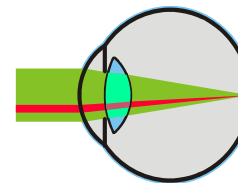


Arbetsplatsoptometri för optiker

Optisk strålning & strålskydd

Peter Unsbo
KTH



Biomedical and x-ray physics
Visual Optics

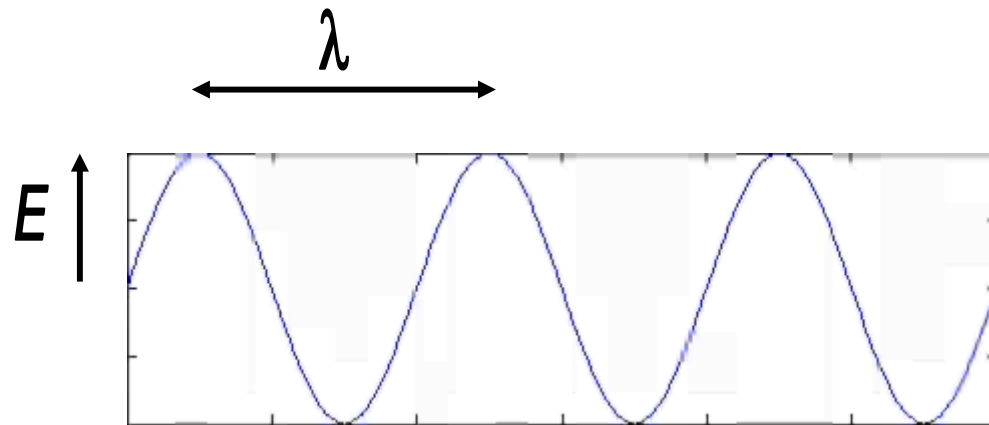
Del I: Optisk strålning

- Elektromagnetisk och optisk strålning
- Växelverkan ljus – materia
- Biologiska effekter i ögat
- Biologiska effekter i huden
- Radiometri
- Gränsvärden
- Beräkningsexempel

Vad är optisk strålning?

- Optisk strålning $\Leftrightarrow$ Strålningen från solen mot jorden
- Ljus är en del av den optiska strålningen
- Optikens lagar gäller
- Optisk strålning tränger inte in i kroppen (förutom i ögat)

Elektromagnetisk vågrörelse



Ljushastighet
 $c = 300\,000\text{ km/s}$

$\lambda = \text{våglängd [m]}$

$(1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}, 1\text{ }\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m})$

$\nu = \text{frekvens [Hz]}$

$c = \nu \lambda \text{ [m/s]}$

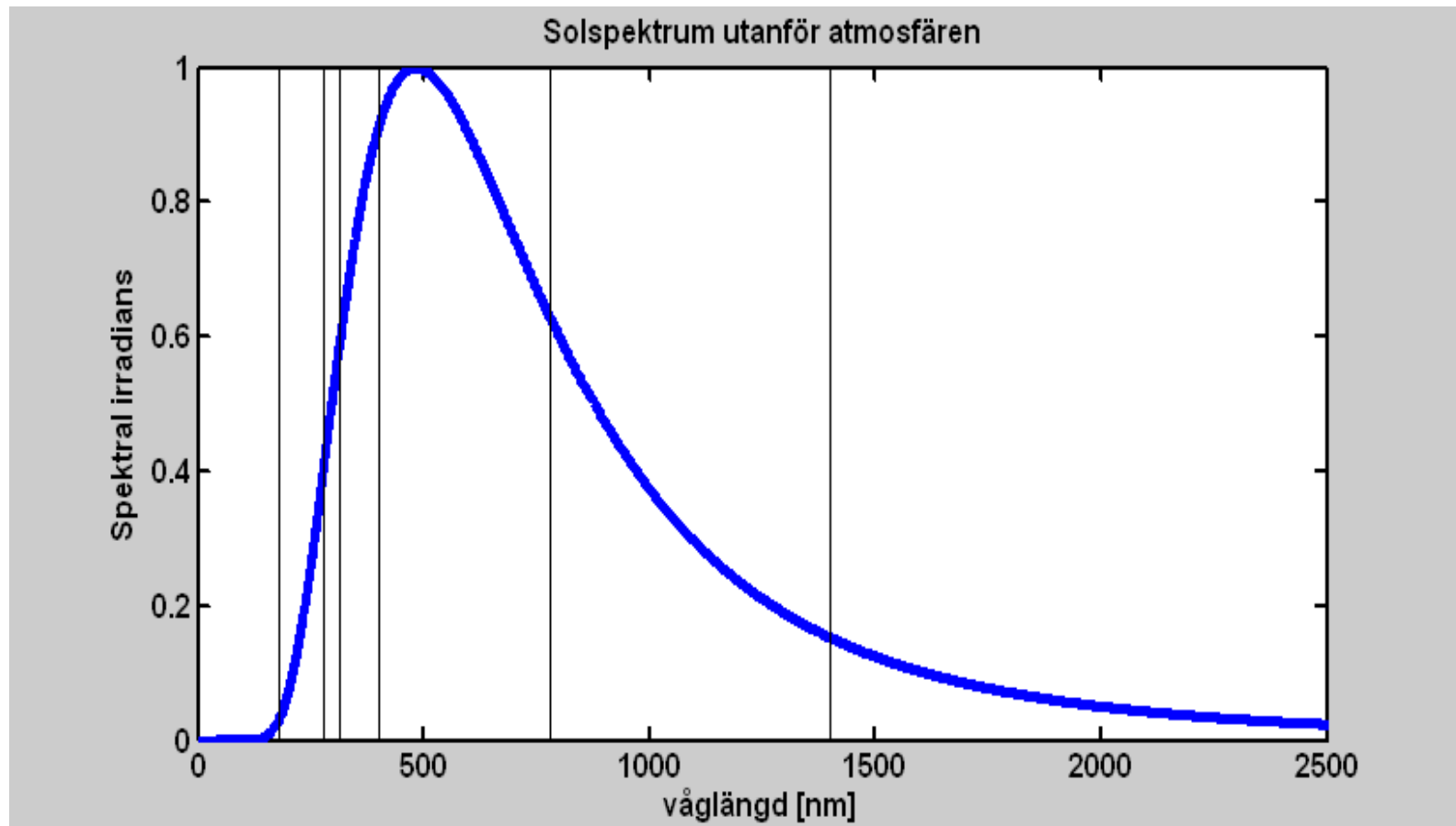
Elektromagnetiskt spektrum

Våglängd		Frekvens		Foton-energi		Strålningstyp
1,0E-16	[nm]	3,0E+33	[Hz]	1,2E+19	[eV]	Gammastrålning
0,01	[nm]	3,0E+19	[Hz]	1,2E+05	[eV]	Röntgenstrålning
10	[nm]	3,0E+16	[Hz]	1,2E+02	[eV]	Extrem UV
100	[nm]	3,0E+15	[Hz]	1,2E+01	[eV]	Optisk strålning
1	[mm]	3,0E+11	[Hz]	1,2E-03	[eV]	Mikrovågor
30	[cm]	1,0E+09	[Hz]	4,1E-06	[eV]	Radiovågor
10	[km]	3,0E+04	[Hz]	1,2E-10	[eV]	

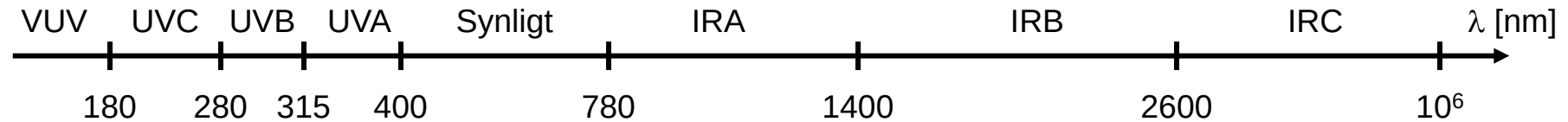
Fotoner – kvantisering av ljuset

- Energin i vågen kommer i klumpar, *fotoner*, med energin $E = h\nu$
($h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Js, Planck's konstant)
- Våg – partikel dualism
(Hög energi $\rightarrow$ kort våglängd $\rightarrow$ partiklar
Låg energi $\rightarrow$ lång våglängd $\rightarrow$ vågor)
- Fotonenergin avgör vilken skada strålningen kan göra på biologisk vävnad

Optiska spektrat



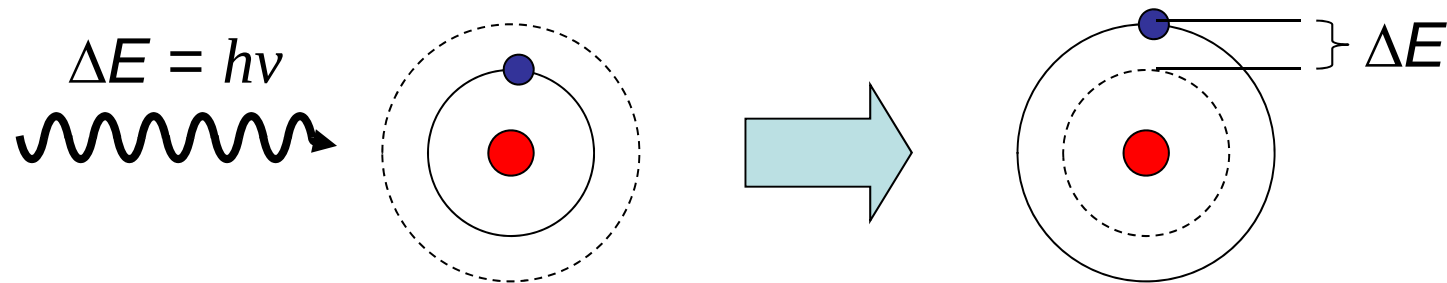
Optiska spektrat



- 180 nm Gräns mot VUV
- 280 nm Kortaste våglängden som når jordytan
- 315 nm Kortaste våglängden som kan tränga in i ögat
- 400 nm Kortaste våglängden som når näthinnan
- 780 nm Längsta våglängden näthinnan kan detektera
- 1400 nm Längsta våglängden som når näthinnan
- 2600 nm Längsta våglängden som kan tränga in i ögat
- 1 mm Gränsen mot mikrovågor

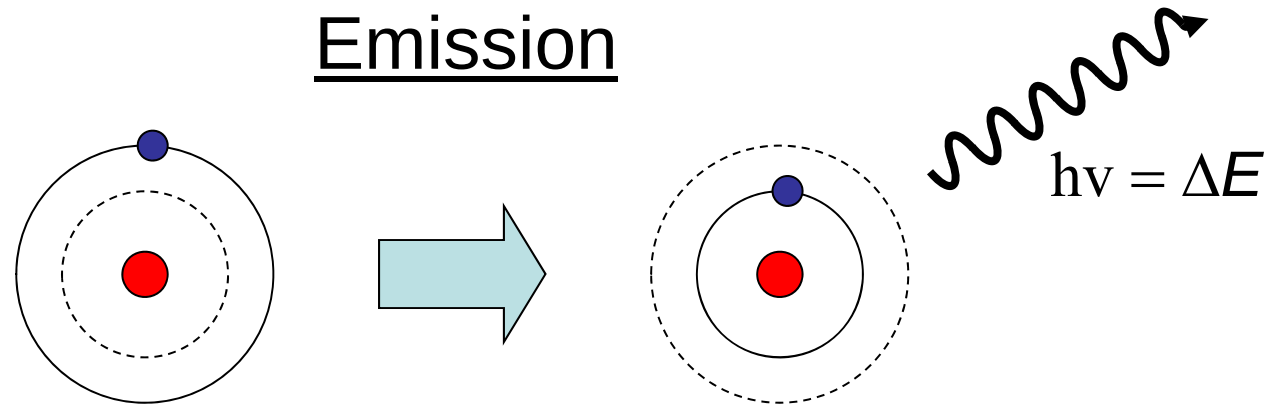
Växelverkan fotoner – materia

Absorbtion



- Absorbtion sker endast mellan diskreta energinivåer i materian (kvantisering)

Växelverkan fotoner – materia

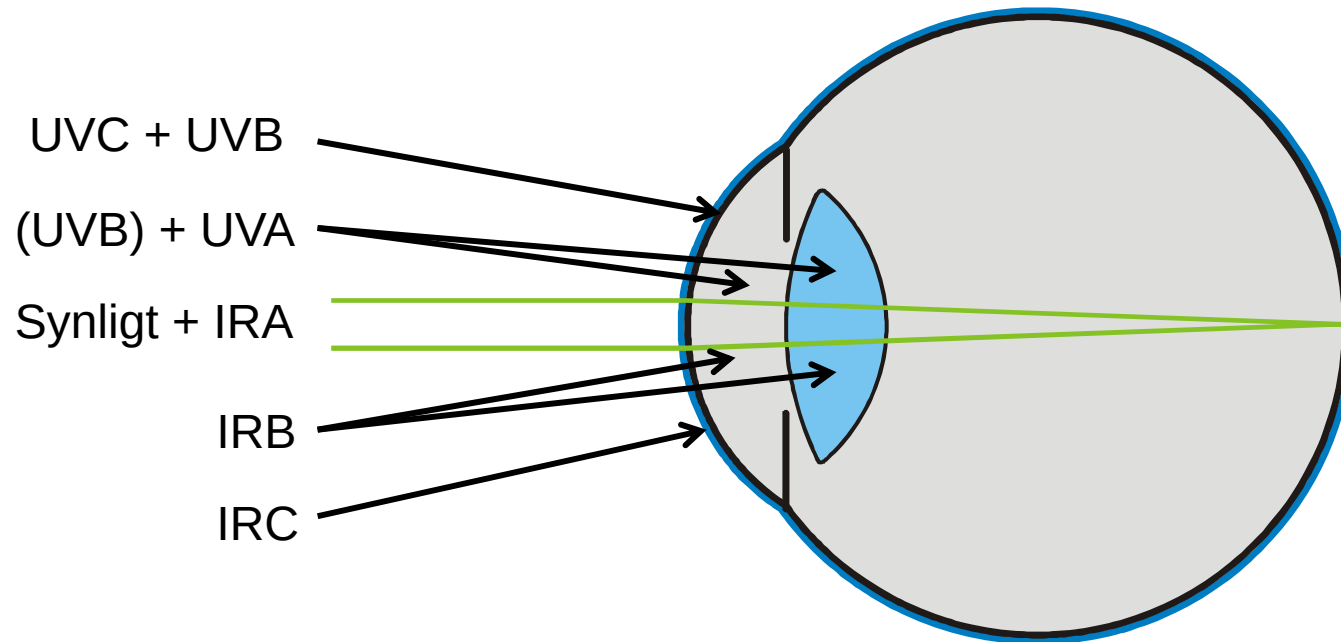


- Emission sker endast mellan diskreta energinivåer i materian (kvantisering)

Optiskt spektrum

Våglängd		Foton-energi		Strålningstyp	
180	[nm]	6,9	[eV]	UVC	Inre och yttre elektroner
280	[nm]	4,4	[eV]	UVB	DNA
315	[nm]	3,9	[eV]	UVA	
400	[nm]	3,1	[eV]	Synligt	Yttre elektroner
					Kovalenta bindningar Jonbindningar
780	[nm]	1,6	[eV]	IRA	
1400	[nm]	0,9	[eV]	IRB	
2600	[nm]	0,5	[eV]	IRC	Molekylvibrationer och rotationer
					Svaga bindningar
1	[mm]	0,001	[eV]		

Biologiska effekter i ögat – inträngning



UVC och kortvågig UVB (<295 nm) absorberas i korneas epitelceller

UVA absorberas i ögats främre delar

Synligt och IRA bryts i ögats optik och når näthinnan (långvågig IRA absorberas i glaskroppen)

IRB absorberas i ögats främre delar

IRC absorberas i kornea

Biologiska effekter i ögat – påverkan

- UVC och UVB

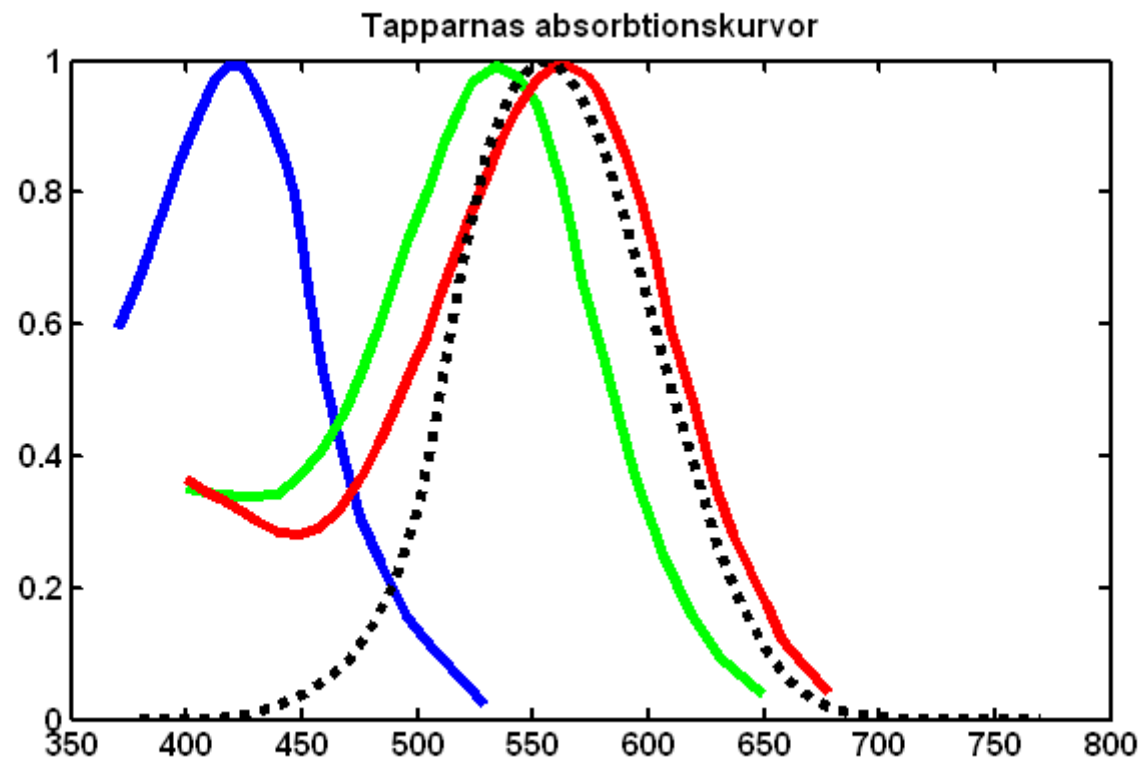
- Dödar epitelcellerna, cellerna avstöts → Fotokeratit
- Långvågig UVB kan ge katarakt
- Cancer
- Pulsad strålning med hög intensitet → Ablation

- UVA

- Absorberas i kammarvätskan och linsen
- Inga akuta skador
- Kan eventuellt orsaka katarakt långsiktigt

Biologiska effekter i ögat – påverkan

- Synligt ljus
 - Absorption i näthinnan → Synintryck



Biologiska effekter i ögat – påverkan

- Synligt ljus – brännskada på näthinnan
 - Parallellt ljus från avlägsen punktkälla eller laserstråle fokuseras till punkt på näthinnan
 - Lokal överhettning → lokal blind fläck
 - Kraftig laserpuls → plasmabildning → gasblåsa → explosion → tryckvåg → *fotodisruption*

Tröskelskada: Skada eller ingen påverkan alls
(Händer på några sekunder eller inte alls)

Biologiska effekter i ögat – påverkan

- Synligt ljus – fotokemisk skada (blåljusskada)
 - Det blå ljuset skapar fria radikaler (ex väteperoxid H_2O_2) genom att slå sönder bindningar
 - Dessa är starkt oxiderande → skador på DNA i näthinnans epitelceller (RPE)
 - Kan eventuellt leda till makuladegeneration

Biologiska effekter i ögat – påverkan

- IRA
 - Brännskador på näthinnan som för synlig strålning
 - Krympning av glaskroppen vid längre våglängder
- IRB
 - Absorberas i kornea, kammarvätskan och linsen
 - Långvarig exponering kan ge katarakt
- IRC
 - Absorberas i kornea
 - Skador ovanliga eftersom exponering är mycket smärtsamt

Biologiska effekter i huden

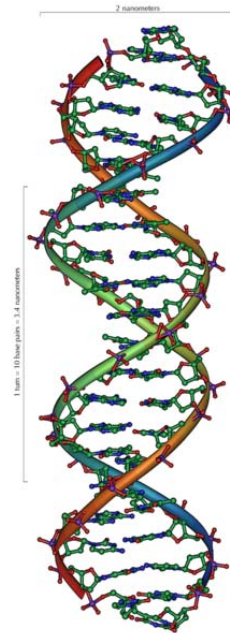
- UVB (UVA)

Solsveda – erytem

- Fotonerna slår sönder DNA i cellkärnorna
→ cellen skadas → reparation av DNA
- UVB ökar mängden pigment och gör
huden tjockare
UVA gör pigmentet mörkare

Hudcancer

- Felaktig reparation av DNA → cancercell
- Både UVB och UVA gör att huden åldras och kan orsaka
hudcancer



Biologiska effekter i huden

- D-vitamin

UVB bidrar till D-vitaminproduktionen

Ljus hud behöver ca 15 min sol/dag under sommaren

Vintertid är solen för svag

D-vitamin tillsätts därför i livsmedel (lätt- och mellanmjölk). D-vitamin finns även naturligt i fet fisk, torskleverolja och ägg.

Extra D-vitamin tillskott för barn upp till ca 5 års ålder (beror på hudfärg och kost)

Biologiska effekter i huden

- Solarium jämfört med solljus
 - Upptill 4 ggr mer UVA ungefär samma UVB
 - Tydligt samband mellan solarierbesök i unga år och hudcancer
 - Solarium ger inget tillskott av D-vitamin

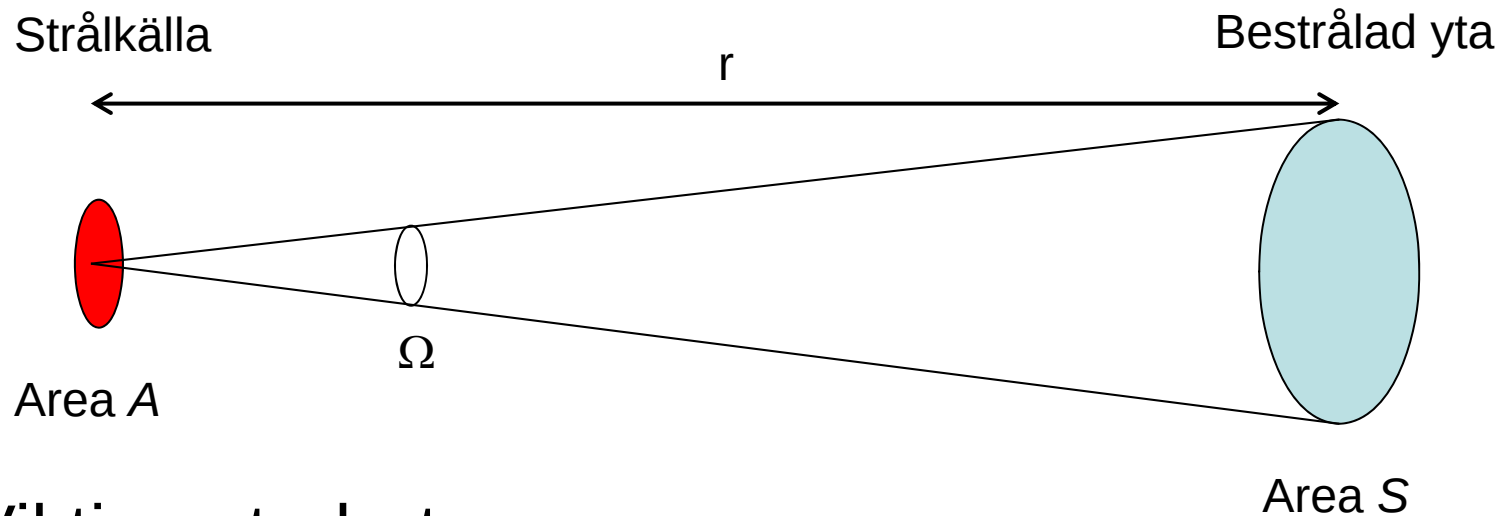
WHO 2009: Strålning i solarium klassat som cancerframkallande (klass 1 – högsta risk)

Förslag:

Obligatoriskt solskydd 18-årsgräns på solarium

Endast vinteröppna solarier Inga solarier i kommunal regi

Radiometri – att mäta strålning



Viktiga storheter

Φ_e = Strålningsflöde som träffar S [W]

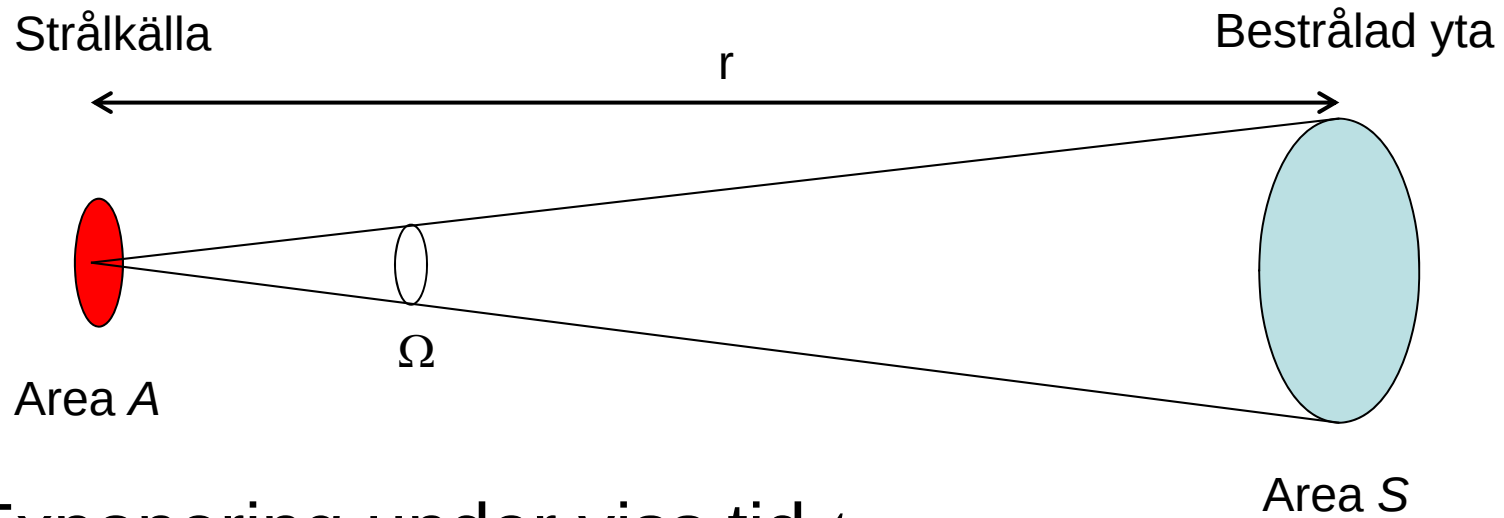
$\Omega = \frac{S}{r^2}$ = Rymdvinkel [sr]

$I_e = \frac{\Phi_e}{\Omega}$ = Strålningsstyrka [W/sr]

$E_e = \frac{\Phi_e}{S}$ = Irradians mot S [W/m²]

$L_e = \frac{\Phi_e}{A \cdot \Omega}$ = Radians [W/m² · sr]

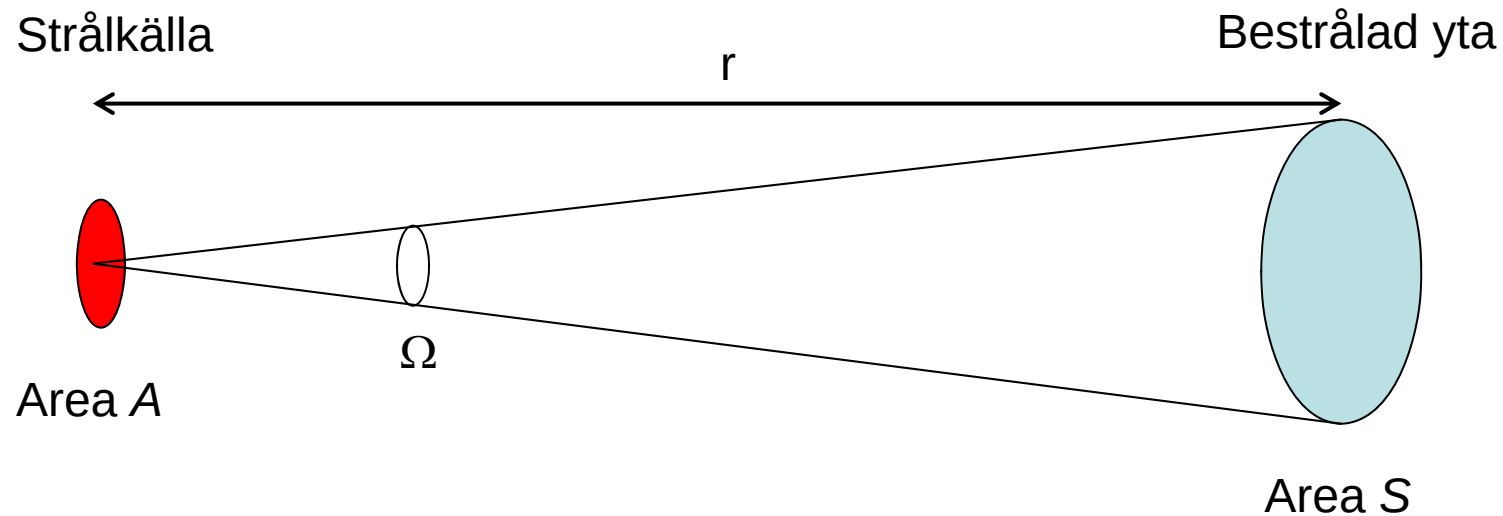
Radiometri – att mäta strålning



Exponering under viss tid t :

$$E_e \cdot t = \text{Stråldos [J/m}^2\text{]}$$

Radiometri – att mäta strålning



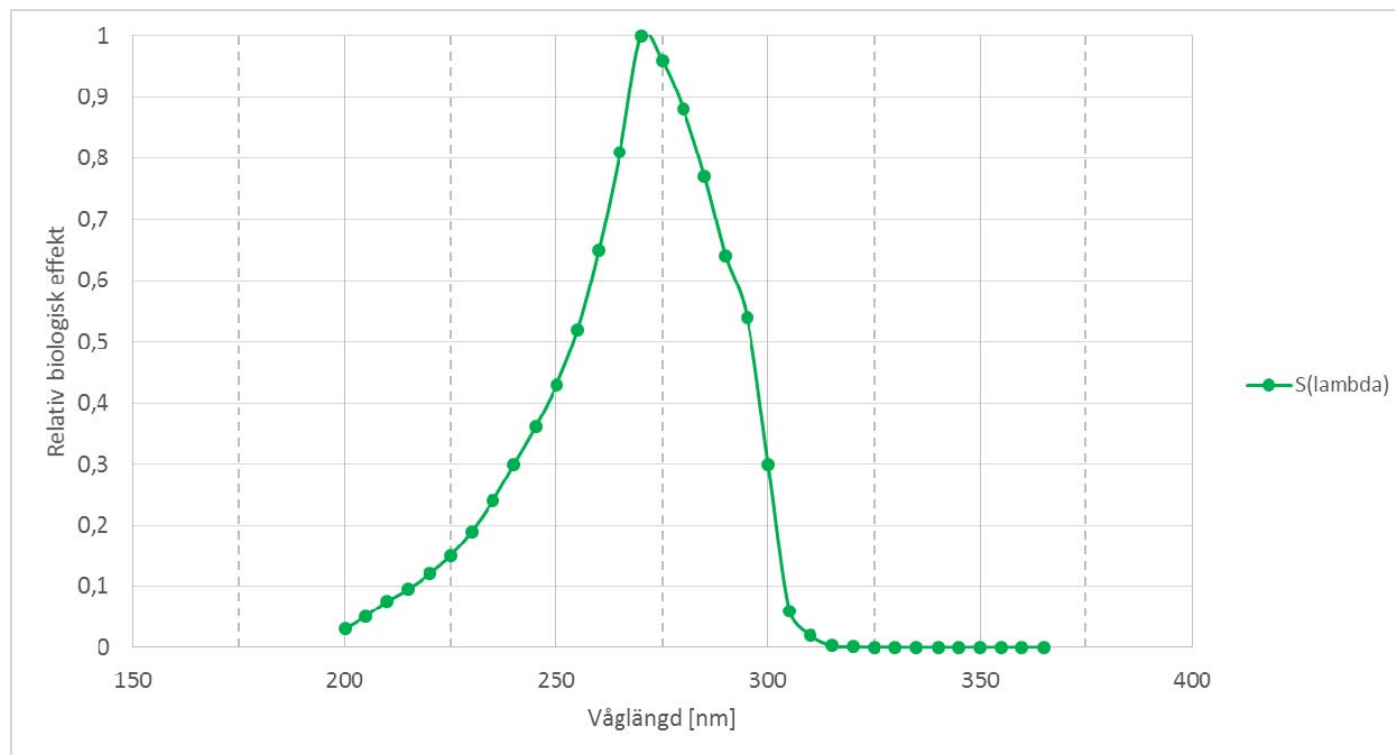
Strålning som innehåller flera våglängder:

$$\begin{aligned} E_{e\lambda}(\lambda) &= \text{Irradians per våglängdsintervall} \\ &= \text{Spektral irradians [W/m}^2 \cdot \text{nm]} \end{aligned}$$

$$L_{e\lambda}(\lambda) = \text{Spektral radians [W/m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm]}$$

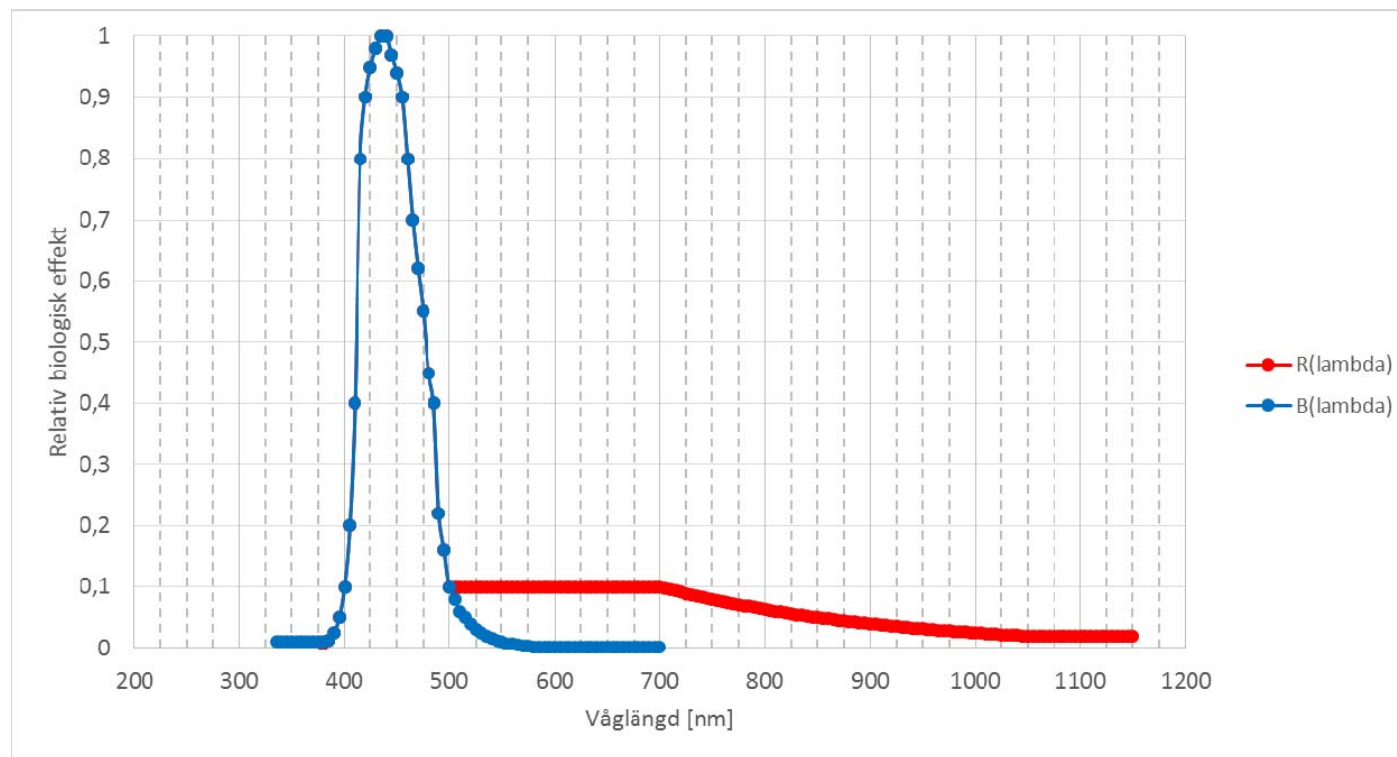
Spektrala aktionskurvor

- Aktionsspektrum för UV (hud + kornea)
 - Gäller erytem och fotokeratit, inte cancer och katarakt



Spektrala aktionskurvor

- Aktionsspektrum för synligt och IRA
 - Gäller brännskada i näthinna (röd) och blåljusskada (blå)



Gränsvärden

- Exponeringsgräns UV (erytem, keratit, katarakt)
 - $t \cdot E_e \cdot S_\lambda \leq 30 \text{ J/m}^2$ per 24-timmarsperiod
- Exponeringsgränser synligt och IRA (blåljusskada, brännskada)
 - Se www.av.se AFS 2009:07 Artificiell optisk strålning
- Exponeringsgränser IRB (brännskada, katarakt)
 - Se www.av.se AFS 2009:07
- Exponeringsgränser Lasrar
 - Se www.av.se AFS 2009:07

Mätteknik

- Spektroradiometrar

Mäter $E_{e\lambda}(\lambda)$ [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ nm}$]

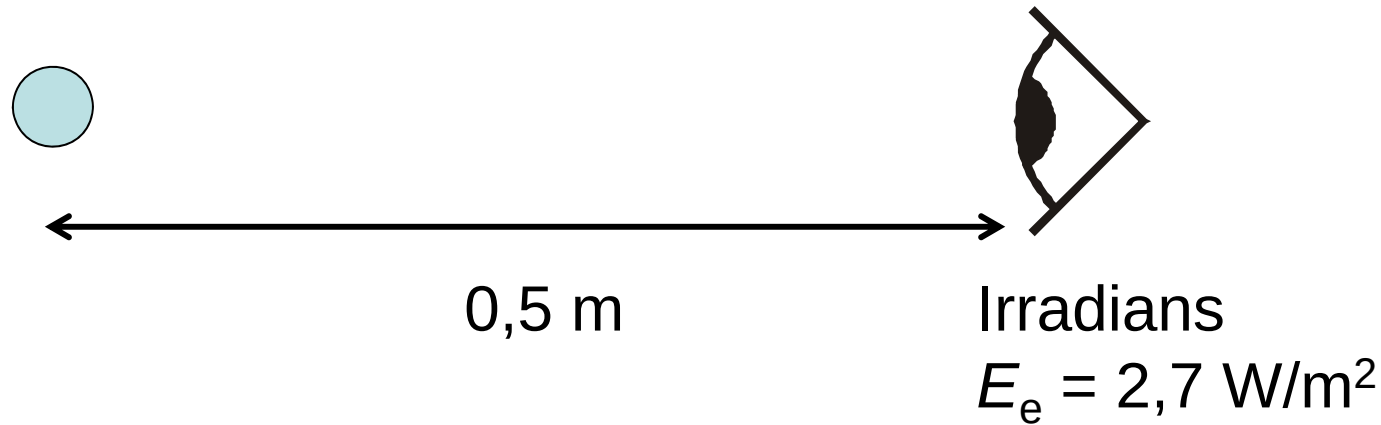
- Viktade radiometrar

Mäter E_e [W/m^2],

(känsligheten följer aktionskurvan)

Exempel

- Lysrör, $\lambda = 254 \text{ nm}$, $S_\lambda = 0,5$



Stråldos: $t \cdot E_e \cdot S_\lambda \leq 30 \text{ J/m}^2 \rightarrow t_{\text{max}} = 22 \text{ s}$

Exempel

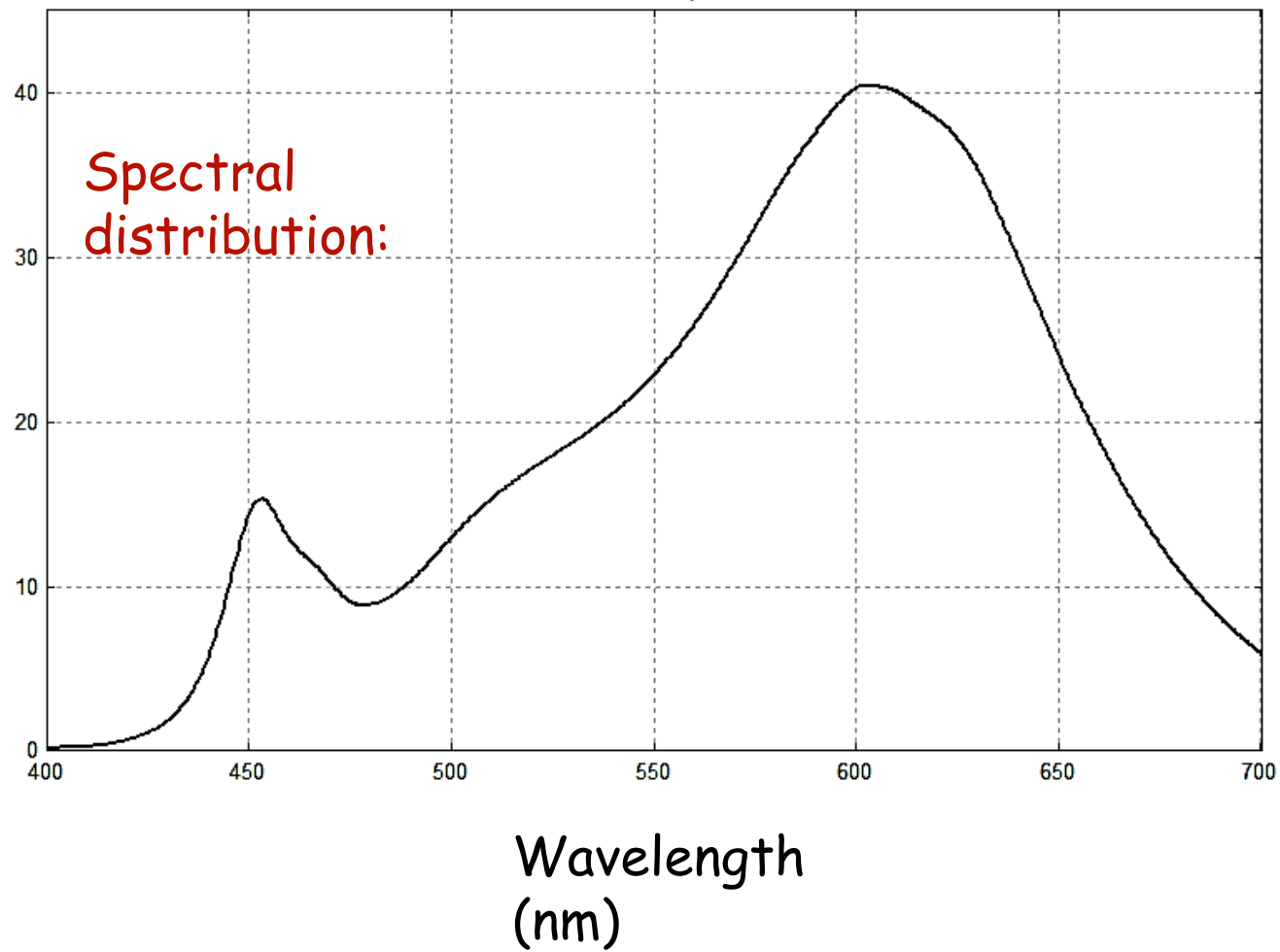
- Laserpekare 1000 mW, 452 nm
Maximalt Tillåten Exponering (MTE)

Termisk skada näthinna:
gränsvärdet överskrids 1000x
vid blinkreflex på 0,1 s

Termisk skada hud:
säker exponering 0,2 s



LED lamp (2700 K)



Del II: Strålningskällor och Strålskydd

- Solstrålning
- UV-källor
- Ljuskällor
- IR-källor
- Lasrar
- Laserskydd
- Skyddsglasögon

Svartkroppsstrålare

- Om man värmer upp en svart kropp så börjar den avge elektromagnetisk strålning.
- Ju varmare kroppen är desto mer förskjuts strålningen mot kortare våglängder.

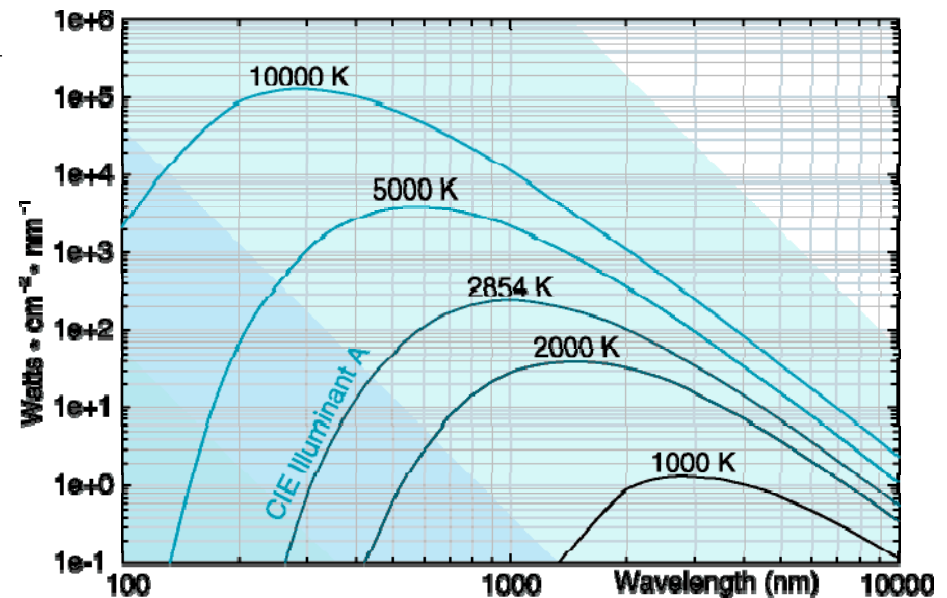


Fig. 5.1 Blackbody radiation at several color temperatures.

Den lyser!

Svartkroppsstrålare

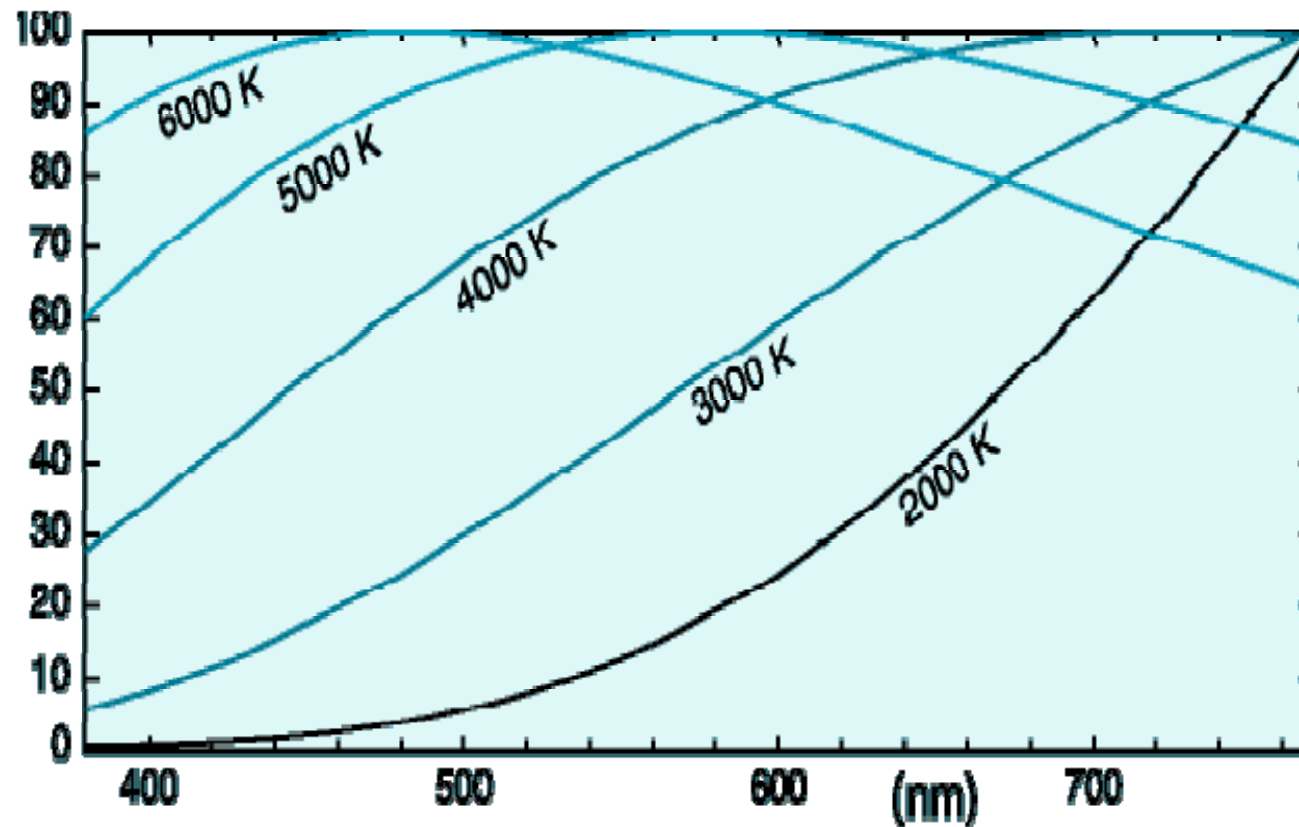
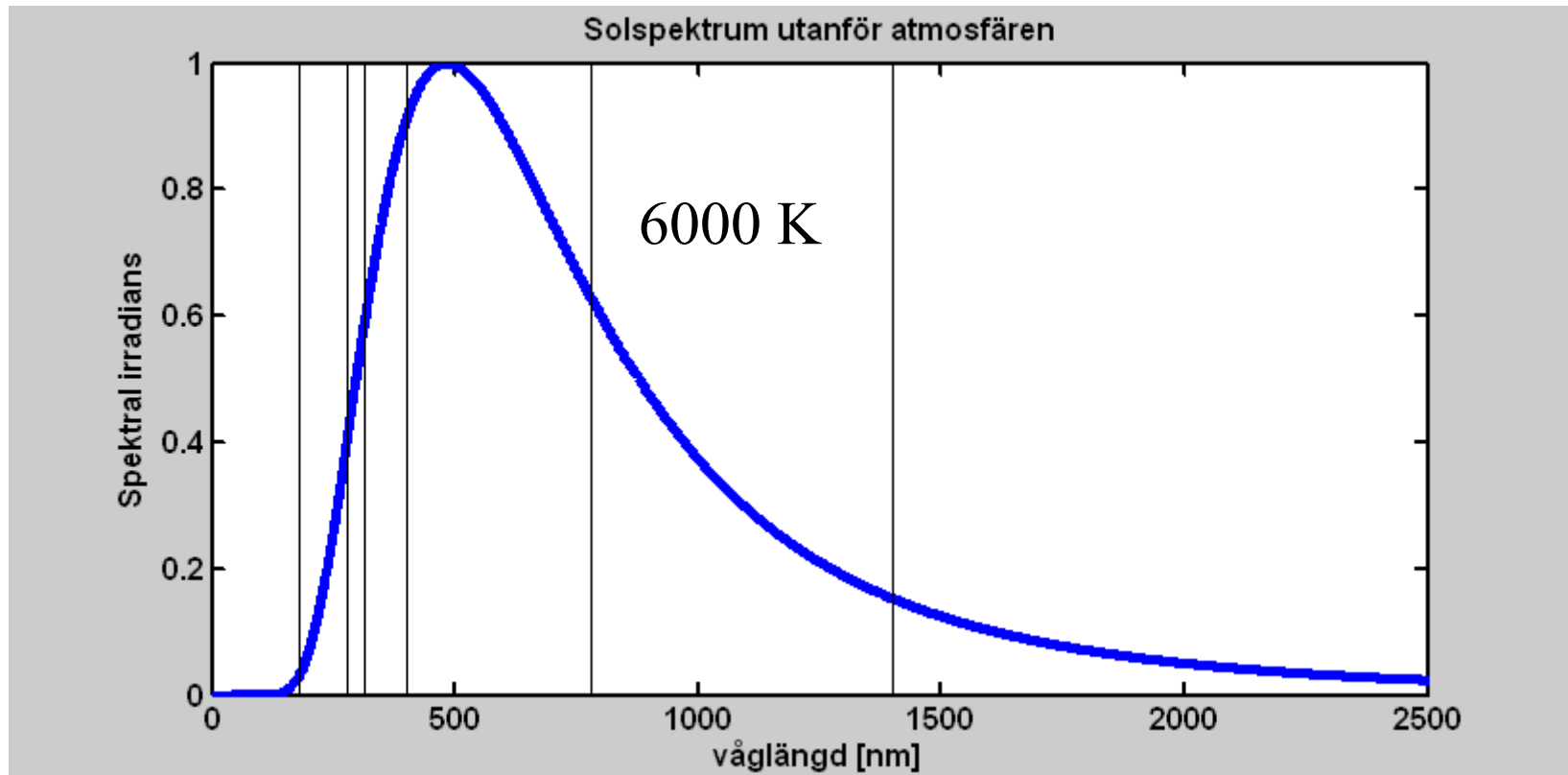
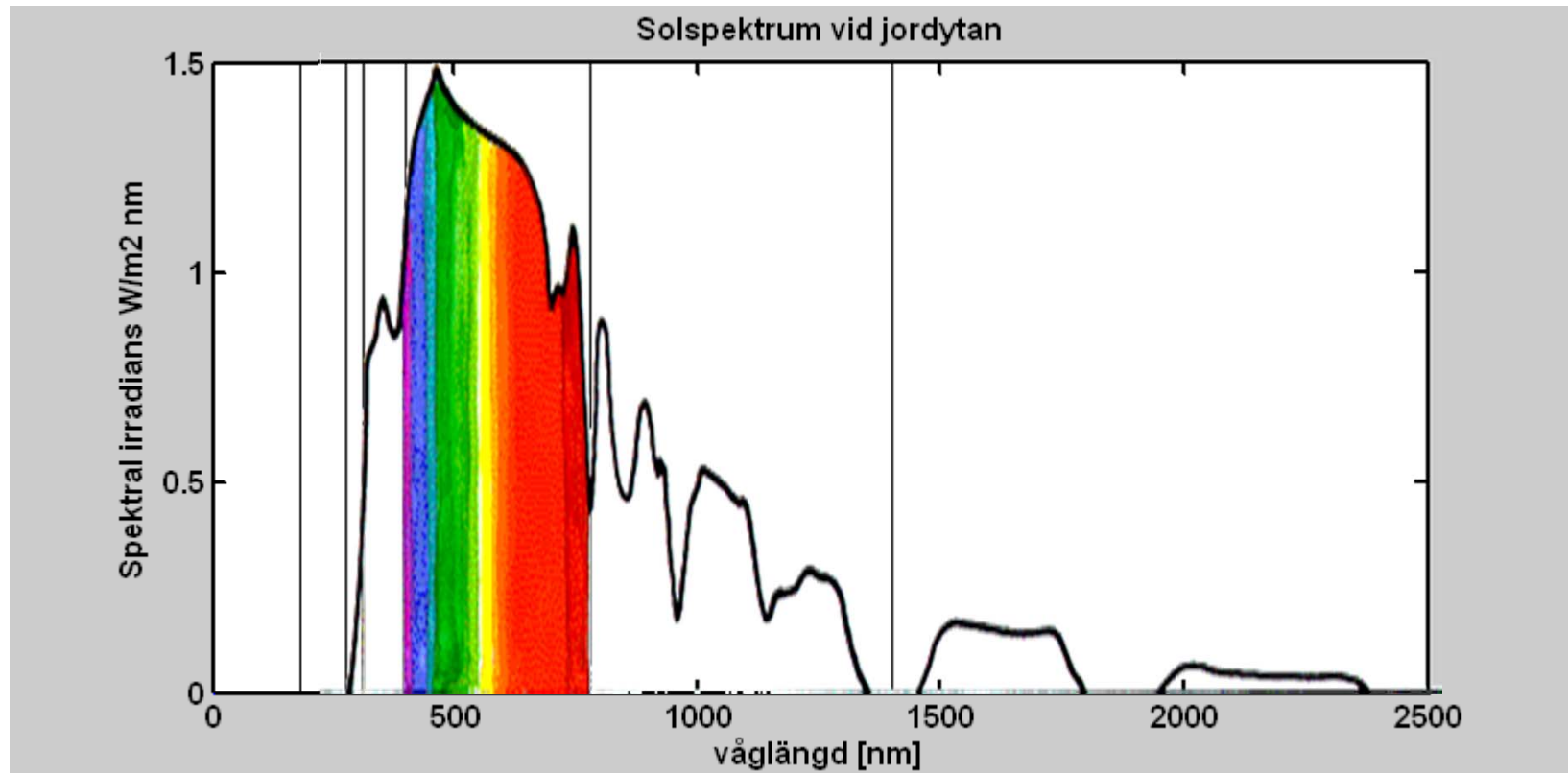


Fig. 5.2 Blackbody radiation plotted on a linear scale in the visible.

Solspektrum utanför atmosfären



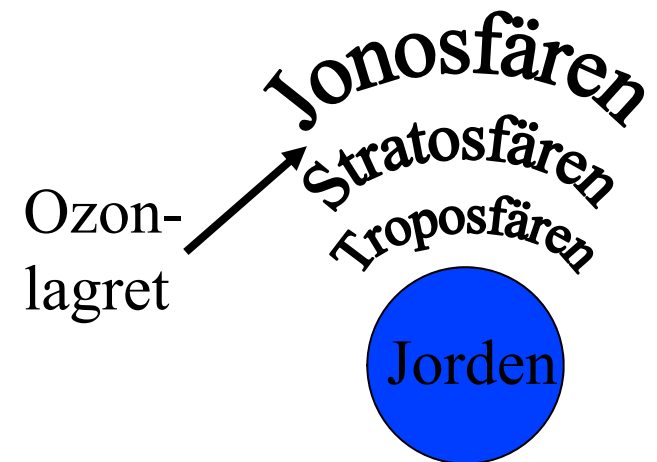
Solspektrum vid jordytan



Solspektrum vid jordytan

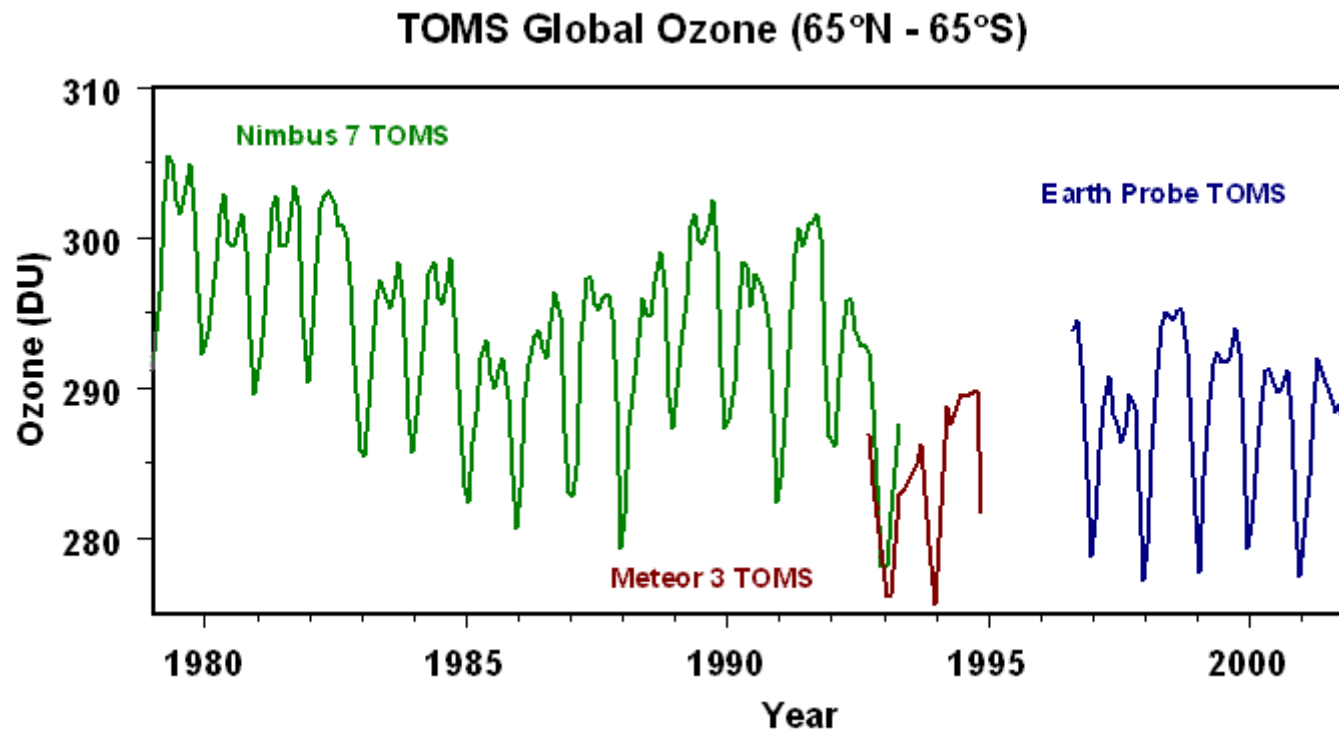
- UVC absorberas högt upp i atmosfären
- Det mesta av UVB absorberas i ozonlagret

Strålslag	Andel
UVB	0,4%
UVA	5%
Synligt	56%
IR(A)	38,6%

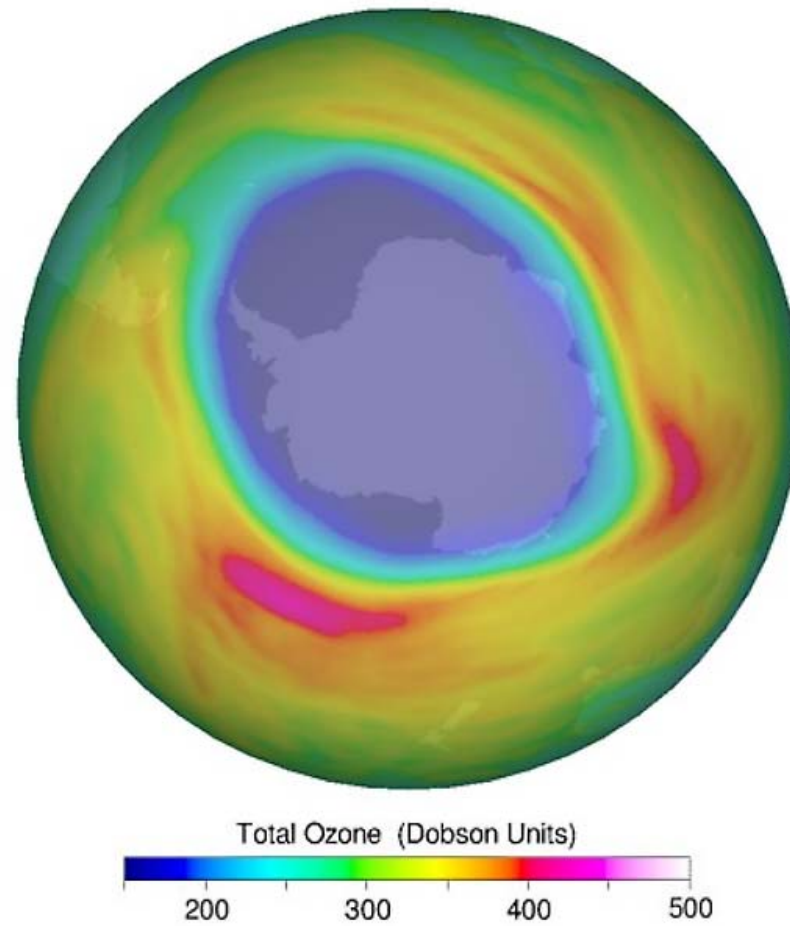


Ozonlagret

- $3 \text{ O}_2 + \text{UV foton} = 2 \text{ O}_2 + \text{O} + \text{O} = 2 \text{ O}_3$
(En kloratom (från freon) kan katalysera 10 000 – 100 000 ozonmolekyler)



Ozonhål 2020



<https://www.smhi.se/nyhetsarkiv/aterigen-stort-ozonhal-over-antarktis-1.164531>

UV-index

SMHI + Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM)

- Skala 0 – 16+
- Från aktionsspektrum för UV-skada.
(UV-index 1 $\Leftrightarrow$ 25 mW/m²)
- Beror på: Solhöjd, molnighet, ozonlagret, markytans reflektion, höjd över havet.

UV styrka	Låg	Medelhög	Hög	Mkt hög	Extrem
UV-index	1 – 2	3 – 5	6 – 7	8 – 10	≥ 11
Säker soltid (hudtyp 2)	1:40-3:30 tim	40-60 min	30-35 min	20-25 min	10–15 min

Hudtyp 1: Alltid röd, aldrig brun

Hudtyp 2: Alltid röd, ibland brun

Hudtyp 5: Aldrig röd, alltid brun

Hudtyp 3: Ibland röd, alltid brun

Hudtyp 4: Sällan röd, alltid brun

Hudtyp 6: Aldrig röd, alltid brun

UV-index

SMHI + Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM)

- De flesta ytor (ex. vattenyta) reflekterar UV dåligt
- Snö reflekterar mycket UV (90%)
- UV tränger igenom vatten (50% vid 0,5 m)
- Mycket UV kommer från den blå himlen (50%)

<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/uv-stralning/2.2577>

<http://sv.ilmatieteenlaitos.fi/uv-index>

Googla "Beräkna Min Soltid" (SSM)

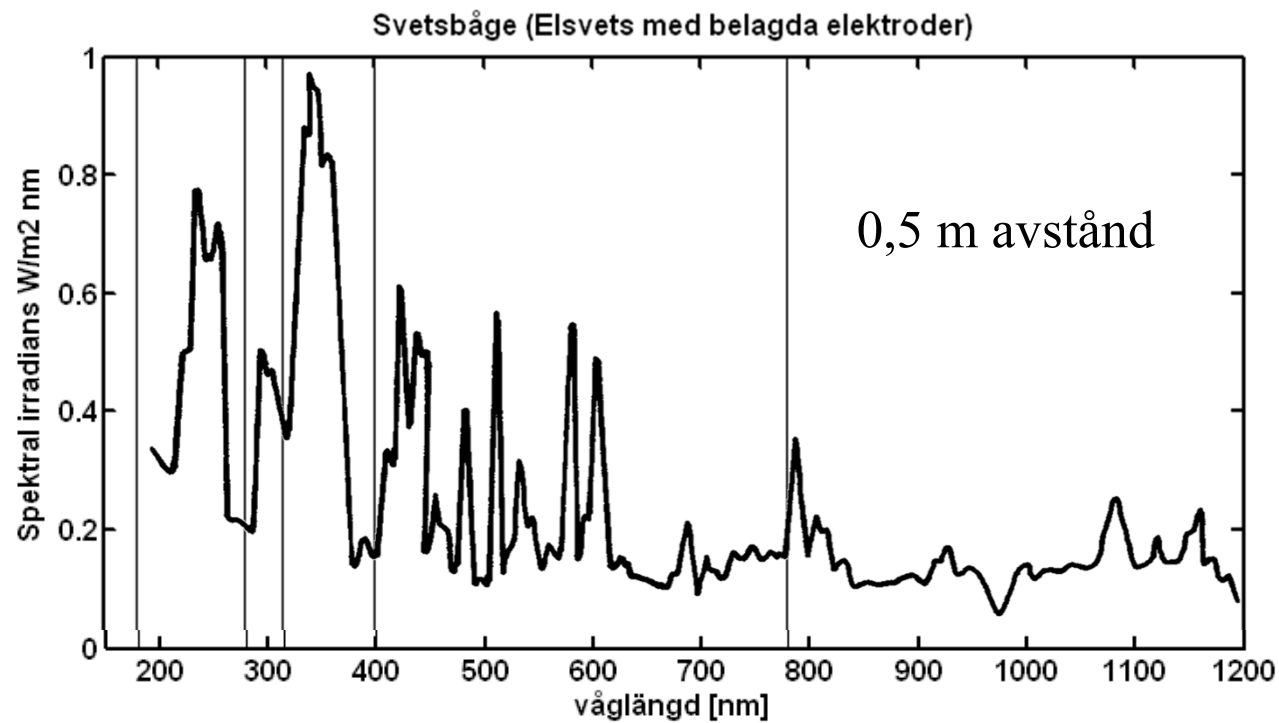
UV-källor

- Behandling av psoriasis (UVB) eller (UVA + psoralen)
- Vattenrening, desinficering (UVC, 254 nm)
- Härdning av plast och lim
- Radering av EPROM
- Fotografiska processer



UV-källor

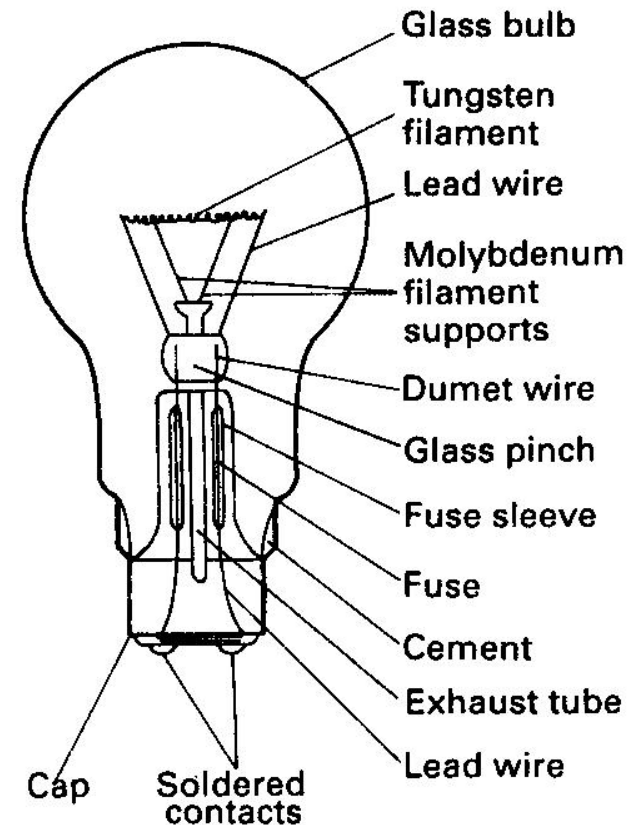
- Svetsbåge (UVC, UVB, UVA, Synligt)



Ljuskällor

Glödlampa

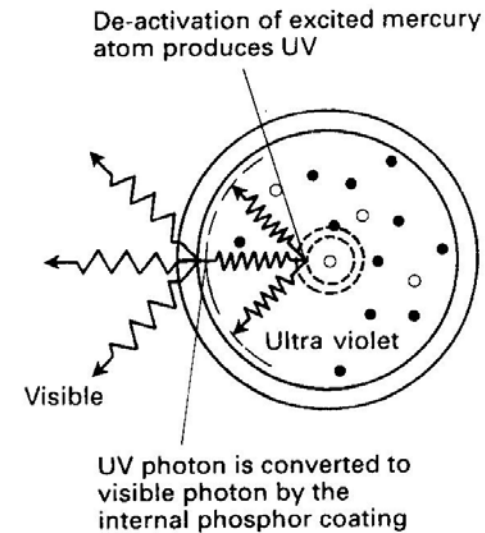
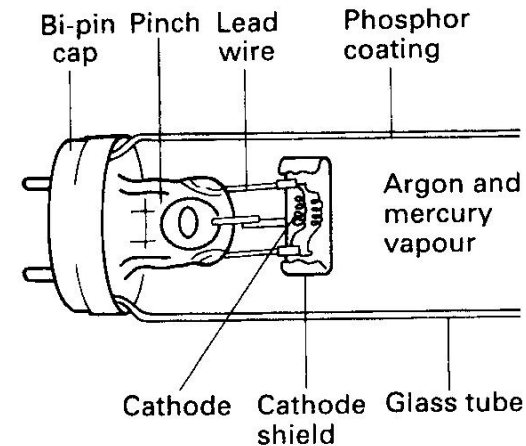
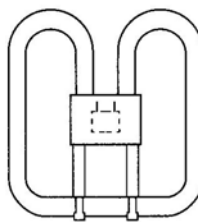
- Glödande wolframtråd
- Temperatur 2500 K
- Svartkroppsstrålare
- Matt lampa ofarlig
- Halogenlampor kan ge brännskador på näth.



Ljuskällor

Lysrörslampor

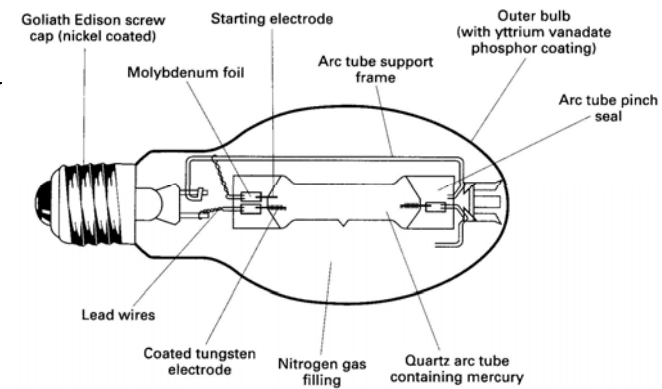
- Ström av elektroner genom kvicksilvergas med lågt tryck ger UV 254 nm (UVC) och synliga linjer.
- Fosforskikt ger ljus av UV



Ljuskällor

Kvicksilverlampor

- Kvicksilver högt tryck ger UV 365 nm och betydande andel synligt ljus.
- Fosforskikt ger ljus av UV
- Hög radians. Kan ge brännskador på näthinnan.
- Trasig lampa kan ge UV strålning.



IR-källor

Svartkroppstrålare

- Glasbruk
- Stålverk
- Valsverk
- Aktionskurva för IRA och katarakt saknas.

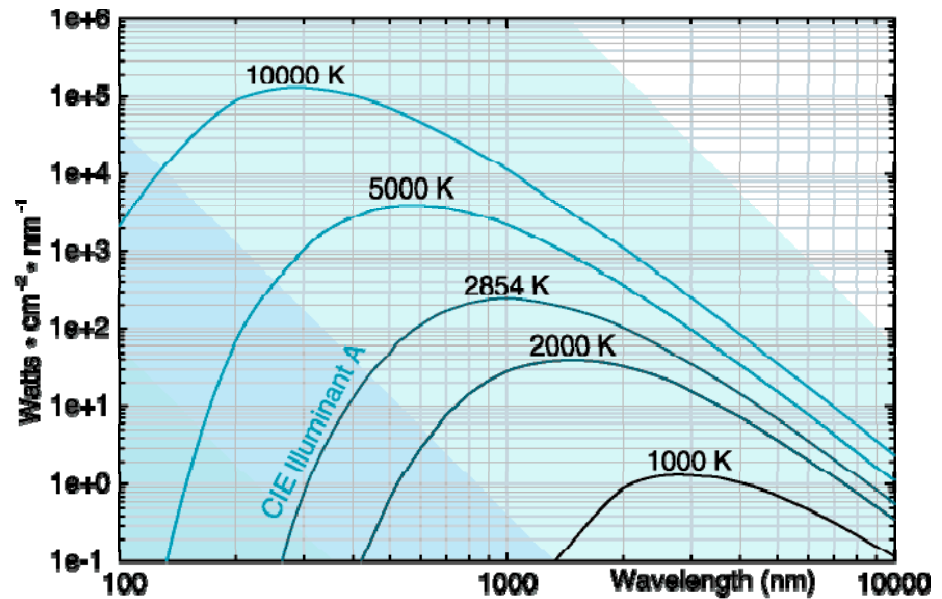
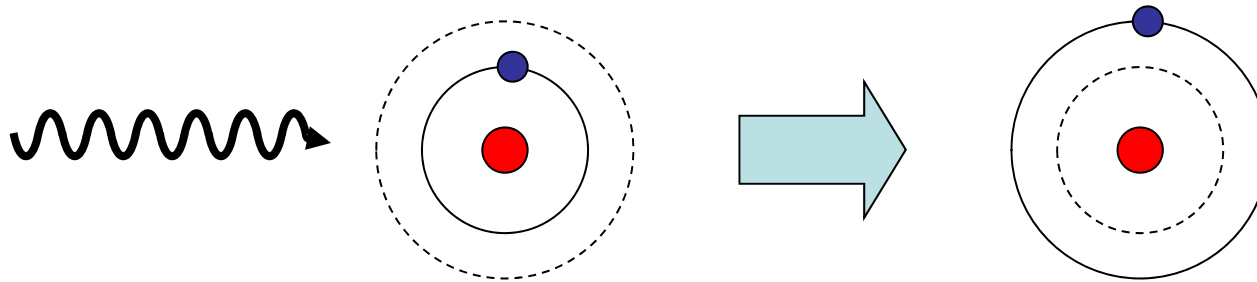


Fig. 5.1 Blackbody radiation at several color temperatures.

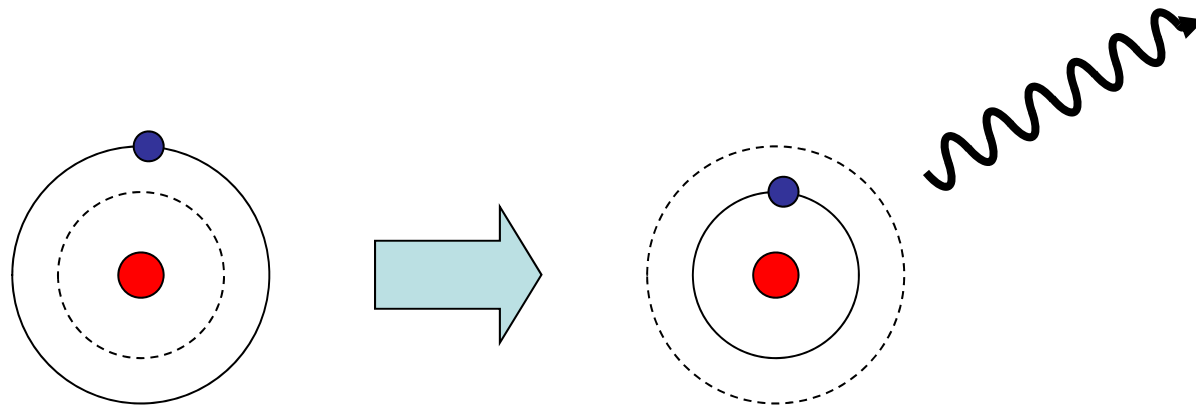
LASER

- Absorbption



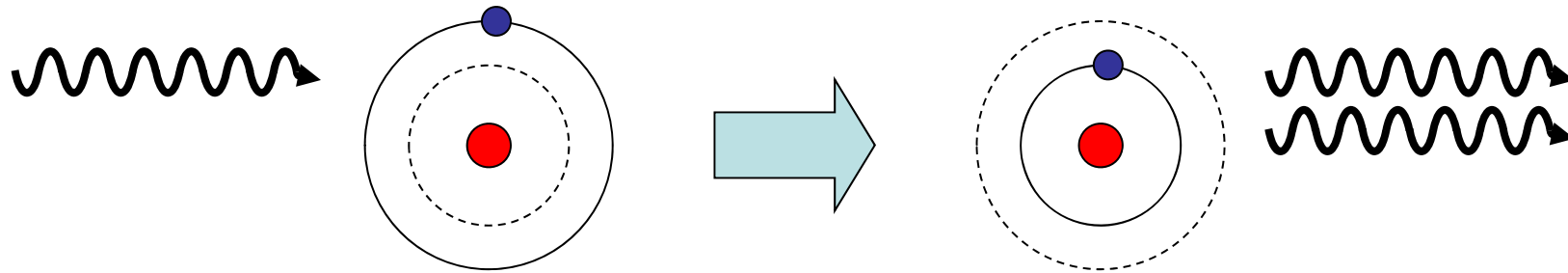
LASER

- Spontaneous emission

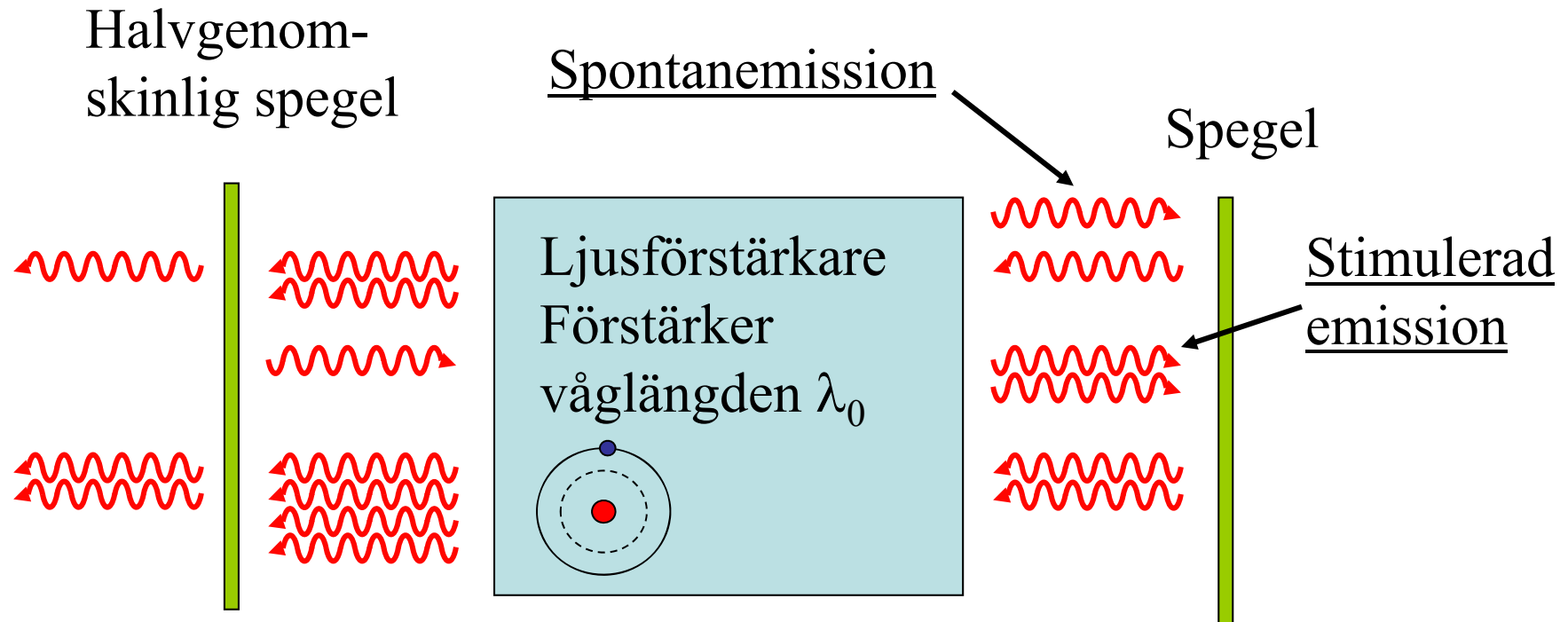


LASER

- Stimulated emission



LASER



- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- Välbestämd riktning på ljuset
- Monokromatiskt ljus (en våglängd)

LASER

- Helium-Neon, $\lambda_0 = 632.8 \text{ nm}$.
- Argonjonlaser, $\lambda_0 = 488.0 \text{ nm}, 514.5 \text{ nm}$
- Nd:YAG-laser, $\lambda_0 = 1064 \text{ nm}$ (IRA)
- Frekvensdubblad Nd:YAG-laser, $\lambda_0 = 532 \text{ nm}$
- Excimerlaser $\lambda_0 = 193 \text{ nm}$ (UVC)
- Koldioxidlaser $\lambda_0 = 10,6 \text{ }\mu\text{m}$ (IRC)

Både kontinuerliga och pulsade lasrar

LASER - faror

- Parallell stråle fokuseras till näthinnan (hög radians).
- Kraftiga lasrar ger hög irradians.
- Pulsade lasrar kan ge extremt hög irradians.
- IR-Lasrar extra farliga eftersom man inte ser strålen.

Laserskydd

- MTE (Maximalt Tillåten Exponering)
- Skydd mot reflexer
- Avskärmning
- Laserskyddsglasögon
- Hög allmänbelysning?
- Regler för användning (www.ssm.se)

Laserklasser

- Klass 1 (ofarliga $< 0,4 \text{ mW}$)
- Klass 1M (ofarliga för obeväpnat öga/hud)
- Klass 2 (Synliga. Blinkreflex skyddar $< 1 \text{ mW}$)
- Klass 2M (motsv. 2 för obeväpnat öga)
- Klass 3R (3A) (Ger i ”praktiken” inga skador $< 5 \text{ mW}$)
- Klass 3B (Reflex i matt yta ofarlig $< 500 \text{ mW}$)
- Klass 4 <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se>

Skyddsglasögon UV

- Alla optiska material absorberar tillräckligt korta våglängder.
- Vanliga skyddsglas för mekaniskt skydd fungerar även som UV-skydd.

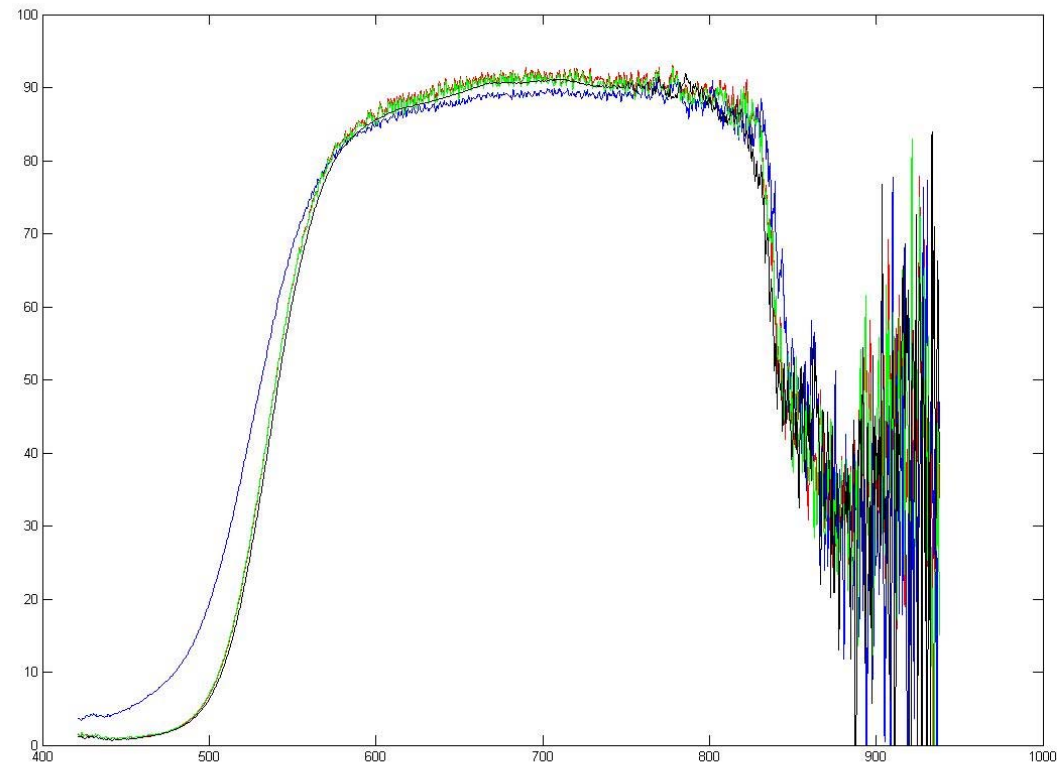
Material	Absorptionskant
Kronglas	< 300 nm
CR39	< 350 nm
Polykarbonat	< 380 nm

Skyddsglasögon blåljus

- Tillsatser av färgämnen till materialet kan flytta absorptionskanten till valfri våglängd
- Gulfilter tar bort det blå ljuset.
(Ex: < 500 nm gult)
- Exempel: tandläkare, AMD-patienter

Skyddsglasögon blåljus

- Gulfilterglas (orange) vid AMD, CR39 511 nm



Skyddsglasögon synligt ljus

- Tunt skikt av silver eller aluminium ger neutralt filter (reflektion).
- Neutrala infärgningar (absorbktion).
- Skydd mot specifika våglängder (Laser).
- Elektrooptiska filter med flytande kristaller (Svetsning).

Skyddsglasögon IR

- Betydligt svårare att blockera IR och samtidigt släppa igenom synligt.
- Guldskikt ger transmissionstopp i grönt och visst skydd mot IR (reflektion).
- KG3 (Schott) (absorbktion).

Solglasögon

- Princip:
UV-skydd i materialet
Gulfärgning för blåjusskydd (ej bilkörning)
Neutralt filter eller polarisationsfilter för
dämpning
- Standard föreskriver UV-skydd vilket är lätt att
uppfylla även i billiga solglasögon
- UV-blockerande kontaktlinser