

ATT BESTÄMMA VÄRDET PÅ PLANCKS KONSTANT MED HJÄLP AV LED:AR

Enligt kvantteorin så absorberar och emitterar atomer elektromagnetisk strålning i form av små, diskreta energipaket som vi kallar fotoner. Energin hos ett sådant paket beror av ljusets frekvens/våglängd enligt:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Plancks konstant (h) styr storleken på dessa energipaket och har ett värde på $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s. Denna laboration använder LED:ar av olika färger för att bestämma ett ungefärligt värde på Plancks konstant.

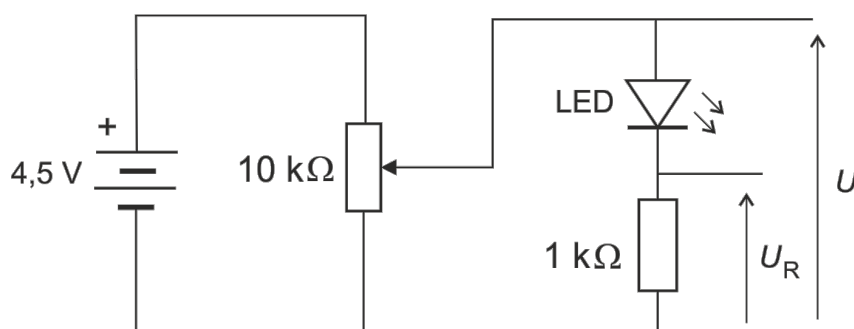
Komponenter och utrustning

Komponenterna som behövs kostar under 10 euro och kan enkelt beställas på nätet. Utöver dessa behövs en voltmeter och en spektrometer (saknas en spektrometer, kan man få fram LED:arnas våglängdsfördelning från komponentens datablad). Voltmeters kan med fördel ersättas med en eller två spänningsprober kopplade till en datalogger (Pasco eller Vernier).

LED (Röd)	Intensitetsmax. $\lambda = 635$ nm	5MMK2-PU*
LED (Gul)	590 nm	5MMK4-KE
LED (Grön)	520 nm (?)	5MMK3-VI
LED (Blå)	470 nm	5MMK3-SI
LED (IR)	950 nm	LD271
Potentiometer (10 k Ω)		6MM-10KLIN
Motstånd (1 k Ω)		2W-1K
Batteri (4,5-5 V)		
Spektrometer (Amadeus/Pasco)	Alternativt datablad för LED:en	
Voltmeter (eller spänningsprob)	Bör kunna mäta mV:s spänningar	
*Vasa elektronikcenters katalognummer. Deras nätbutik hittar du på: http://www.vekoy.com		

Koppling

Kopplingschemat visas nedan. Kopplingen kan med fördel utföras på ett vanligt kopplingsbräde, så att LED:en enkelt kan bytas från en färg till en annan.



Mätningar

En LED börjar leda ström och lysa först när spänningen överstiger ett visst tröskelvärde U_0 (se bilaga för detaljer). Denna tröskelspänning beror av färgen på LED:en ifråga. Genom att ändra potentiometerns läge, kan spänningen över LED:en regleras.

1. Koppla in en voltmeter över motståndet så att den mäter spänningen U_R (se kopplingsschemat).
2. Börja från det läge där spänningen över LED:en är 0 V. Höj sakta spänningen genom att vrida på potentiometern. Så länge ingen ström går genom LED:n så går heller ingen ström genom motståndet, varför spänningen U_R är 0 V. När du märker att spänningen U_R plötsligt stiger (använd voltmeterens känsligaste skala), så stannar du upp och mäter både spänningen U_R och spänningen över både LED och motstånd U . Tröskelspänningen över LED:en blir då $U_0 = U - U_R$. För in värdet i tabellen och upprepa med en annan LED.
3. Vrid nu potentiometern så att LED:en lyser maximalt och mät ljusspektrat från LED:en med hjälp av en spektrometer. Avläs den maximala våglängden (λ_{\max}) från spektrat (se bilaga). Upprepa med alla LED:ar och inför resultatet i tabellen.

LED	U_0 (V)	λ_{\max} (nm)
IR		1050*
Röd		
Gul		
Grön		
Blå		

*Datablad

Resultat

Sambandet mellan tröskelspänningen U_0 och den maximala våglängden hos det ljus som sänds ut av LED:en (λ_{\max}), ges av (se bilaga):

$$eU_0 = hc/\lambda_{\max}$$

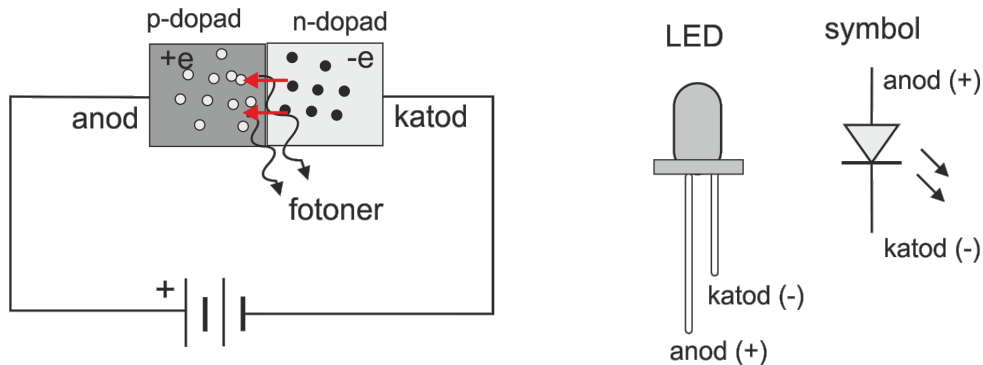
där e är elektronens laddning och c ljusets hastighet. Vi kan skriva detta uttryck som:

$$U_0 = \left(\frac{hc}{e}\right) \frac{1}{\lambda_{\max}}$$

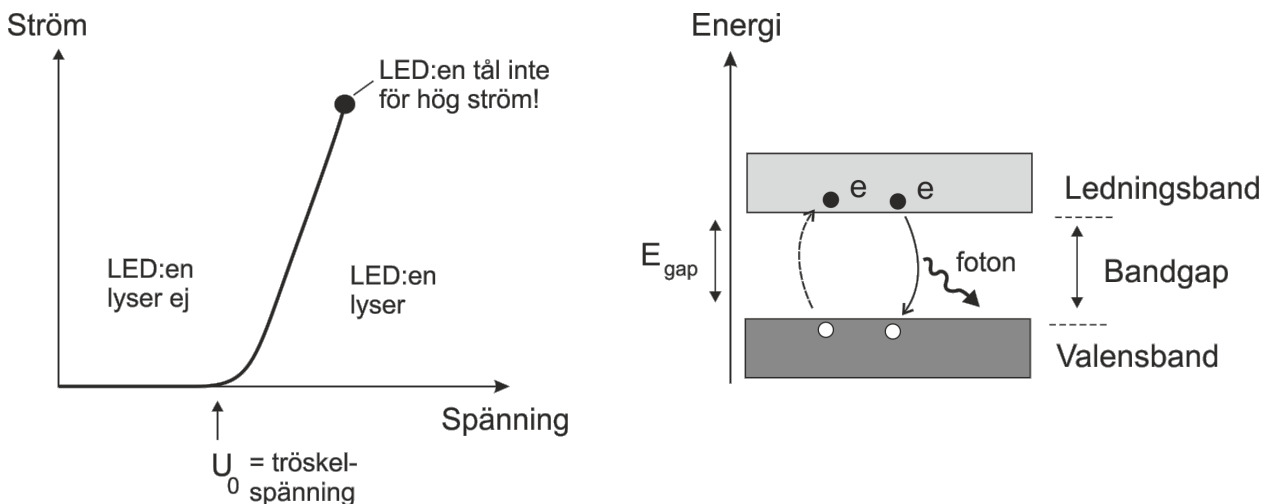
Genom att rita en graf där U_0 avsetts på y-axeln och $1/\lambda_{\max}$ på x-axeln, så kan man anpassa en rät linje till mätpunkterna (t.ex. med Excel). Lutningskoefficienten hos denna räta linje är $k = (hc/e)$ (enhet V·nm). Givet tabellerade värden på konstanterna e och c , kan h beräknas. Värdet som fås på h har en relativt stor osäkerhet (en osäkerhet som relativt enkelt kan beräknas från den linjära regressionen i Excel).

BILAGA: HUR EN LED FUNGERAR

En LED (Light Emitting Diode) är till sin uppbyggnad lik en diod, dvs. den leder ström endast i en riktning. Den består av material som dopats så att man antingen får ett överskott av positiva laddningar (p-dopning), eller så att man får ett överskott av negativa laddningar (n-dopning). Dessa material fogas samman och bildar en sk. np-övergång. Om anoden (se nedan) kopplas till den positiva polen och katoden till den negativa polen av ett batteri, kan man få en ström att flyta genom np-övergången. I övergångsskiktet mellan det n- och p-dopade materialet, re-kombinerar elektronerna med hålen (de positiva laddningarna är egentligen elektroner som saknas) och ljus sänds ut.



För att ström skall börja flyta genom en LED och därmed ljus uppstå, så måste spänningen över LED:en överstiga en viss tröskelspänning (U_0). Orsaken till detta är den energitröskel som finns mellan elektronerna och hålen och som måste övervinnas för att elektronerna skall ta sig över np-övergången (se nedan).

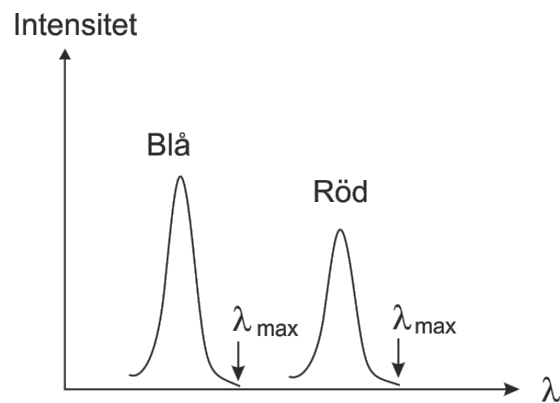


För att illustrera vad som sker i pn-övergången i en LED, använder vi den s.k. bandbilden av fasta ämnen. Ett halvledarmaterial, som är vad en LED är gjord av, har ett fyllt valensband och ett tomt ledningsband. För att ström skall kunna flyta, måste elektronerna i det fulla valensbandet få tillräckligt med energi för att lyftas över det energiförbudna bandgapet och upp i det tomma ledningsbandet (se ovan till höger). Elektronerna lämnar efter sig ett hål som utåt sett beter sig som en positiv laddning. Elektronerna stannar inte i valensbandet, utan kan re-kombinera med ett hål, varpå överskottsenergin utsänds i form av elektromagnetisk strålning (fotoner). Det är dessa fotoner vi ser när vi ser ljuset från en LED.

Bandgapets storlek (E_{gap}) avgör färgen (dvs. våglängden) på det ljus som uppstår när en elektron och ett hål rekombinerar. Olika kombinationer av grundämnena gallium (Ga), aluminium (Al), arsenik (As), fosfor (P) och indium (In), resulterar i olika bandgapsstorlek, och därmed olika färg hos LED:en.

En LED skickar inte ut ljus med endast en våglängd, utan vi får ett helt band av våglängder (se nedan). Den längsta våglängden som sänds ut (λ_{max}) motsvarar energin hos bandgapet, dvs. vi har:

$$E_{gap} = hf = hc/\lambda_{max}$$



Varifrån får elektronerna energin att hoppa över bandgapet? Svaret är från batteriet. En elektron som placeras mellan två laddade metallplattor, över vilka det ligger en spänning U , får energin eU . Vi kan mäta hur mycket energi som behövs för att övervinna bandgapet genom att sakta öka spänningen över LED:en, tills det att ström börjar flyta. Vi har på detta sätt fått tröskelspänningen $U = U_0$. Kombinerar vi detta resultat med vårt tidigare, får vi den formel som utnyttjas i vår laboration:

$$eU_0 = hc/\lambda_{max}$$