

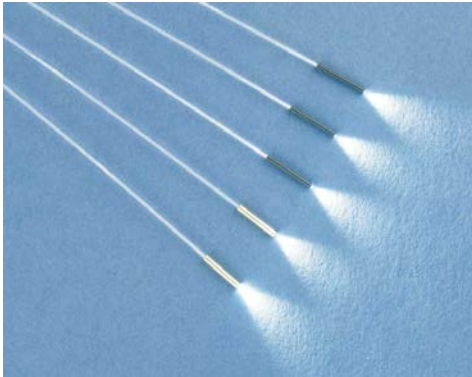


LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

F10 Fiberoptik och ljuskällor



Dagens föreläsning – Fotonik



- F9 – Vågledare och optiska fiber
 - F10 – Fiberoptik och ljuskällor
 - F11 – Lasern och detektorer
 - F12 – Fiberoptiska system
-
- Sammankoppling av optiska fibrer
 - Förluster och dispersion i optiska fibrer
 - Ljuskällor



Exempeluppgifter

1. En fiber har numerisk apertur 0,12 och brytningsindex 1,4 (kvarts). Kärnans diameter är $7\text{ }\mu\text{m}$.

a) Är den en singelmod fiber för ljus med våglängden 800 nm ?

b) Är den en singelmod fiber för ljus med våglängden 1500 nm ?

2. En fiber har numerisk apertur 0,3 och brytningsindex 1,4 (kvarts). Kärnans diameter är $62,5\text{ }\mu\text{m}$. Hur många moder kan propagera i fibern vid våglängden 1500 nm ?



Sammankoppling av optiska fibrer

Vad behöver man tänka på?

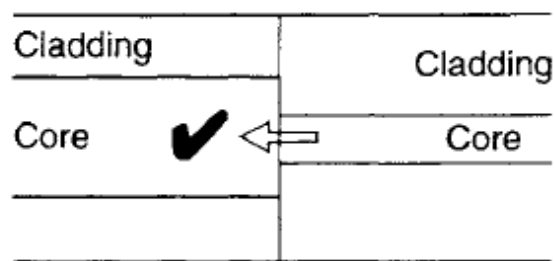
- Välj kompatibla fibertyper
- Kontakt mellan fibrernas kärnor
- Korrekt linjering



Matchning av kärndiametern

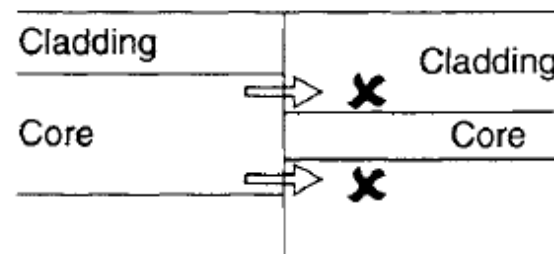
Kompatibla fiber

Mindre till större



Small core to large core – no losses

Större till mindre



Some light cannot enter the core

$$\text{Förlust: } L_d = -10 \log \left(\frac{d_{k,2}}{d_{k,1}} \right)^2$$

Gäller endast då $d_{k,2} < d_{k,1}$



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

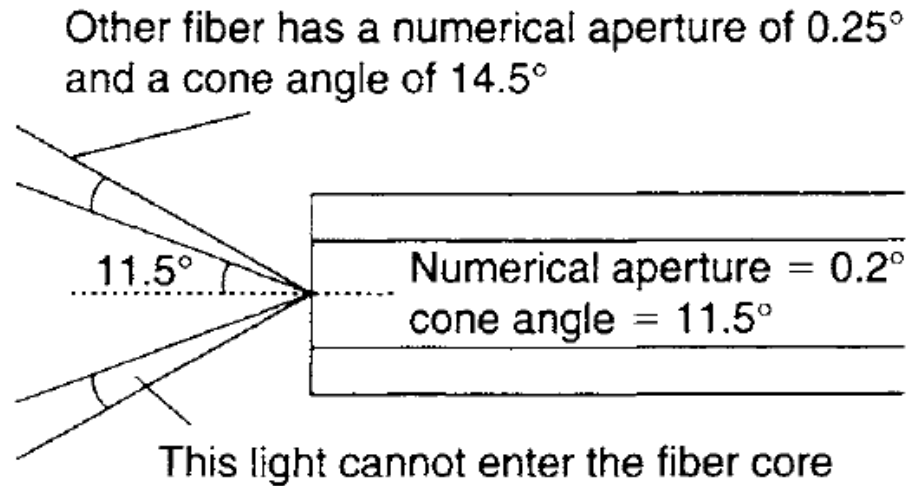
Launch fiber core size (μm)

Receive fiber core size (μm)	Launch fiber core size (μm)		
	9	50	62.5
9	0	14.8 dB	16.8 dB
50	0	0	1.9 dB
62.5	0	0	0

Losses can be high

Matching av numerisk apertur

Kompatibla fiber



$$\text{Förlust: } L_{NA} = -10 \log \left(\frac{NA_2}{NA_1} \right)^2$$

Gäller endast då $NA_2 < NA_1$

		Launch fiber NA		
		0.1	0.2	0.275
Receive fiber NA	0.1	0	6 dB	0.36 dB
	0.2	0	0	2.8 dB
	0.275	0	0	0

Example losses



Exempeluppgift

Fiberkompabilitet

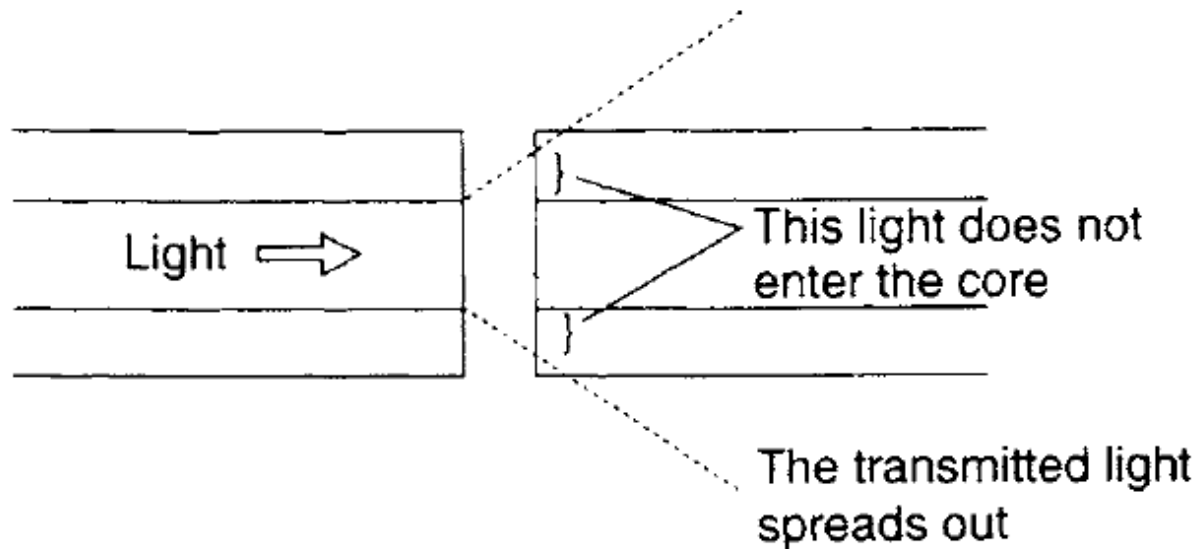
Du kopplar ihop två fibrer av märkena ITT och Quartz & Silice enligt tabellen nedan. Vad blir förlusterna i skarven då du skickar ljus i de båda riktningarna? Du får försumma förluster på grund av reflektion i ändytorna.

Manufacturer	ITT	Ericsson	Quartz & Silice
Type	Step-index	Step-index	Step-index
Core/cladding diam. μm	100/140	100/140	600/780
Material	quartz/quartz	glass/glass	quartz/plastic
Outer diameter mm	2,5	0,3	1,1
$\alpha(850 \text{ nm}) \text{ dB/km}$	10	15	12
Bandwidth MHz·km	15	15	9
Numerical aperture	0,27	0,31	0,40



Kontakt mellan fiberkärnor

Gap loss



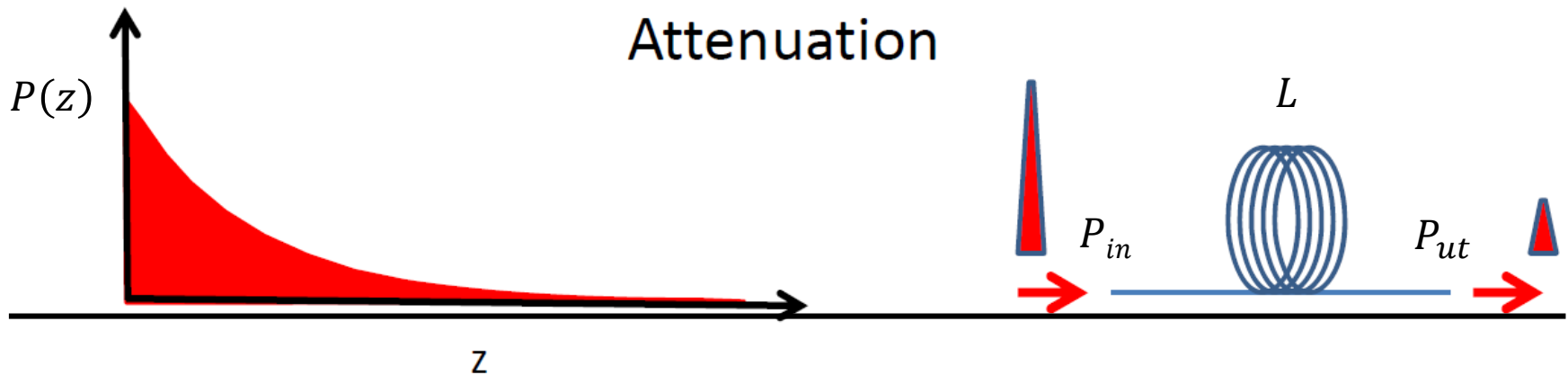
- Kan reduceras med indexmatchande gel vilket också reducerar reflektioner



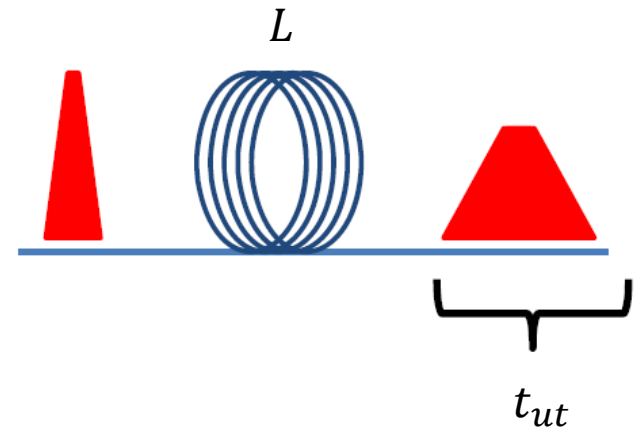
Förluster och dispersion

Kvalitetsfaktorer

- **Förluster** (dämpning)



- **Dispersion** (pulsbreddning)
 - Minskar den effektiva bandbredden



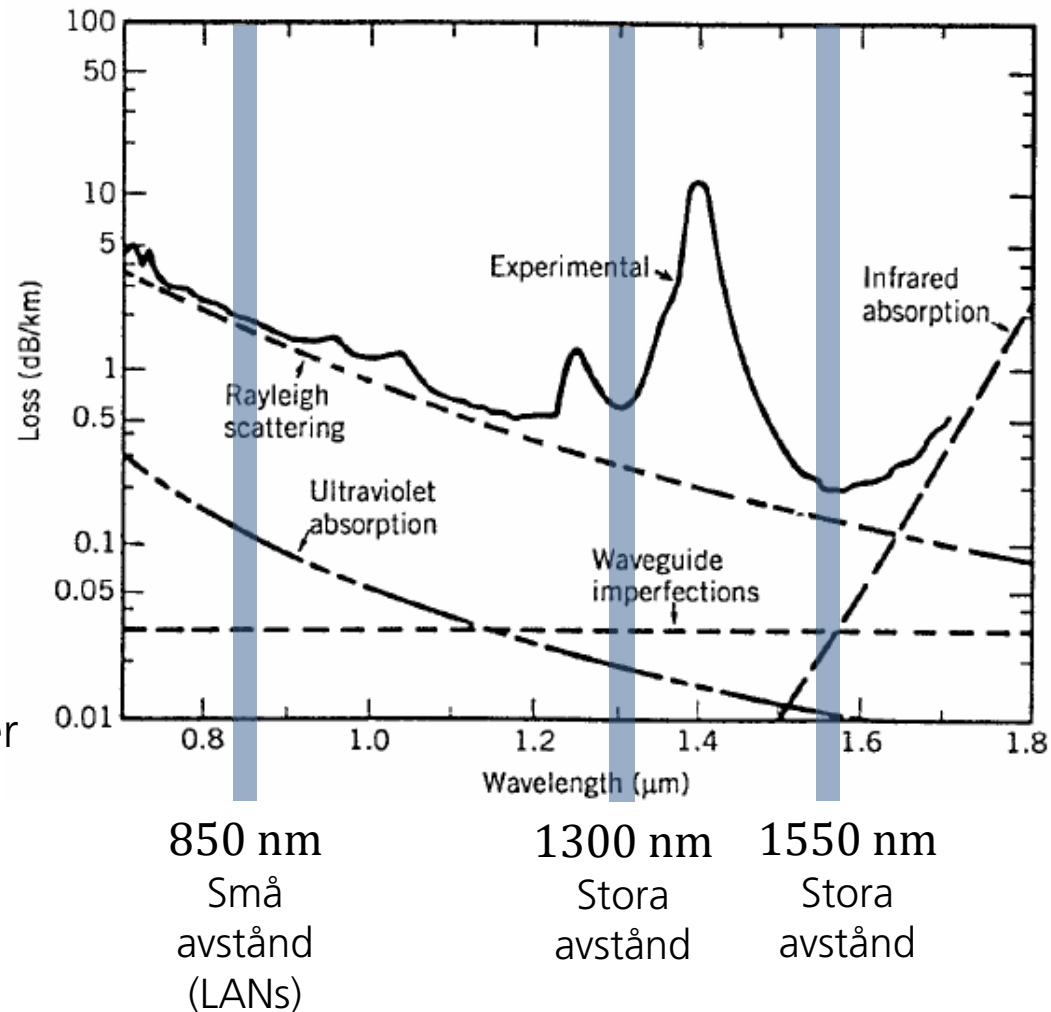
Förluster

Dämpningskoefficienten

$$\alpha = -\frac{1}{L} 10 \log \left(\frac{P_{ut}}{P_{in}} \right)$$

Enhet: dB/km

- **Absorption**
 - Elektroniska övergångar (UV)
 - Vibrationsövergångar (IR)
 - Föroreningar, t. ex. vatten
- **Spridning**
 - Rayleighspridning p.g.a. oregelbundenheter
 - Dominerar för korta våglängder
- **Mekanisk påverkan (böjning)**



Typiska parametrar

Förluster

Core/Cladding	Attenuation	Bandwidth	Applications/Notes
Multimode Graded-Index			
	@850/1300 nm	@850/1300 nm	
50/125 microns	3/1 dB/km	500/500 MHz-km	Laser-rated for GbE LANs
50/125 microns	3/1 dB/km	2000/500 MHz-km	Optimized for 850 nm VCSELs
62.5/125 microns	3/1 dB/km	160/500 MHz-km	Most common LAN fiber
100/140 microns	3/1 dB/km	150/300 MHz-km	Obsolete
Single mode			
	@1310/1550 nm		
8-9/125 microns	0.4/0.25 dB/km	HIGH! ~100 Terahertz	Telco/CATV/long high speed LANs
Multimode Step-Index			
	@850 nm	@850 nm	
200/240 microns	4-6 dB/km	50 MHz-km	Slow LANs & links
POF (plastic optical fiber)			
	@ 650 nm	@ 650 nm	
1 mm	~ 1 dB/m	~5 MHz-km	Short Links & Cars, TOSLINK



Exempeluppgift

I specifikationerna för en multimodfiber anges:

$$\alpha = 3 \text{ dB/km @ } 850 \text{ nm}$$

$$\alpha = 1 \text{ dB/km @ } 1300 \text{ nm}$$

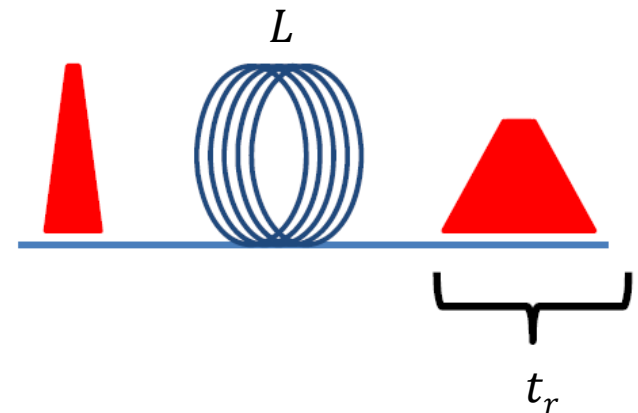
Om du skickar lasereffekten 2 mW in i fibern och på andra sidan har en detektor som kräver minst 0,1 mW lasereffekt för att fungera, hur mycket längre kan du skicka en signal vid våglängden 1300 nm än vid våglängden 850 nm? Försumma reflektionsförlusterna vid in- och utkoppling.



Dispersion

- En puls som skickas genom en fiber breddas av olika anledningar:
 - Moddispersion
 - Materialdispersion
 - Vågledardispersion

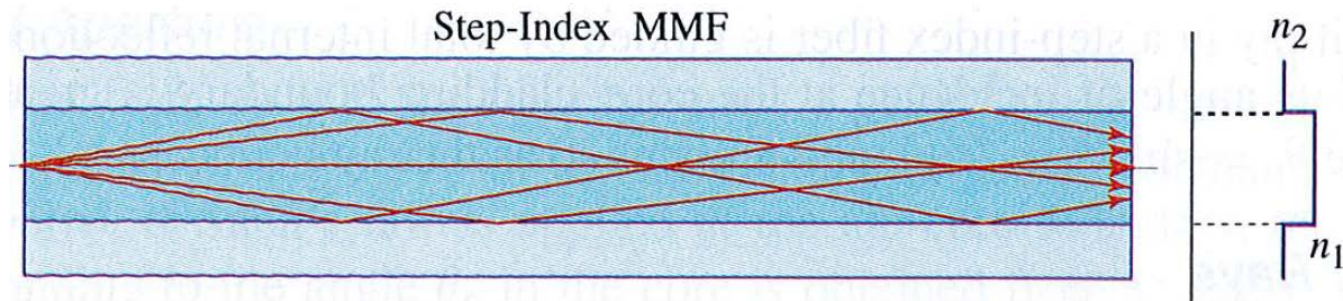
} Kromatisk dispersion (beror på ljusets frekvensbredd)
- Detta påverkar bandbredden: $f_{BW} = \frac{0,35}{t_r}$
 - f_{BW} - Bandbredd (Hz)
 - t_r - Stigtid/svarstid (s)



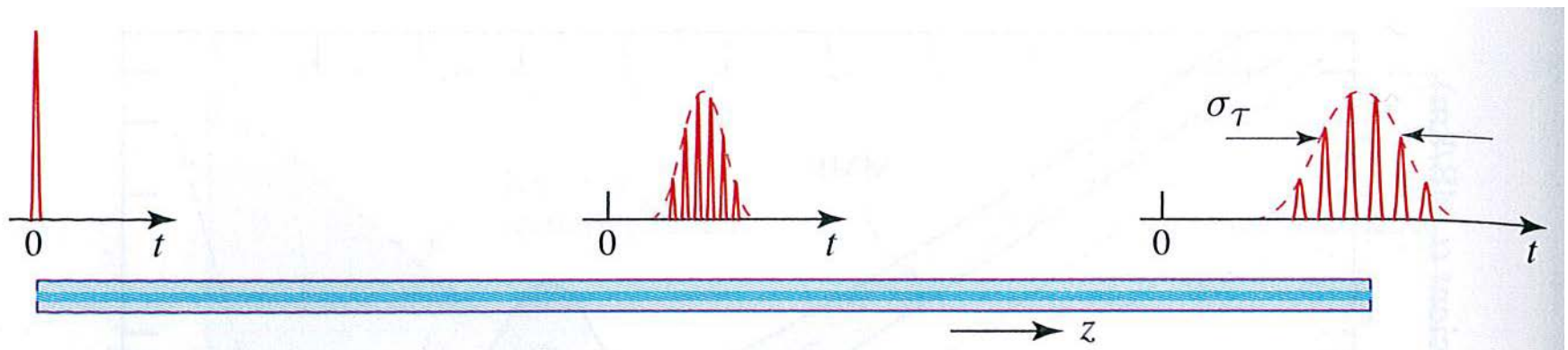
Moddispersion

Multimodfiber

- Olika moder har olika hastighet på grund av olika gångväg genom kärnan



- Kom ihåg (för två speglar): $v_m = c \cdot \cos \theta_m$



Typiska parametrar

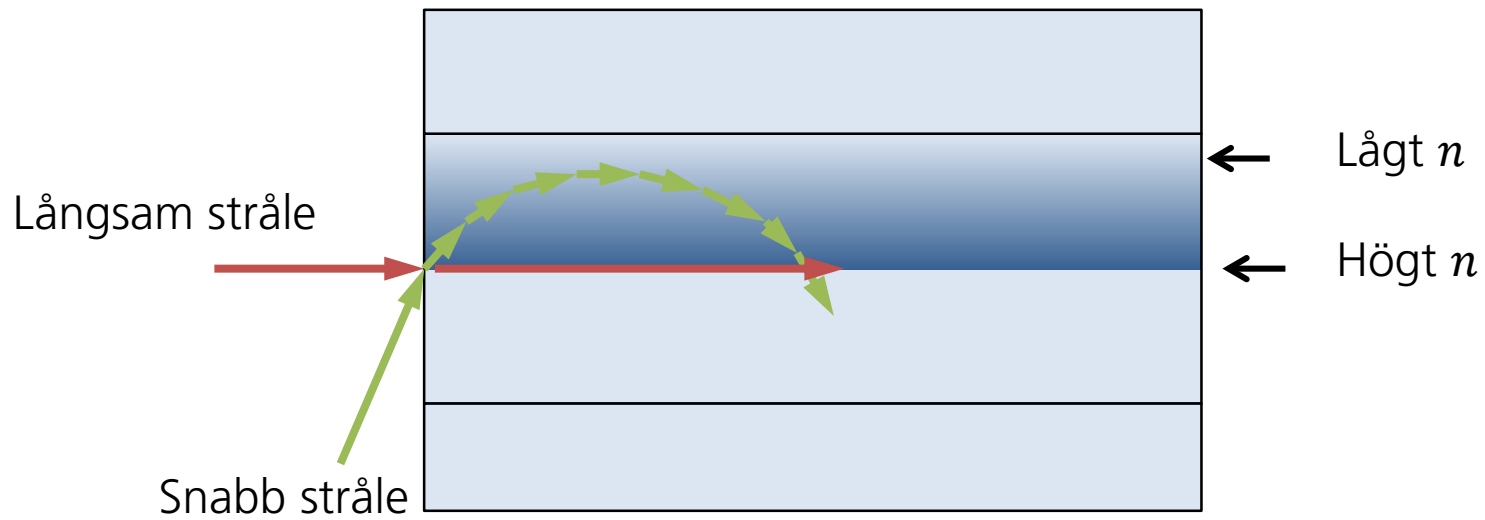
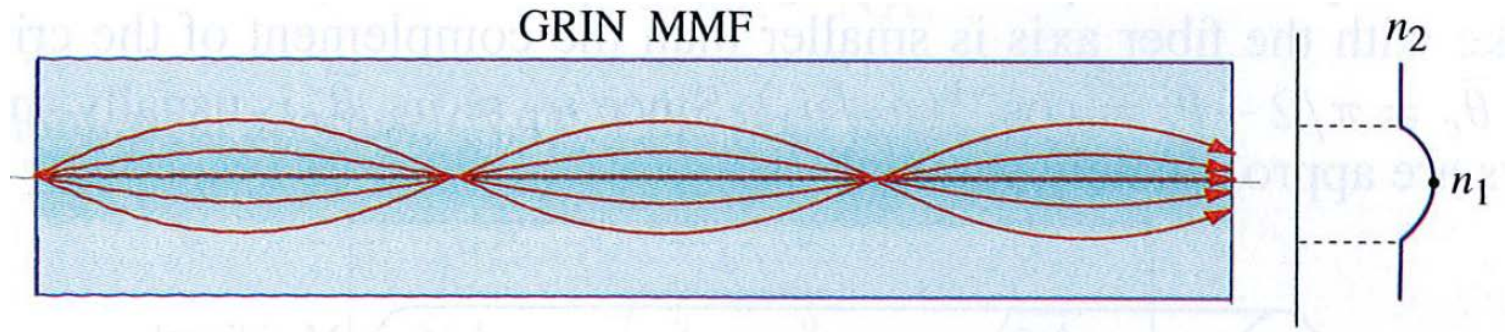
Bandbredd

Core/Cladding	Attenuation	Bandwidth	Applications/Notes
Multimode Graded-Index			
	@850/1300 nm	@850/1300 nm	
50/125 microns	3/1 dB/km	500/500 MHz-km	Laser-rated for GbE LANs
50/125 microns	3/1 dB/km	2000/500 MHz-km	Optimized for 850 nm VCSELs
62.5/125 microns	3/1 dB/km	160/500 MHz-km	Most common LAN fiber
100/140 microns	3/1 dB/km	150/300 MHz-km	Obsolete
Single mode			
	@1310/1550 nm		
8-9/125 microns	0.4/0.25 dB/km	HIGH! ~100 Terahertz	Telco/CATV/long high speed LANs
Multimode Step-Index			
	@850 nm	@850 nm	
200/240 microns	4-6 dB/km	50 MHz-km	Slow LANs & links
POF (plastic optical fiber)			
	@ 650 nm	@ 650 nm	
1 mm	~ 1 dB/m	~5 MHz-km	Short Links & Cars, TOSLINK



Gradientindex (GRIN) fiber

Motverkar moddispersion

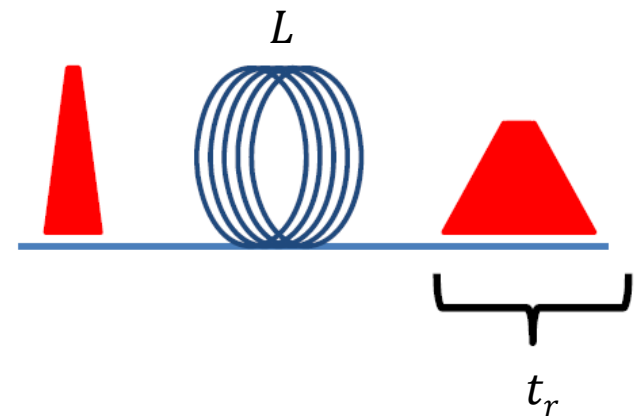


Exempeluppgift

I specifikationerna för en multimodfiber anges att bandbredden vid 850 nm är 50 MHz·km.

- a) Vad blir den effektiva bandbredden för en fiber som är 1 km respektive 10 km lång?
- b) För samma fiberlängder, vad är svarstiden?

För en viss GRIN-fiber anges bandbredden till 2000 MHz·km vid 850 nm. Vad ger motsvarande uträkningar för denna?

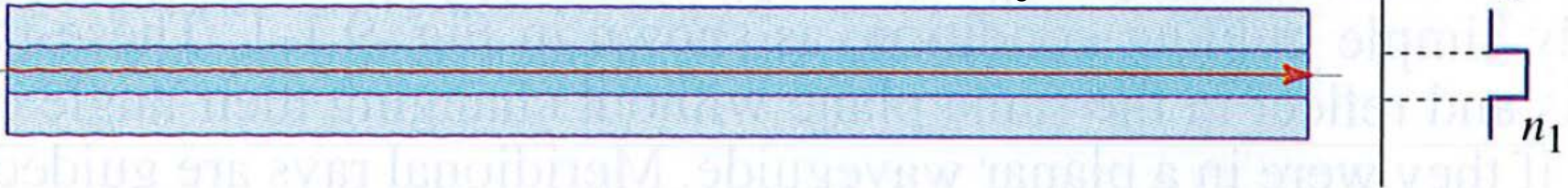


Singelmodfiber

- Ingen moddispersion
- Används i princip uteslutande för långdistanskommunikation

$$V = \frac{\pi d_k \cdot NA}{\lambda_0} < 2,405$$

SMF

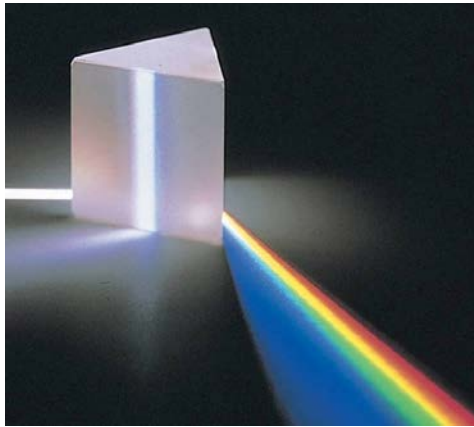


- Men har kromatisk dispersion
 - Materialdispersion
 - Vågledardispersion

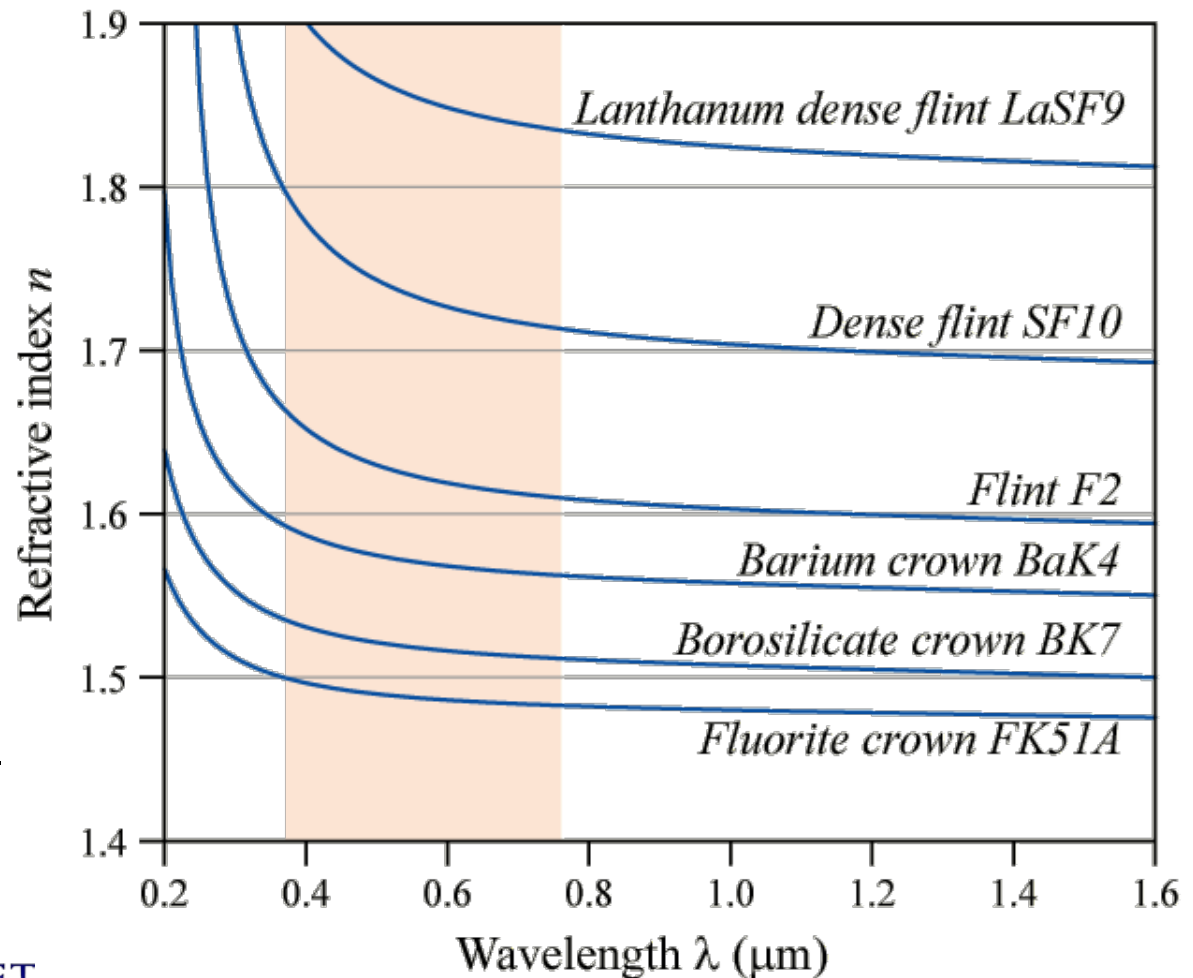


Materialdispersion

Brytningsindex är våglängdsberoende

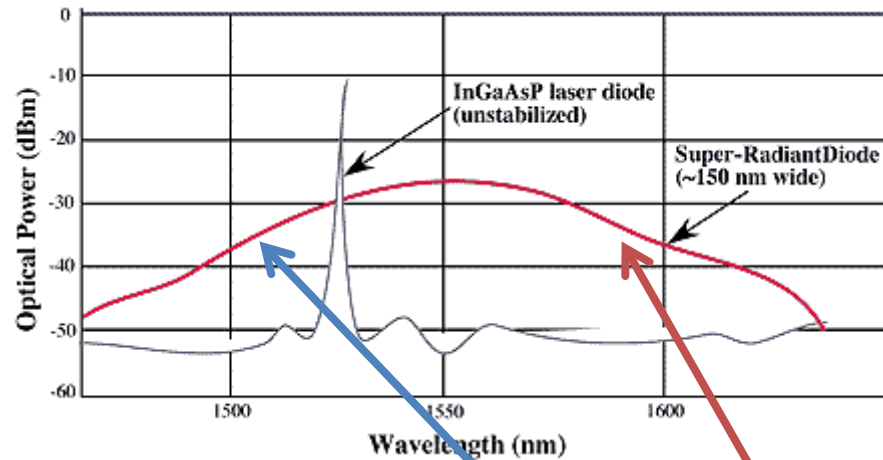


Ljushastigheten: $v = \frac{c}{n}$



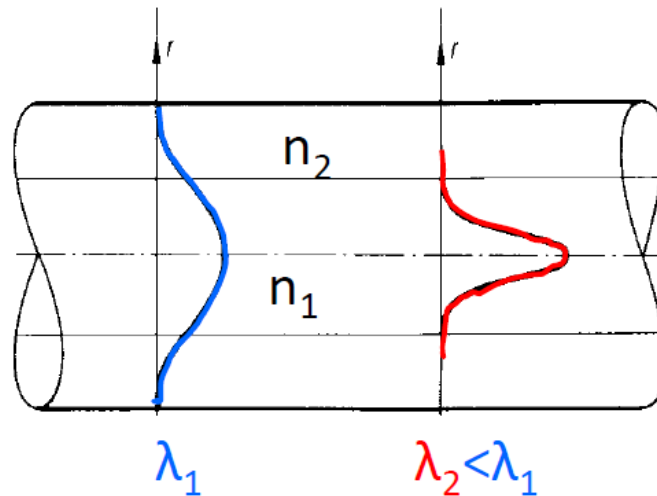
Materialdispersion

Spektrum från laser och LED



Vågledardispersion

- För olika våglängder är grundmoden olika stor
 - Ger skillnader i modhastighet



Kromatisk dispersion

Materialdispersion tillsammans med vågledardispersion

- Kromatiska dispersionen anges med en *dispersionskoefficient*:

D enhet ps/nm·km

- Ger en utdragen puls

$$\tau_{disp} = D \cdot \Delta\lambda \cdot L$$

- Motsvarande en bandbredd

$$f_{BW} = \frac{0,44}{\tau_{disp}}$$



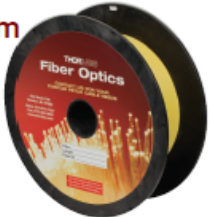
Exempeluppgift

Vi använder en SMF-28-10 singelmodfiber och en laser med en våglängd på 1550 nm samt en spektral bredd på 2 nm.

Vad blir den effektiva bandbredden för en fiber som är 1 km respektive 10 km lång?

THORLABS

Single Mode Fiber:
1260 to 1620 nm



SMF-28-10


Description

Thorlabs' single mode SMF-28e fiber jacketed with 900 μm yellow Hytrel tubing delivers high performance across a broad spectral range in the telecom region, and also features exceptional core / clad concentricity specifications.


Specifications

Geometrical & Mechanical	
Core Diameter	8.2 μm
Cladding Diameter	125 \pm 0.7 μm
Coating Diameter	245 \pm 5 μm
Core-Clad Concentricity	<0.5 μm
Coating-Clad Concentricity	<12 μm
Fiber Curl	\geq 4.0 m Radius of Curvature
Operating Temperature	-60 to 85 $^{\circ}\text{C}$
Proof Test Level (245 coat)	\geq 100 kpsi (0.7 GN/m ²)
Fiber Length	10 meters

Optical	
Numerical Aperture (nominal)	0.14
Attenuation*	0.33 - 0.35 dB/km @ 1310 nm 0.31 - 0.35 dB/km @ 1383 nm** 0.21 - 0.24 dB/km @ 1490 nm 0.19 - 0.20 dB/km @ 1550 nm 0.20 - 0.23 dB/km @ 1625 nm
Operating Wavelength	1260 - 1620 nm
Mode Field Diameter	9.2 \pm 0.4 μm @ 1310 nm 10.4 \pm 0.5 μm @ 1550 nm
Dispersion	\leq 18.0 ps/(nm·km) @ 1550 nm \leq 22.0 ps/(nm·km) @ 1625 nm
Polarization Mode Dispersion, Link Design Value	\leq 0.06 ps//km
Polarization Mode Dispersion, Maximum Individual Fiber	\leq 0.2 ps//km



Dispersion	10.4 \pm 0.5 μm @ 1550 nm \leq 18.0 ps/(nm·km) @ 1550 nm \leq 22.0 ps/(nm·km) @ 1625 nm
Polarization Mode Dispersion	

**LUND UNIVERSITY**
Lunds Tekniska Högskola

France: +33 (0) 970 44 48 44 | South America: +1-973-300-3000 | Europe: +46-31-733-30-00 | Japan & Asia: +81-3-5682-7600
www.thorlabs.com

April 28, 2011
2289-S01, Rev B

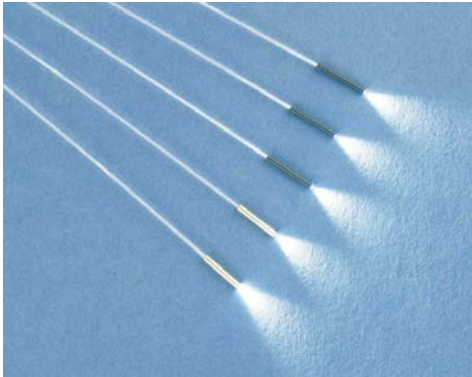
Sammanfattning – Fiberoptik

Fiberoptik

- Numerisk apertur: $NA = \sin \theta_a = \sqrt{n_k^2 - n_m^2}$
- Decibel: $G = 10 \log \left(\frac{P_{ut}}{P_{in}} \right)$, $G > 0$ Förstärkning
 $G < 0$ Dämpning
- Fiberparametern (V-parameter): $V = \frac{\pi d_k}{\lambda_0} \sqrt{n_k^2 - n_m^2} = \frac{\pi d_k}{\lambda_0} \cdot NA$
- Antal moder i en stegindexfiber (för $V \gg 1$): $M \approx \frac{V^2}{2}$
- Kriterium för singelmodfiber: $V < 2,405$
- Bandbredd och stigtid: $f_{BW} = \frac{0,35}{t_r}$
- Dispersion: $\tau_{disp} = D \cdot \Delta\lambda \cdot L$ och $f_{BW} = \frac{0,44}{\tau_{disp}}$



Dagens föreläsning – Fotonik



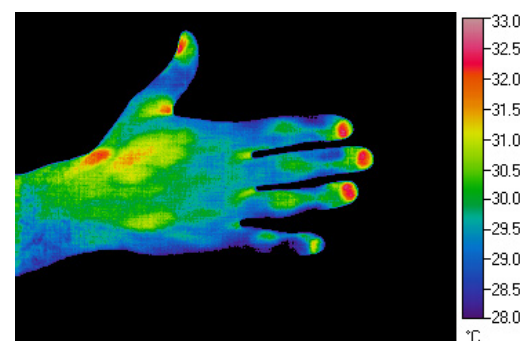
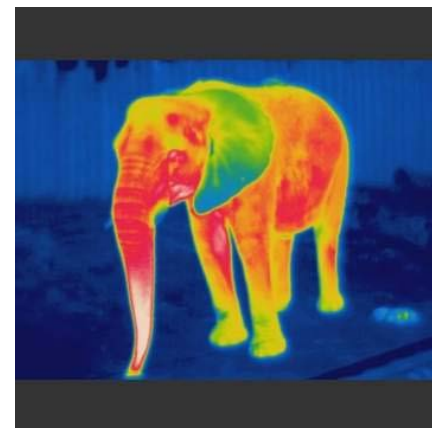
- F9 – Vågledare och optiska fiber
 - F10 – Fiberoptik och ljuskällor
 - F11 – Lasern och detektorer
 - F12 – Fiberoptiska system
-
- Sammankoppling av optiska fibrer
 - Förluster och dispersion i optiska fibrer
 - Ljuskällor



Ljuskällor

Temperaturstrålning

- Alla *kroppar* sänder ut ljus på grund av sin temperatur
- (Äldre) vanliga ljuskällor bygger på denna princip
 - Glödtrådslampor
 - Halogenlampor
 - Stearinljus



Planck och fotonen

- Temperaturstrålning (svartkroppsstrålning) beskrivs av Planck's strålningslag:

$$\rho(f) = \frac{8\pi h}{c^3} \cdot \frac{f^3}{e^{hf/(kT)} - 1}$$

- Härledningen för denna formel indikerade för första gången fotonens existens:

$$E_{ph} = hf = \frac{hc}{\lambda_0}$$

- Plancks konstant:

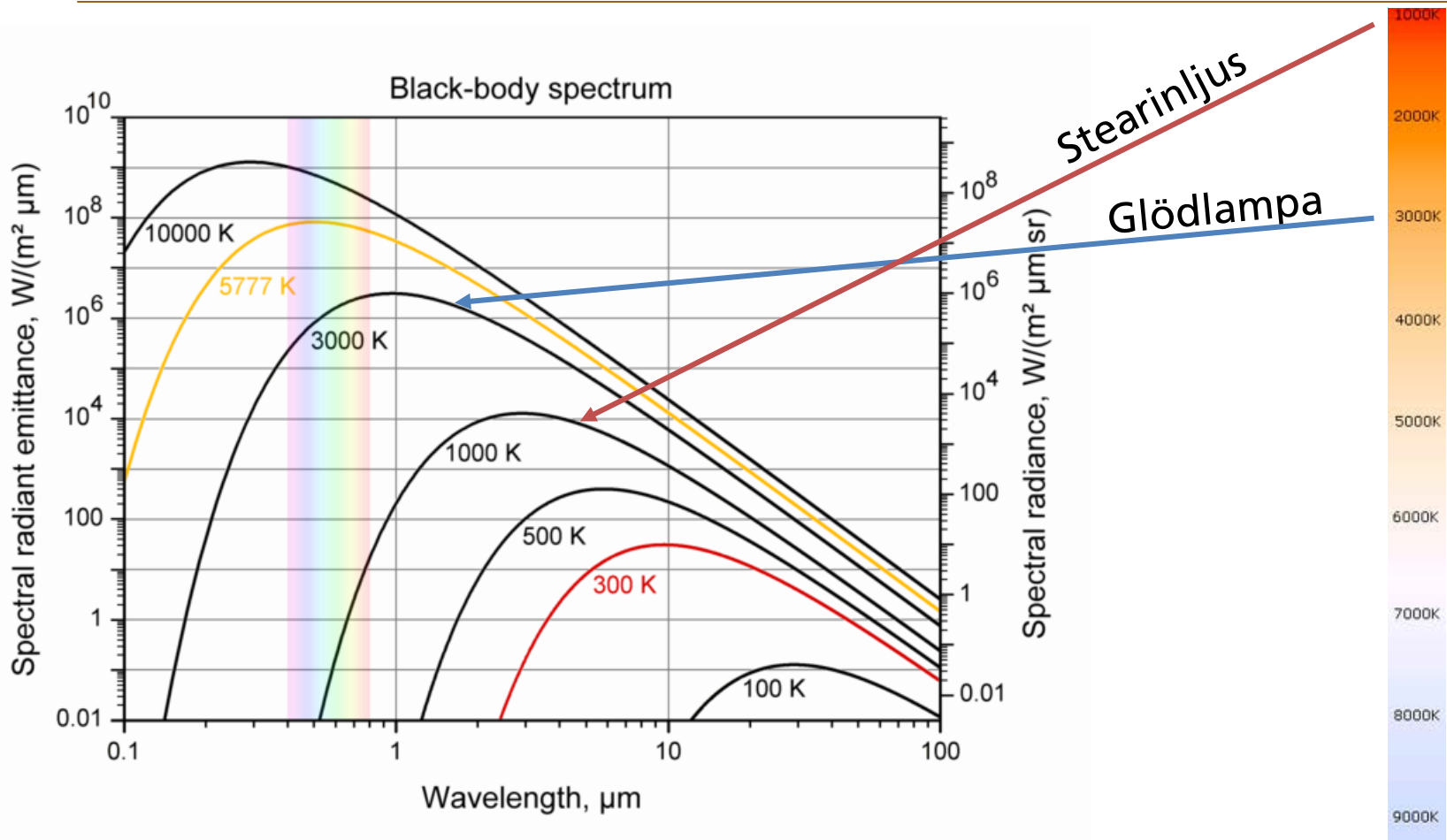
$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Max Planck (1858-1947)



Temperaturstrålning

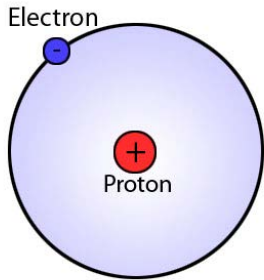
Färgtemperatur



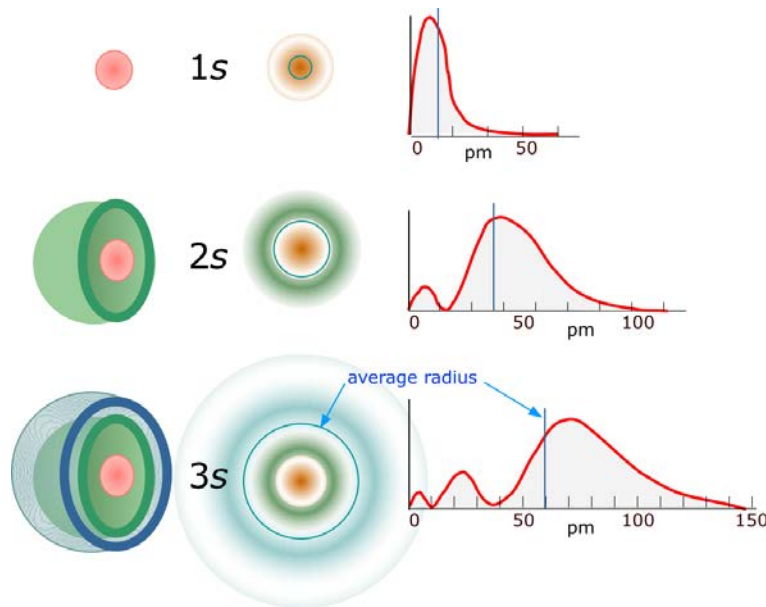
Atomer

Exempel: Väteatomen

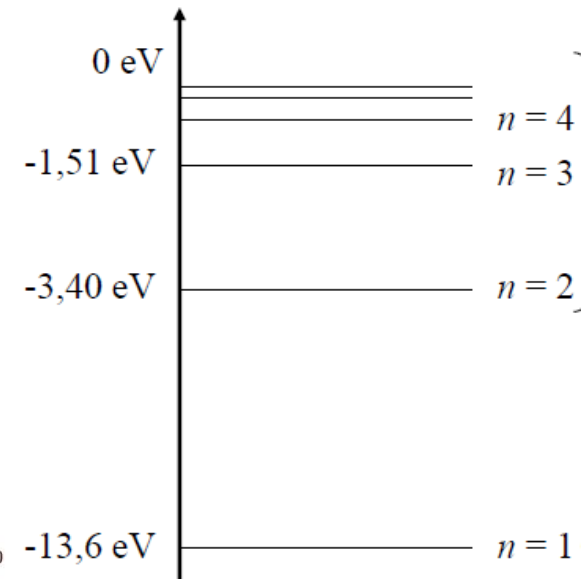
Bohrs atommodell



Elektronfördelningar



Energivåer

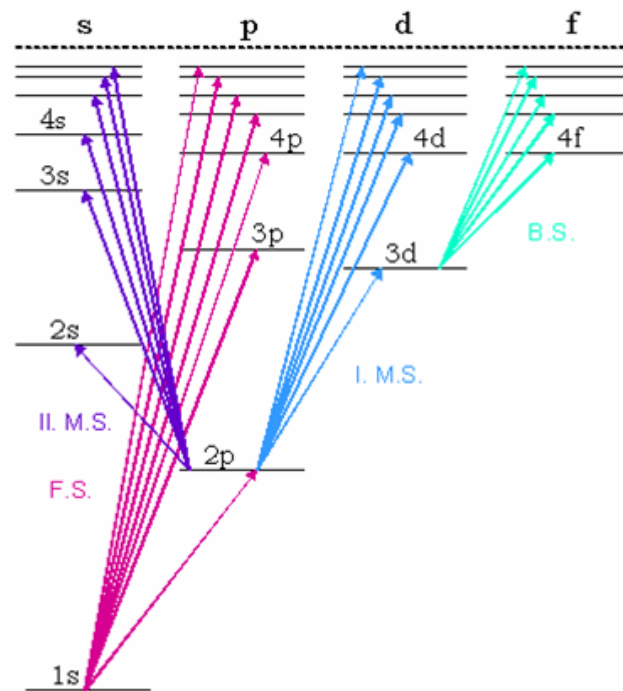
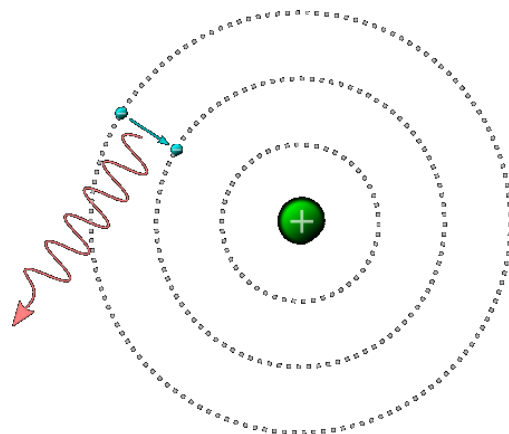


Ljusutsändning och ljusabsorption

Elektronen byter energitillstånd

- Atomen absorberar en foton \Rightarrow Elektronen intar ett högre energitillstånd
- Elektronen intar ett lägre energitillstånd \Rightarrow Atomen emitterar en foton

Fotonens energi är densamma som skillnaden i energi mellan tillstånden

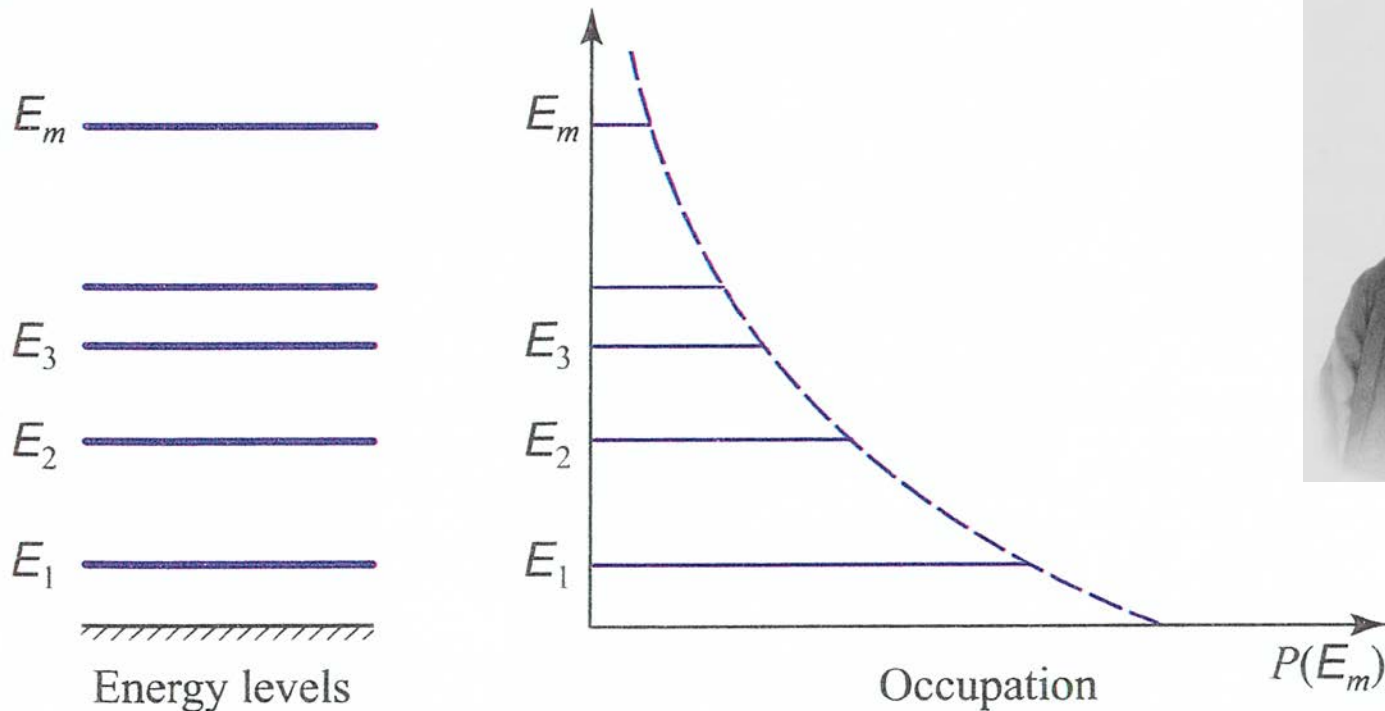


Populationsfördelningen

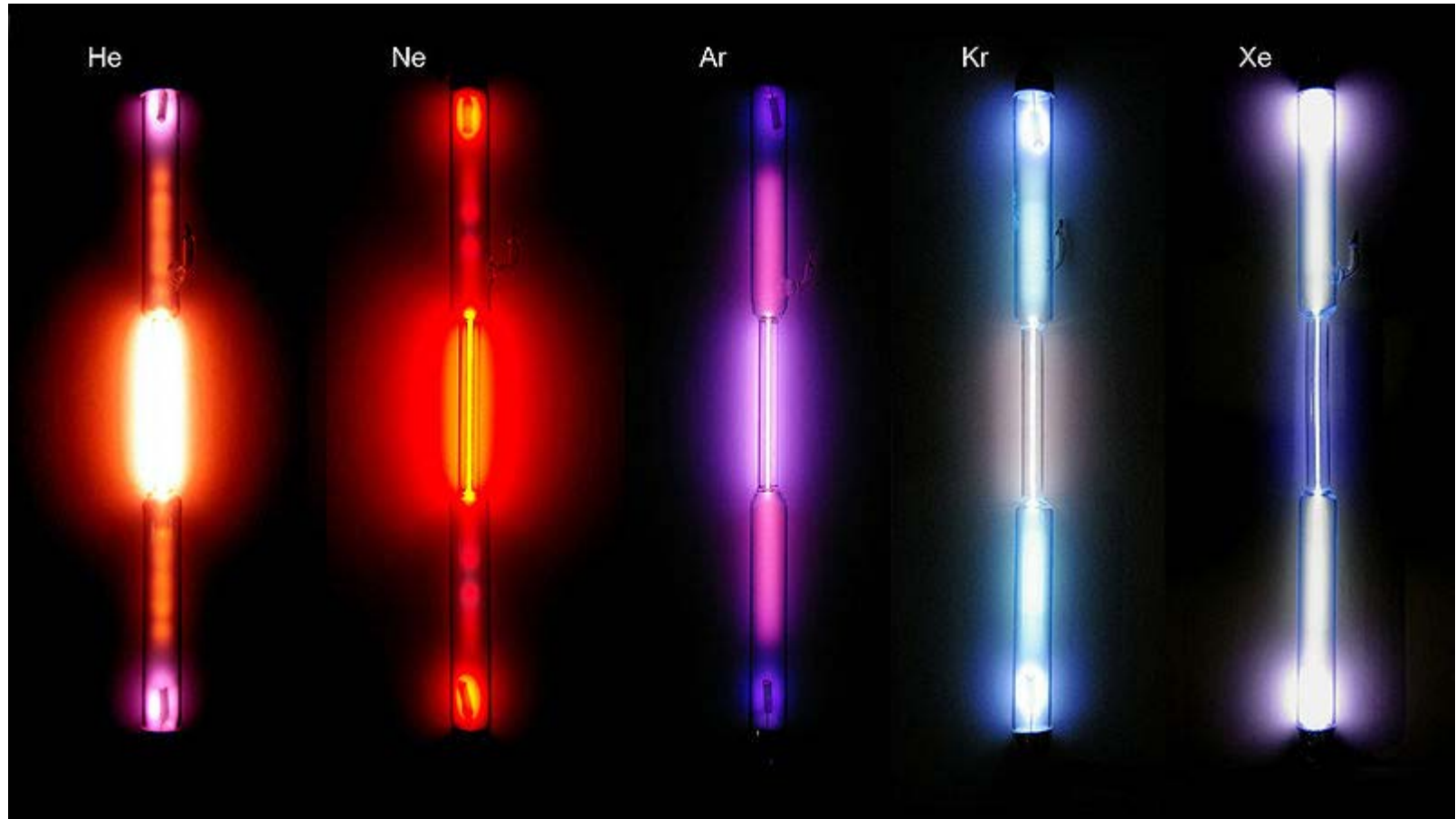
Termisk jämvikt

- Boltzmannfördelningen: $\frac{N_2}{N_1} = e^{-(E_2-E_1)/(kT)} = e^{-\Delta E/(kT)}$
 - $k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

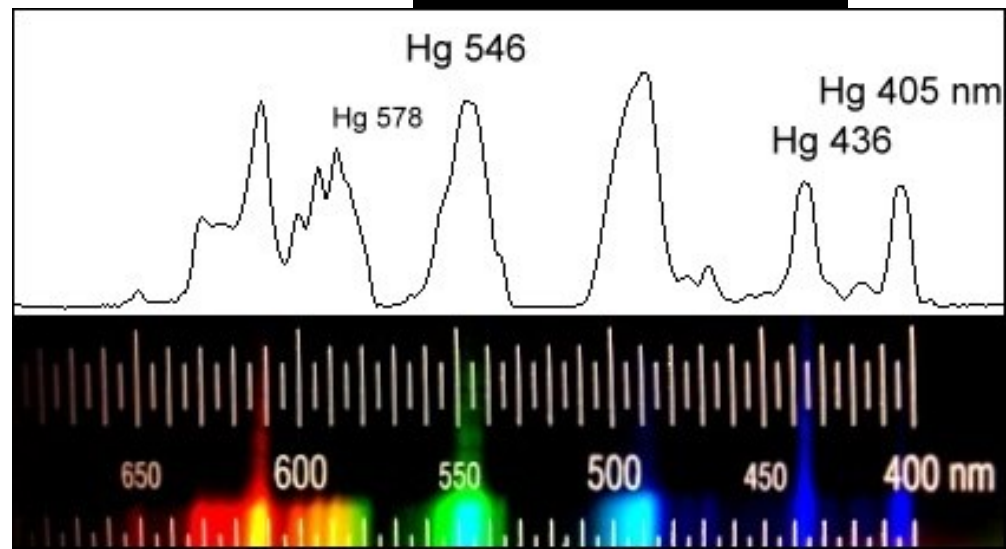
Ludwig Boltzmann
(1844–1906)



Gasurladdningslampor



Lysrör och lågenergilampor



Exempeluppgift

Temperaturen i en natriumlampa är ungefär $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Beräkna kvoten mellan besättningstalen på de båda energinivåer som ger upphov till våglängden 589 nm .

