

Experimentell fysik 2: Kvantfysiklaboration

Lärare: Hans Starnberg

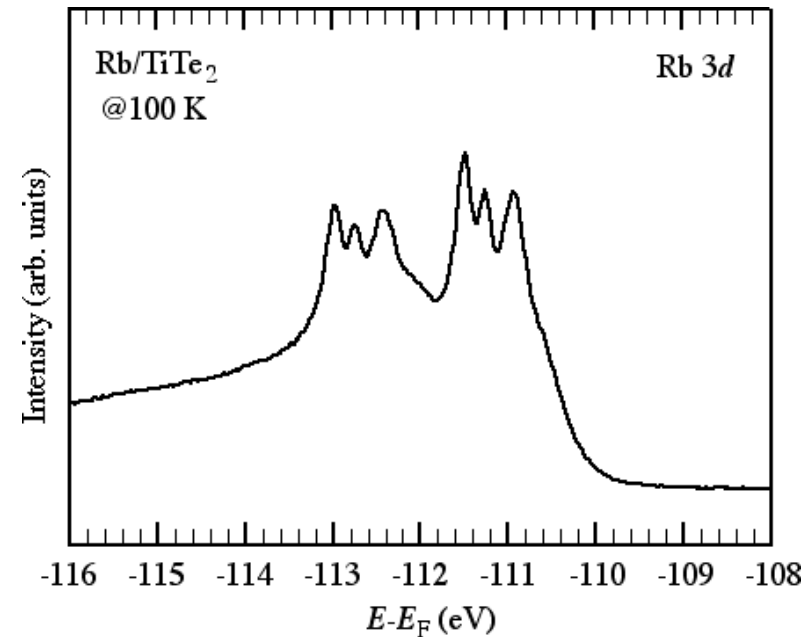
Assistenter: Mikael Svedendahl
Si Chen

Mer info: *Klicka er fram till kurshemsidan via
Chalmers studieportal*

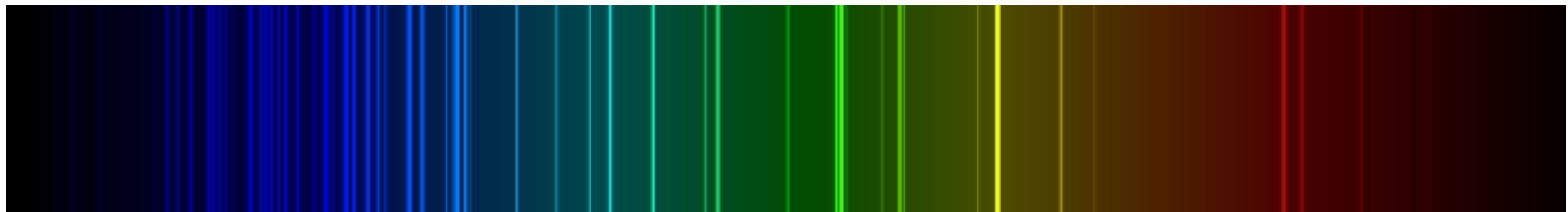
Spektroskopi

- Studier av växelverkan mellan materia och ljus.
- Studier av materia genom analys av ljus, ljud eller partiklar som materia emitterar, absorberar eller sprider.

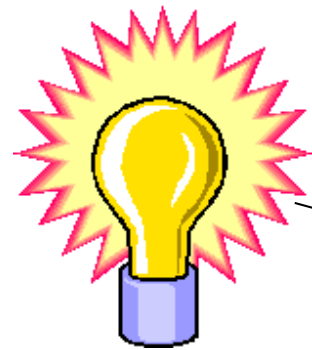
Fotoelektronspektrum:



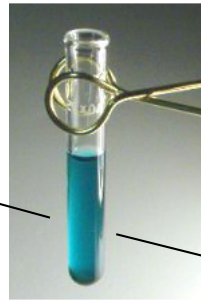
Optiskt emissionsspektrum från krypton:



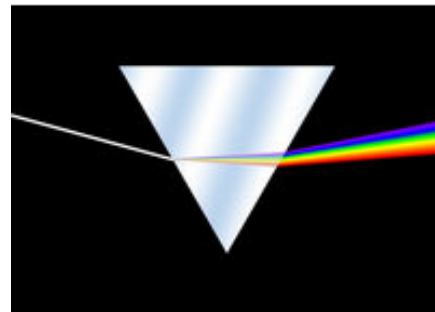
Typiska komponenter i ett spektroskopiexperiment:



Ljuskälla



Prov

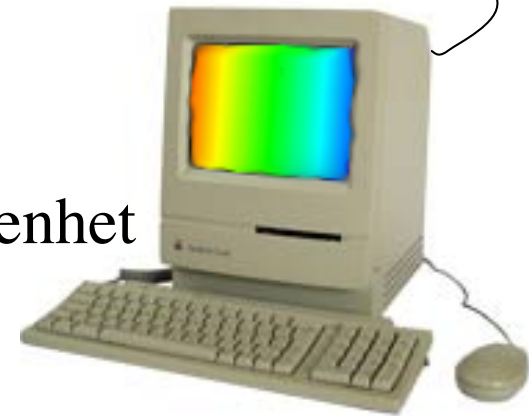


Våglängdsseparator

Detektor



Registreringsenhet

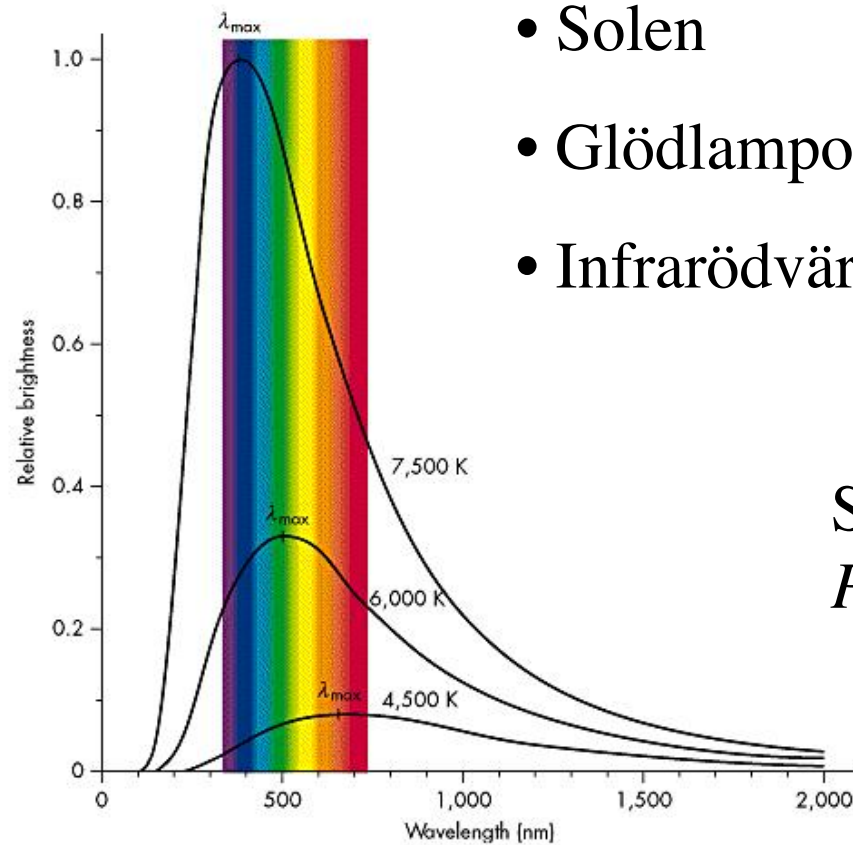
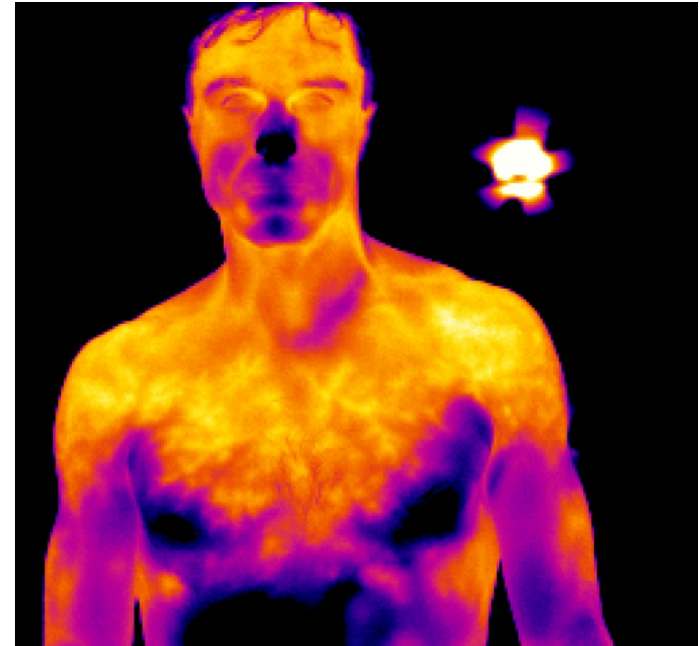


Ljuskällor

- Med kontinuerligt spektrum – *t ex glödlampor*
- Med linjespektrum – *t ex spektrallampor*
- Monokromatiska – *t ex lasrar*
- Med både linjer och kontinuum – *t ex lysrör*

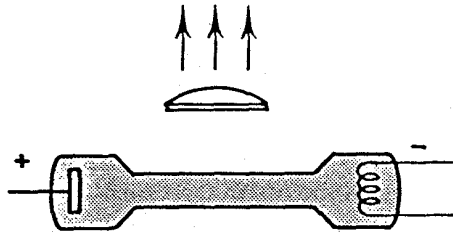
Svartkroppsstrålning

- Solen
- Glödlampor
- Infrarödvärmare

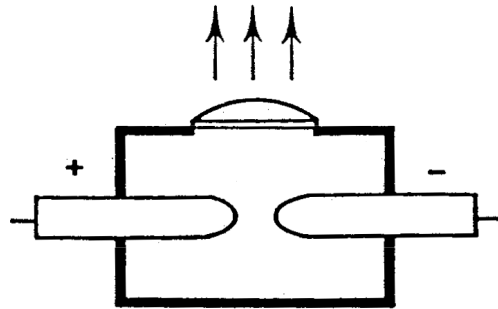


Spektralfördelningen ges av
Plancks strålningslag

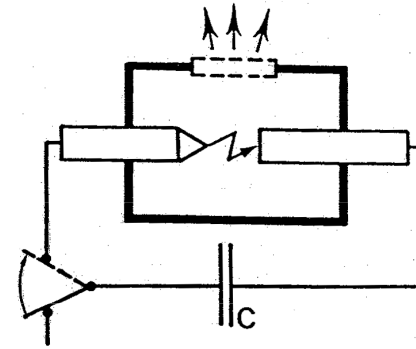
Spektrallampor



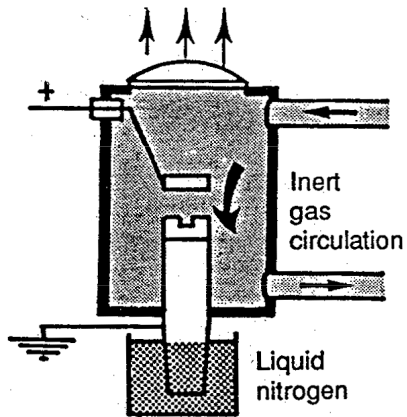
DC discharge in gas



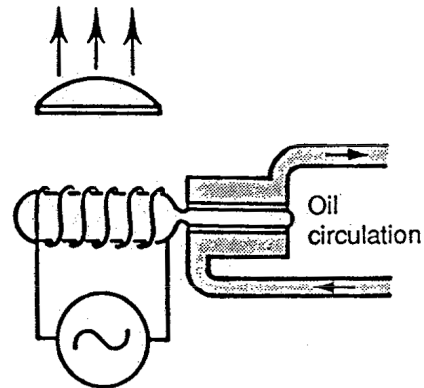
DC arc



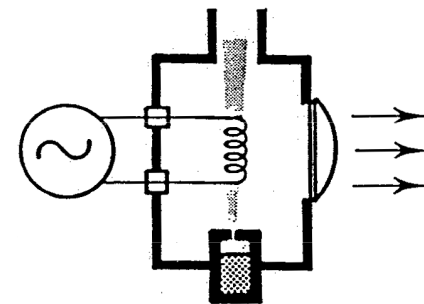
Spark discharge



Hollow cathode



Sealed-off RF lamp



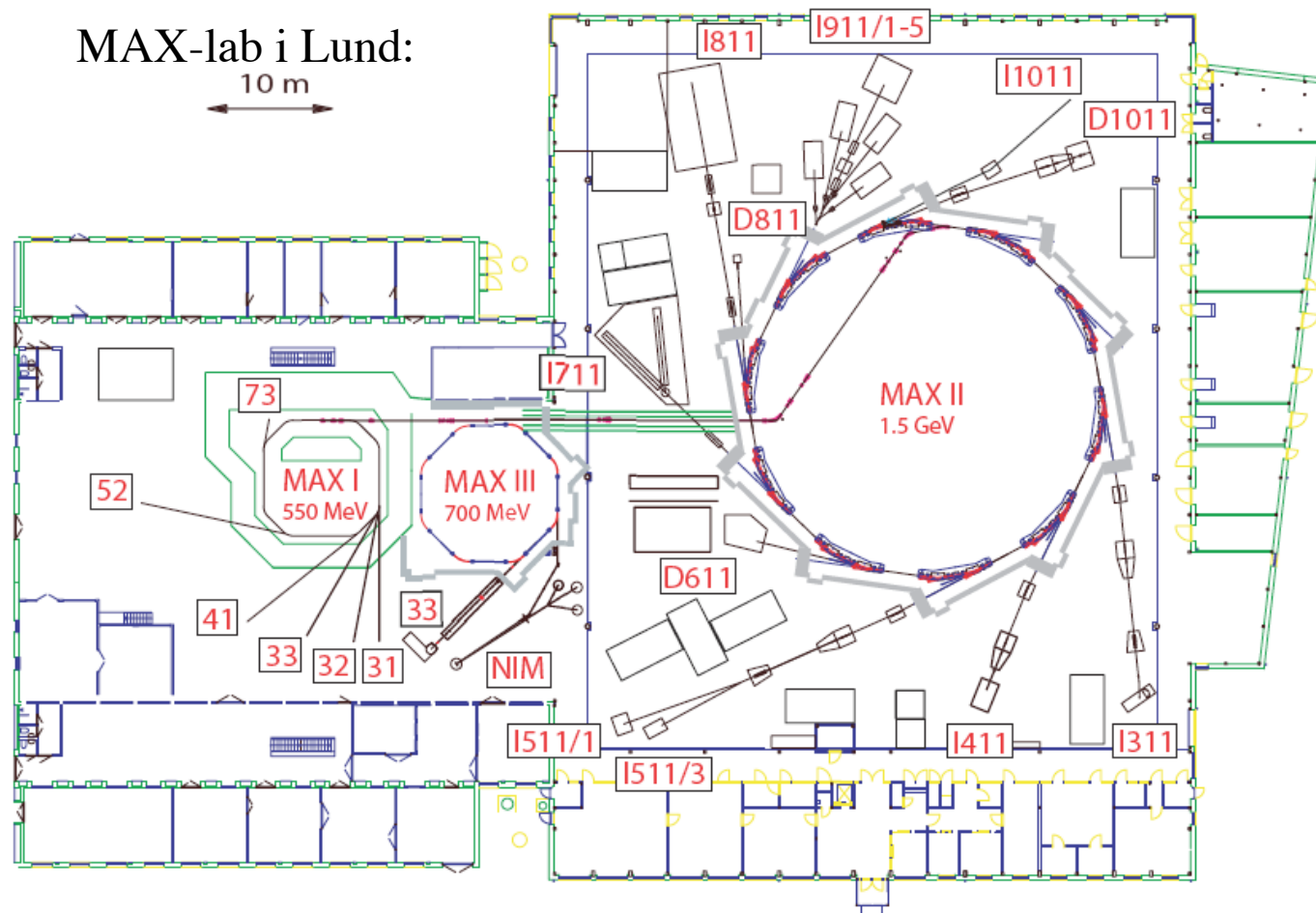
Atomic beam lamp

Lasrar

- Helium-neonlaser – kontinuerlig, synlig, måttlig effekt (mW)
- Excimerlaser – pulsad (ns), UV, hög effekt (medel W, i pulser MW)
- CO₂-laser – kontinuerlig eller pulsad, IR, hög effekt
- Färgämneslaser – kontinuerlig eller pulsad, avstämbar våglängd
- Kristallaser (Rubin, Nd:YAG, Ti:safir) – oftast pulsad, även korta pulser (ps, fs), synlig eller IR, kan nå höga effekter
- Halvledarlaser – oftast kontinuerliga, kompakta, lätthanterliga, måttlig effekt (mW)

Synkrotronljus

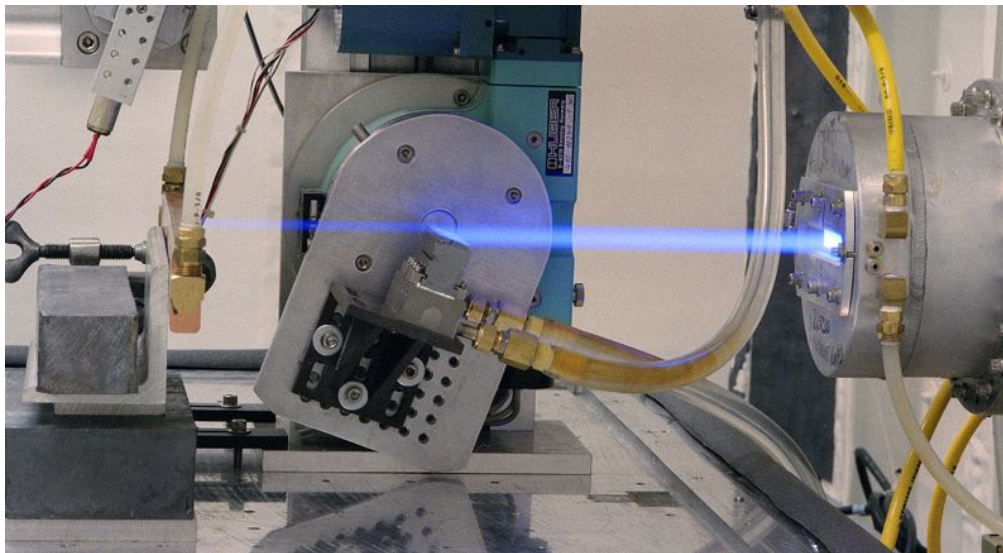
Elektroner cirkulerar med hastigheter nära ljusets i **lagringsringar**.
I "kurvorna" emitteras strålning med våglängder från IR till röntgen.



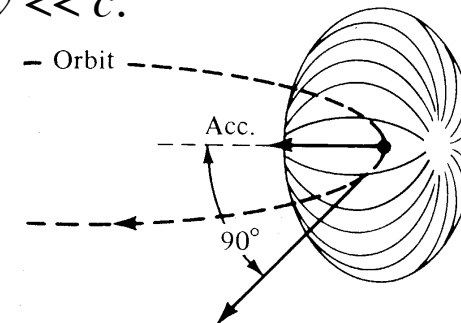
Synkrotronljus – *fortsättning*

Avböjning av elektroner i magnetfält
 $\Rightarrow$ centripetalacceleration

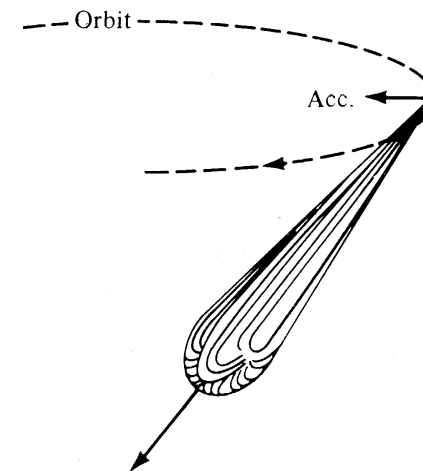
Acceleration av laddning $\Rightarrow$ dipolstrålning!



$v \ll c$:



$v \approx c$:



Prov/Mätobjekt

- Gasfas – fria atomers och molekylers egenskaper
- Lösning eller matris – viss påverkan från omgivningen
- Kondenserad fas – i första hand vätskans/fastas ämnets egenskaper

Atomers och molekyler kan förgasas:

termiskt – t ex genom upphettning i ugn

mekaniskt – t ex genom sputtring (jonbombardering)

fotokemiskt – t ex genom laserinducerade processer

Atomfällor och jonfällor:

Atomers och joner kan fångas och lagras i rummet med

hjälp av laserstrålar och/eller elektriska och magnetiska fält.

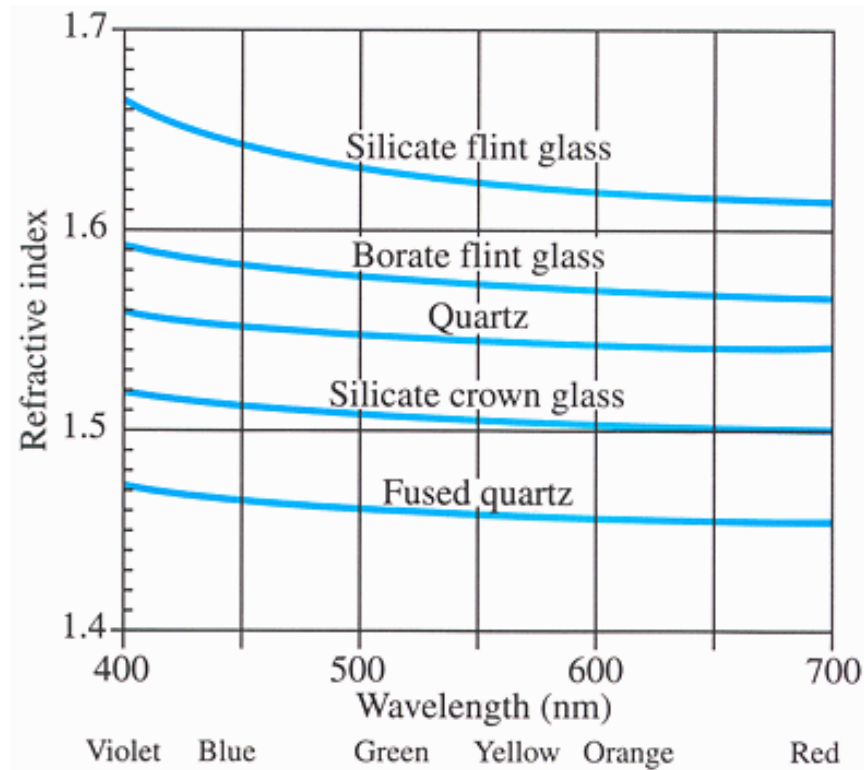
Våglängdsseparatorer

Filter – släpper igenom ljus inom ett visst våglängdsintervall, i allmänhet ganska brett

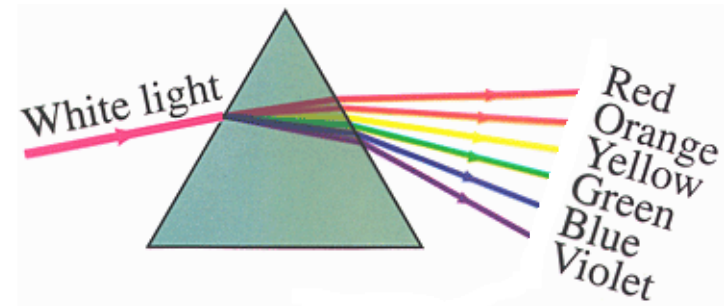
Monokromatorer – prisma eller gitter delar upp hela spektrumet, varierbar upplösning

Interferometrar – Michelson, Fabry-Perot, Fouriertransformspektrometer, hög upplösning, ger ej direkt absoluta våglängder

Brytning i prisma

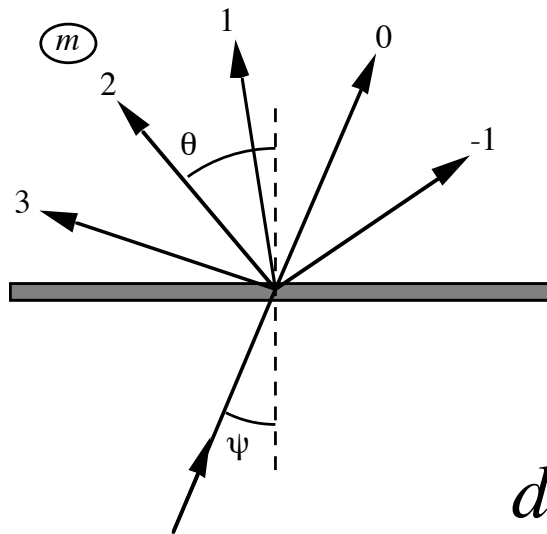
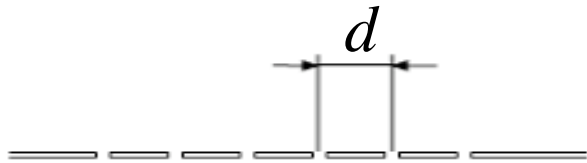


$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

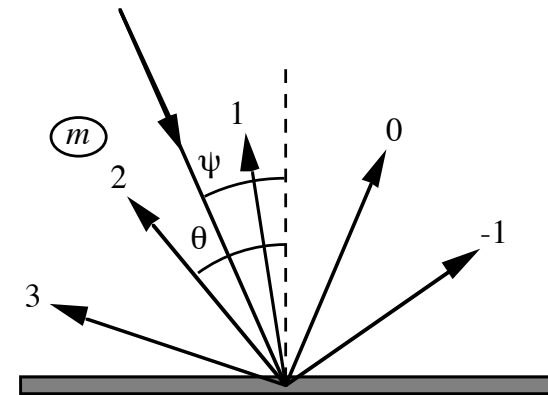
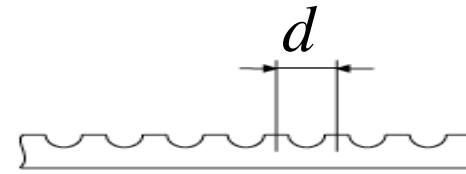


Gitter

Transmissionsgitter



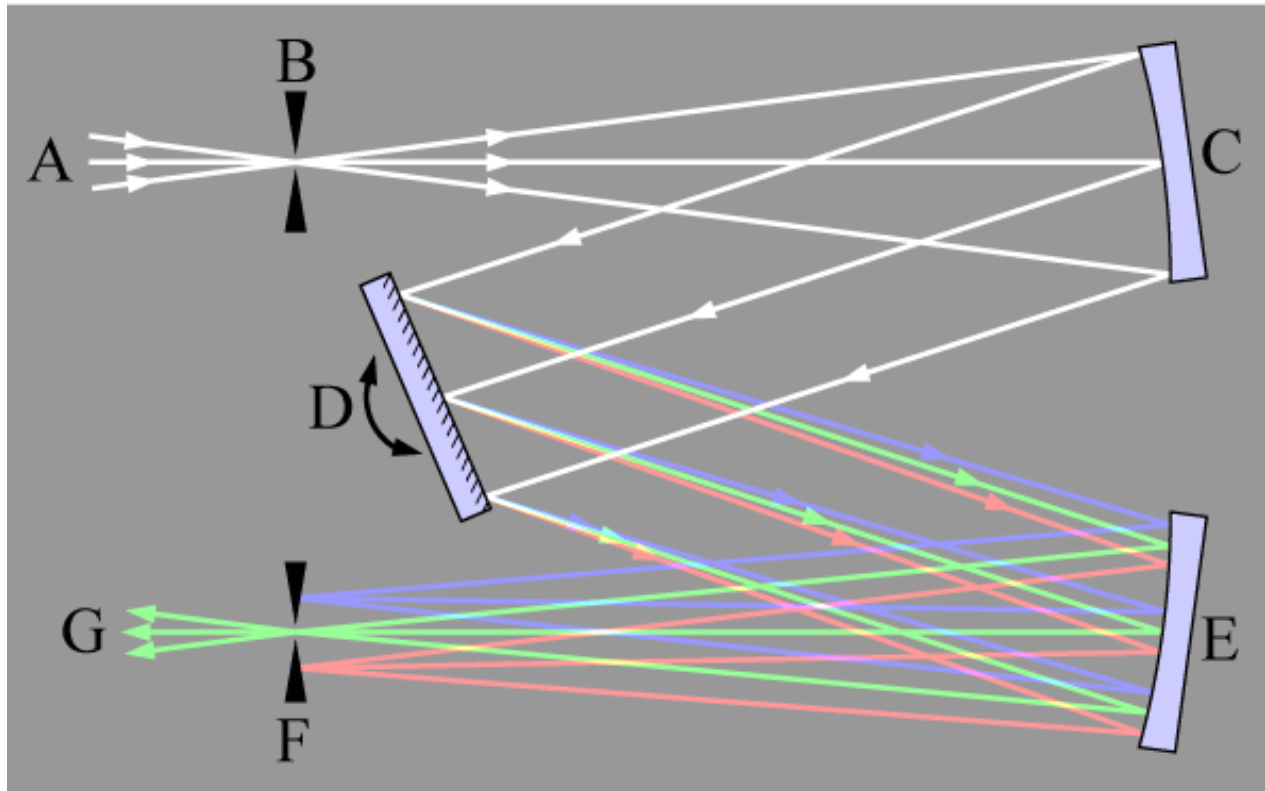
Reflektionsgitter



$$d(\sin \psi + \sin \theta) = m\lambda$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Gitterspektrometer (Czerny-Turnerkonfiguration)



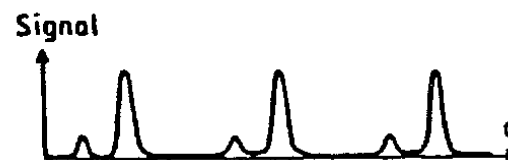
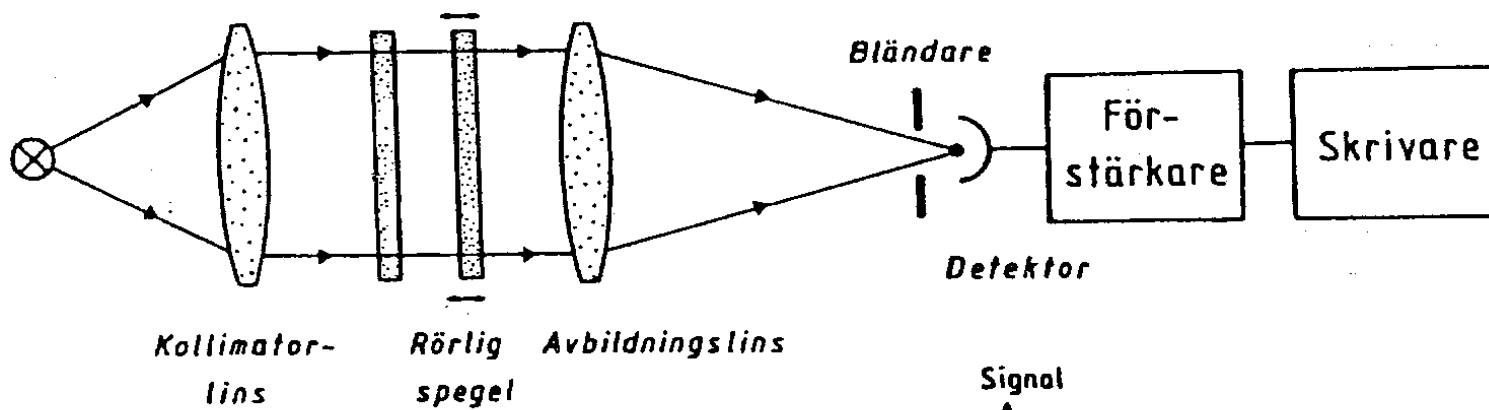
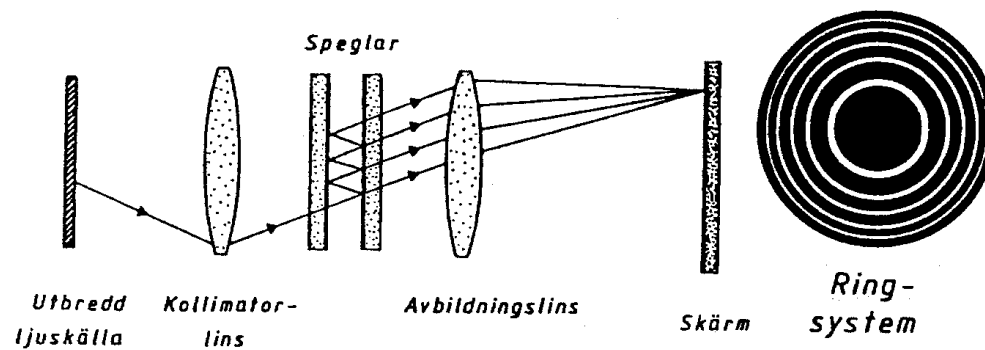
Viktiga parametrar:

Avstånd spalt - gitter

Spaltbredd

Gitterparameter (linjer/mm)

Fabry-Perot-interferometer

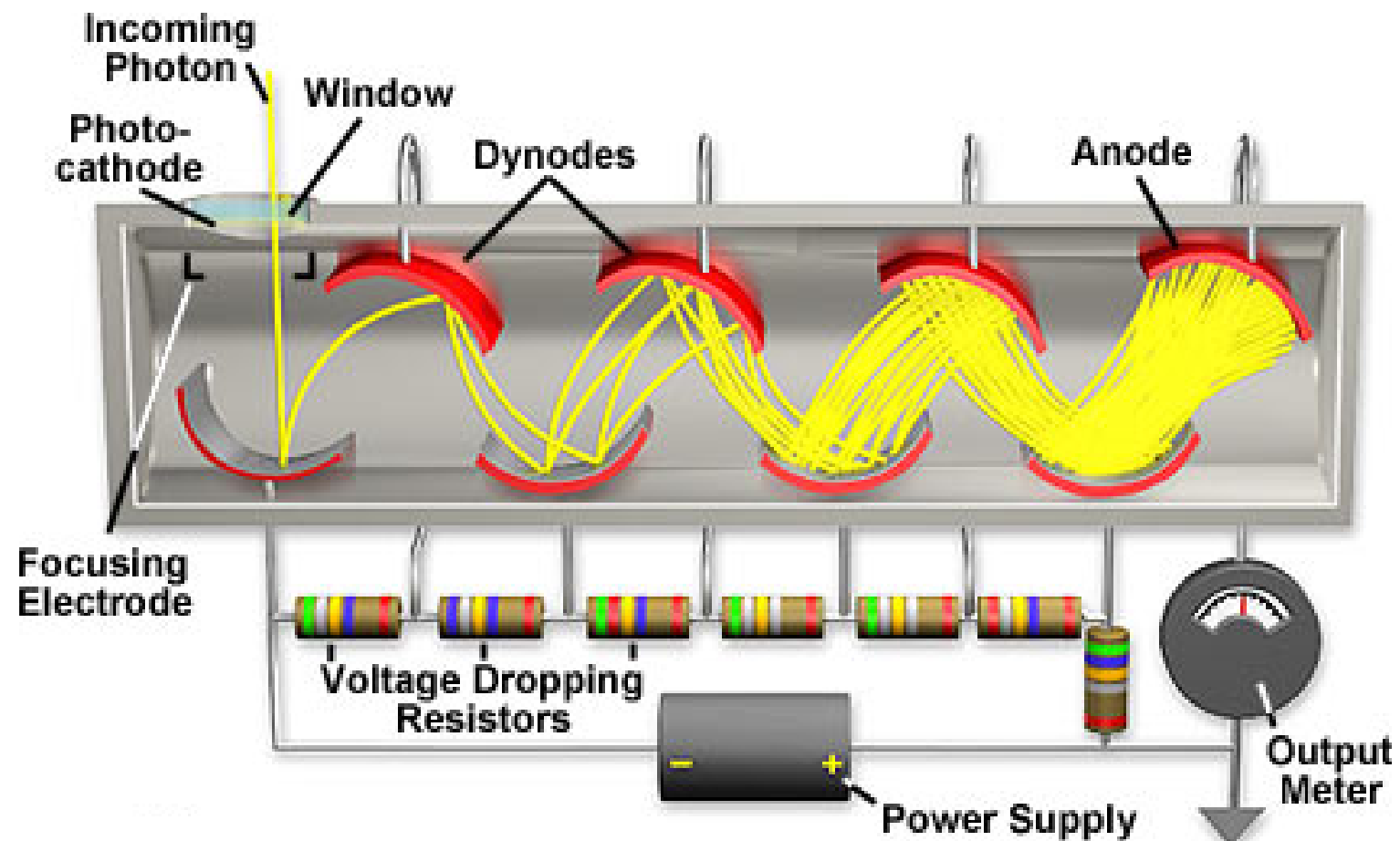


$$2nd = m\lambda$$

Detektorer

- Termiska (fotonabsorption $\Rightarrow$ temperaturhöjning)
bolometer
- Kemiska (fotonabsorption $\Rightarrow$ kemisk reaktion)
fotografisk film
ögat
- Elektriska (fotonabsorption $\Rightarrow$ "mätbara elektroner")
fotoresistor
fotodiod (diodmatriser, CCD-kamera)
fotomultiplikator, mikrokanalplatta

Fotomultiplikator



- Tidsupplöst detektion

Studier av tidsberoende processer

(t ex fosforescens eller kemiska reaktioner)

Koordination excitation-detektion

- Rumsupplöst detektion (avbildande spektroskopi)

Avbilda förekomst av speciella ämnen

Punkt-för-punktmätning i rummet

Fotografisk film eller CCD-kamera

- Registrering

För hand

Skrivare

Dator

Optiska komponenter

- Linser
- Speglar
- Optiska fibrer

Används för att samla in, rikta och transportera ljus.

Transmission, reflektion och dispersion styr egenskaperna

Egenskaper för toppar i spektra

- Position

Fotonenergi – energi absorberad/emitterad av atomen/molekylen. Hur väl kan absoluta fotonenergin bestämmas experimentellt?

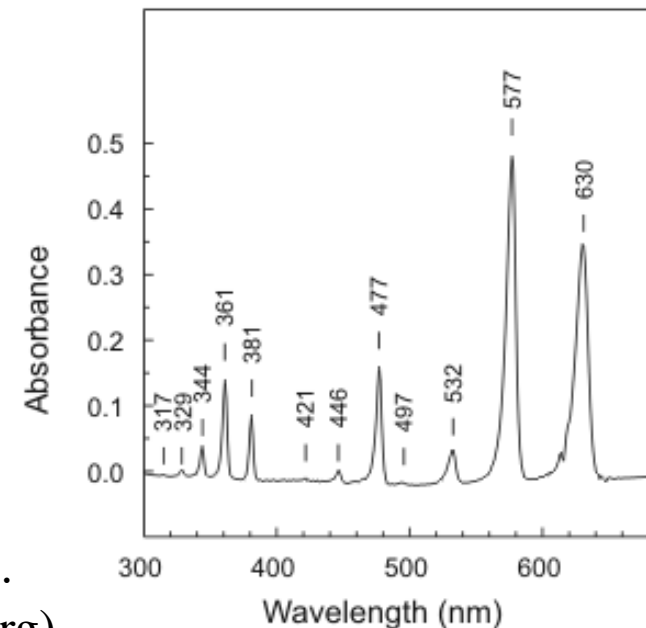
- Höjd/integral

Intensitet – antal fotoner. Absolut eller relativ mätning, detektoreffektivitet, våglängdsberoende?

- Bredd/form

Form beror på fysikalisk process – Gauss, Lorentz.
Livstidsbreddning för exciterat tillstånd (Heisenberg).
Temperatur tryck mm kan också ge breddning.
Finns det substruktur (består toppen av flera deltoppar)?
Experimentell upplösning, faltning av fysikalisk och instrumentell toppbredd.

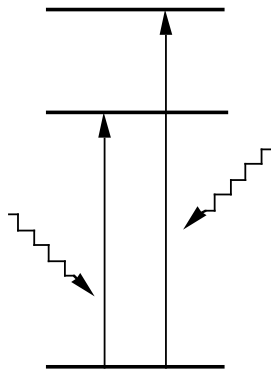
*Absorptionsspektrum
Flytande O₂*



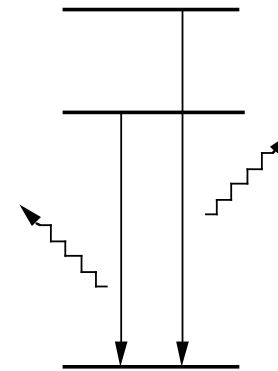
Kvantfysik

Växelverkan mellan fotoner och atomer/molekyler

Absorption – excitation



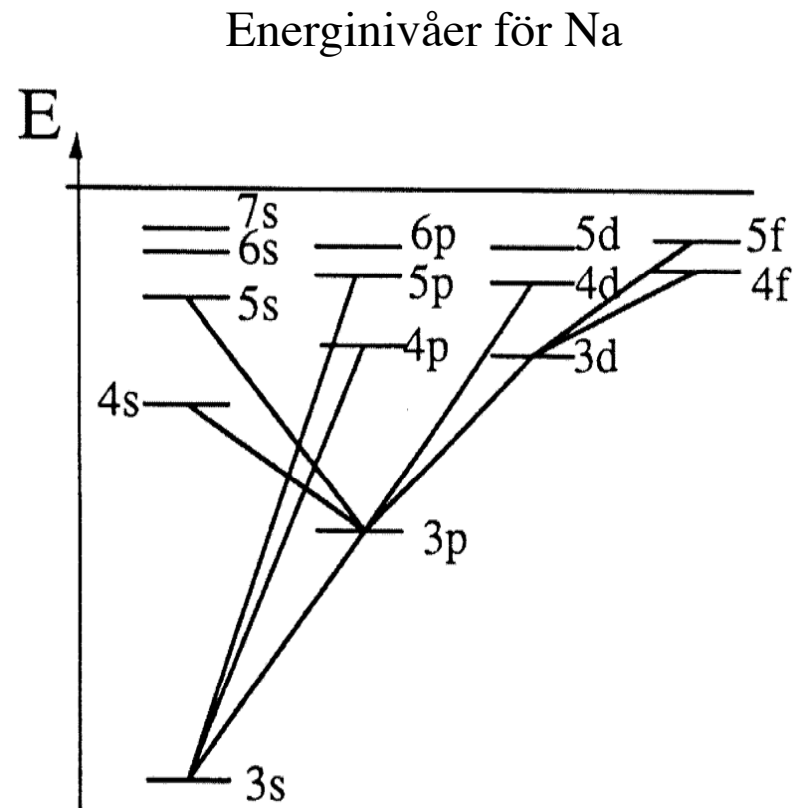
Emission – deexcitation



även:

Absorption – jonisation, dissociation

Atomens energinivåstruktur



Atomära energinivåer karakteriseras genom sina *kvanttal*:

$$n, l, j, L, S, J \dots$$

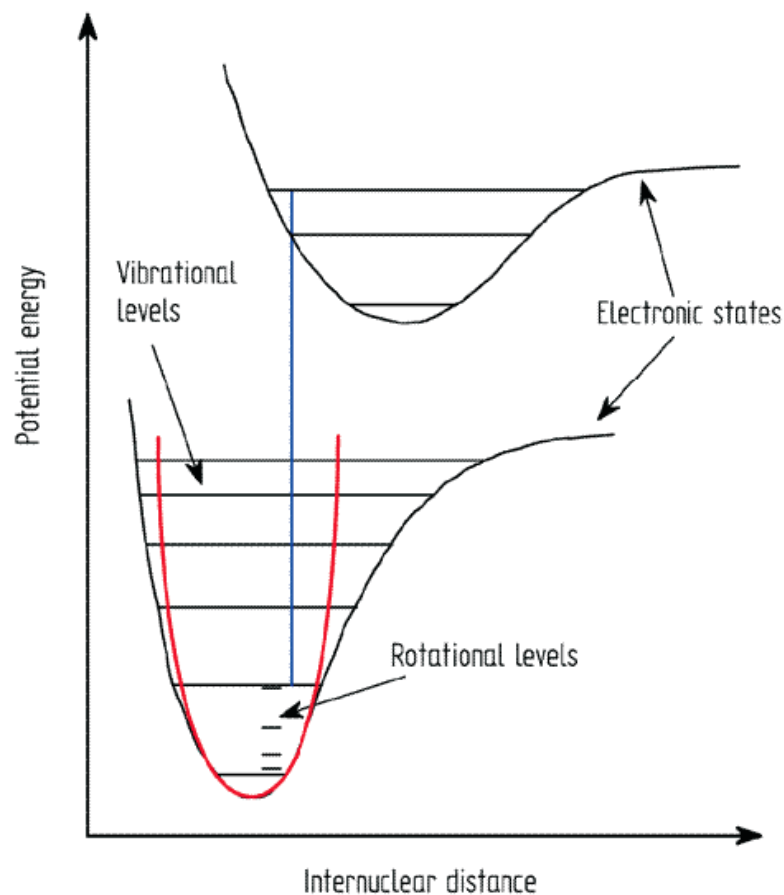
Vilka övergångar som kan observeras bestäms av olika urvalsregler,

$$\text{t ex } \Delta S = 0$$

(om spinnbankopplingen är svag).

Molekylens energinivåstruktur

Diagram för tvåatomig molekyl:



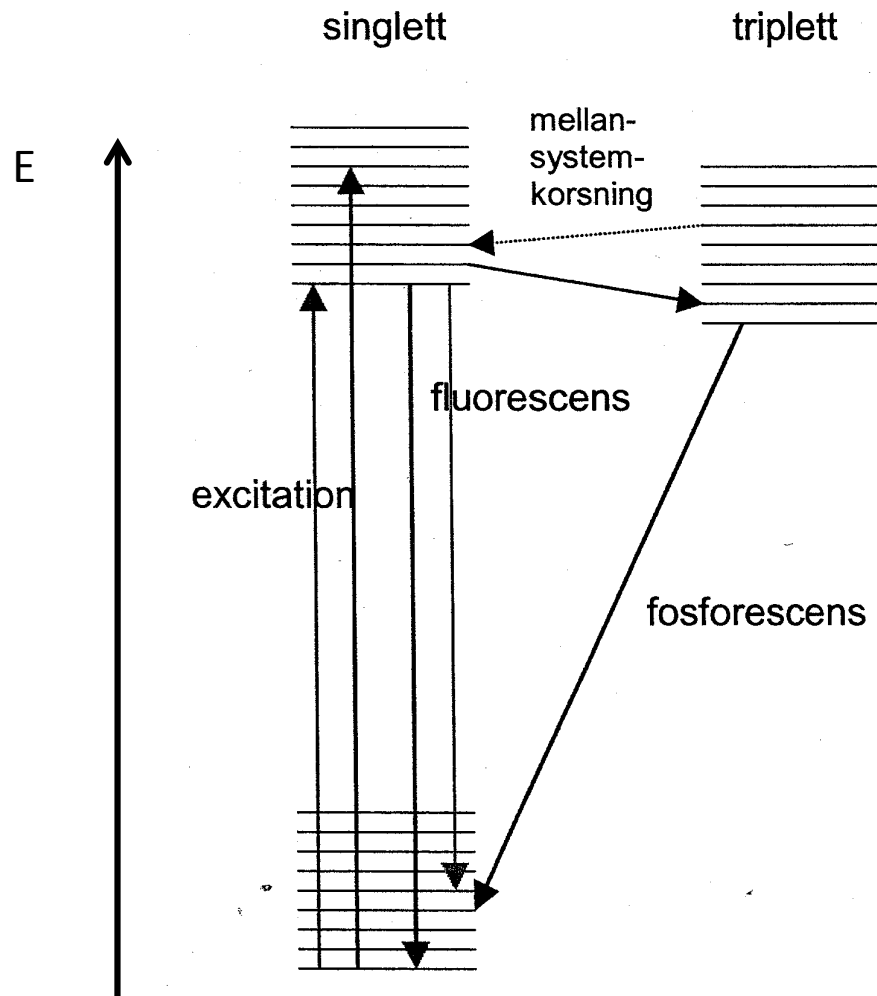
Om molekylen saknar dipolmoment är optiska övergångar mellan vibrationsnivåer ej tillåtna.

Dock kan vibrationsövergångar äga rum i samband med övergångar mellan olika elektroniska tillstånd.

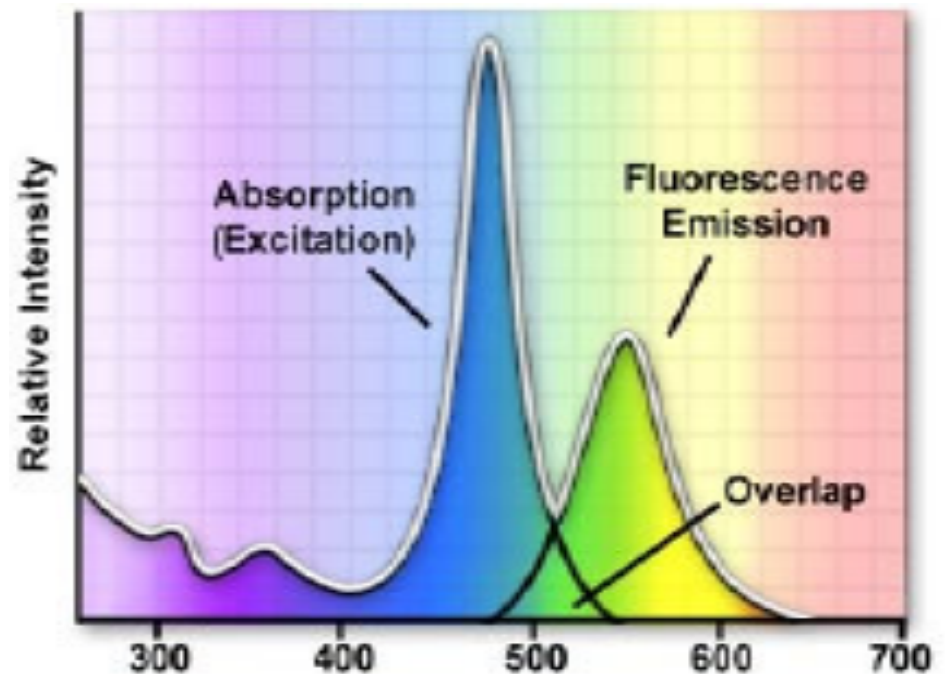
Därför kan jodmolekylens vibrationsnivåer studeras med t ex laserinducerad fluorescens.

Molekylspektrum – flera atomer

Många valenselektroner och många tätt
liggande energinivåer
⇒ *Bandstruktur*



Emission och absorption i breda
våglängdsintervall i stället för skarpa
linjer



Risker och säkerhetsaspekter

Laserljus, lampor med intensivt (ultraviolett) ljus

Kan skada ögonen, titta inte in i laserstrålen eller dess reflexer.

Atomabsorptionsbrännare

Öppen låga, brännbar (explosiv) gas, förbränningsgaser.

Håll gasflaskor korrekt stängda och förvarade då de ej används, skydda flaskor från stötar och slag, förbränn all "utsläppt" acetylen, använd fläktutsug.

Värmare till jodcell

Heta ytor, risk för brännskador och brand, undvik kontakt med hud och brännbara föremål, kontrollera att värmaren håller önskad temperatur.

Elektriska apparater

Högspänning, nätspänning, risk för hjärtflimmer och chock, undvik direktkontakt med spänningssatta föremål.

Kemiska risker

Se märkning av respektive produkt (laserfärgämnen).

Glasföremål

Kan ge skärskador om de går sönder, hantera försiktigt.

Allmänt

Risk för klämskador, man kan snubbla eller halka.

Större olycksrisk om man är trött, stressad eller exalterad!

Alla eventuella olyckor eller tillbud ska rapporteras!

Innan ni börjar arbeta i en lokal kolla följande:

- utrymningsvägar
- var/hur jag kan larma
- lokalisera brandsläckare

Innan ni börjar arbetet gör en riskanalys:

- inventera risker
- värdera risker sannolikhet
 konsekvens
- förebygg/åtgärda riskeliminering
 riskminimering
 skyddsåtgärder

Känslig utrustning

Fotomultiplikator: Undvik för mycket ljus vid för hög spänning.
Ström ut < 10 μ A.

Monokromatorgitter: Skadas av beröring och beläggning.
Endast assistenter får öppna monokromatorer.

Glasartiklar: Bräckligt, undvik mekaniska påfrestningar.

Se vidare i bruksanvisningar och handböcker.

Behandla all utrustning med normal varsamhet.

Viktigt att tänka på:

- Titta inte in i lasrar!
- Öppna inte spektrometrarna!
- Stäng inte av datorerna!
- Kör inte mätningar över natten!
- Ni behöver skriva enkla program i LabView!
- Labb-loggar ska godkännas!
- Städa efter er!

Projektupplägg

- Förstudie
- Genomförande
- Rapport

Kvalitet viktigare än kvantitet!