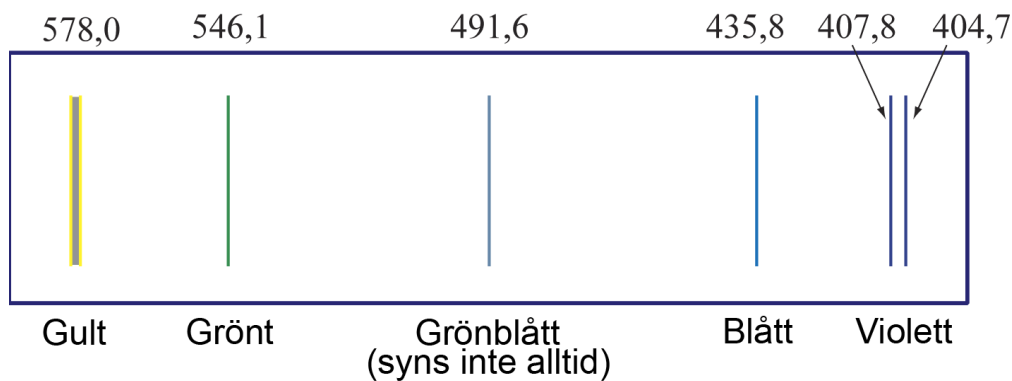
**Figur 3** Ljuset från lampan passerar genom en spalt och avbildas som streck på en bildsensor (CCD-platta) i en kamera. Experimentuppställningen använder ett prisma för att dela upp ljuset från lampan i olika färger.

Vår CCD-kamera har en CCD-platta med 512x582 bildelement (engelskans pixels är en förkortning av picture elements), vardera med storleken  $9 \mu\text{m} \times 6 \mu\text{m}$ . Videosignalen skickas, precis som till en TV, i analog form till datorn, som framställer en digital bild med 8 bitars upplösning (8 bitar innebär  $2^8=256$  gråtonssteg). På datorns monitor visas en färgbild som skall ha formatet 640x480 punkter. Bilden av spektrallinjerna kan via ett datorprogram göras om till ett diagram med intensitet på  $y$ -axeln och punktnummer på  $x$ -axeln. För att kunna mäta våglängder med utrustningen måste  $x$ -axeln kalibreras med hjälp av kända våglängder. Vi använder en kvicksilverlampa för detta ändamål.

## Uppgift 1 Upptagning av kalibreringspektrum

Placera kvicksilverlampan framför spalten och studera spektrallinjerna genom att titta direkt in i prismet. Kviksilverlampan ger ett känt spektrum enligt figur 4. Gå in i bildprogrammet. Handledaren justerar in digitalkameran. Kontrollera att bildstorleken är 640x480 punkter. När du är nöjd med resultatet sparas kvicksilverspektrumet i en fil på datorn (hgcolor.bmp).





**Figur 4** Hg-lampans spektrum. Våglängderna är angivna i enheten 1 nm.

## Uppgift 2 Upptagning av vätespektrum

Utan att rubba uppställningen byts kvicksilverlampan ut mot en vätelampa. Spara vätespektrumet i en annan fil på datorn (h2color.bmp) och avsluta bildprogrammet.

### Analys

Gå in i analysprogrammet via ikonen *Beräkna vätespektrum*. Låt programmet täcka hela bildskärmen. Utför momenten i programmet i den ordning som de är numrerade.

Eftersom våglängdsskalan inte är proportionell mot  $x$ -skalan gör du i programmet en polynom Anpassning. Till sist beräknar programmet våglängderna för vätelinjerna.

Vilka huvudkvanttal hör ihop med vilka vätelinjer?

### Rydbergs konstant

Med hjälp av vätevåglängderna och huvudkvanttalen ska du beräkna ett experimentellt medelvärde på Rydbergskonstanten. Jämför med det teoretiska värdet och ange avvikelser i procent.

### Energivådiagram

Använd de registrerade vätespektrallinjerna för att beräkna energiskillnaderna mellan de inblandade energinivåerna. Rita ett skalentligt energivådiagram för de energinivåer som är inblandade i era mätningar. Utgå från grundnivån i Balmer-serien som har kvanttalet  $n = 2$  och energin  $-3,4$  eV. Ange, vid varje nivå, de energivärden ni beräknar utifrån era mätningar tillsammans med de teoretiskt beräknade värdena.

### Studera olika ljuskällor

Använd ett handspektroskop för att studera några olika ljuskällor enligt handledarens instruktioner. Det rör sig om en glödlampa, ett lysrör, en låg-energilampa, en lysdiod och några spektrallampor. Om det är dagsljus ute kan du titta på det spridda himmelsljuset, men titta aldrig direkt mot solen! Ange för varje spektrum om det är ett linjespektrum eller ett mer eller mindre kontinuerligt spektrum du ser. Ange också vilka färger som ingår och hur ljuskällorna ser ut utan spektroskop.