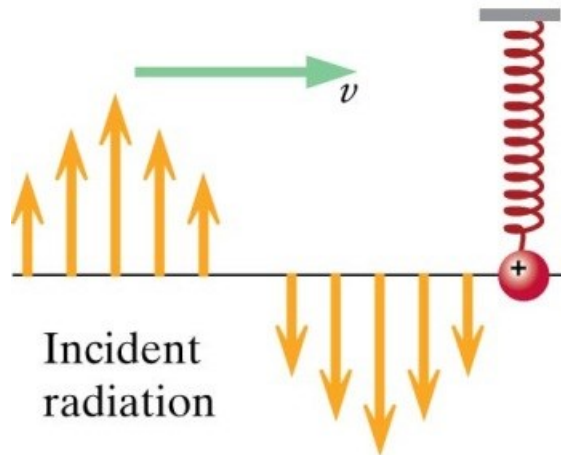
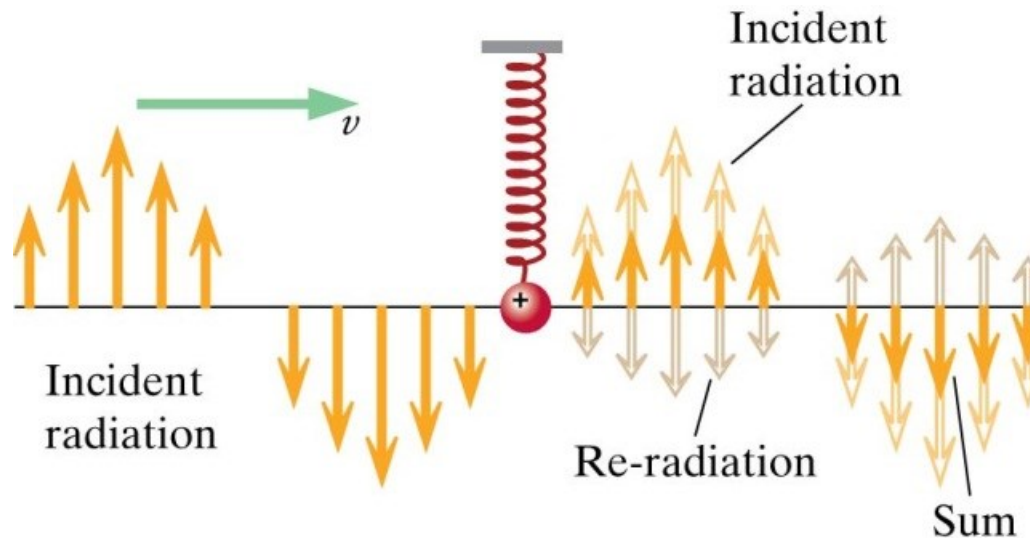


- ▶ Strålning överför energi och rörelsemängd till materia.  
Hur kan den totala energin och rörelsemängden bevaras?



- ▶ Strålning överför energi och rörelsemängd till materia.  
Hur kan den totala energin och rörelsemängden bevaras?



- ▶ Den oscillerande laddningen ger själv upphov till strålning (i nästan alla riktningar), och slutresultatet är minskad strålning i ursprungliga riktningen



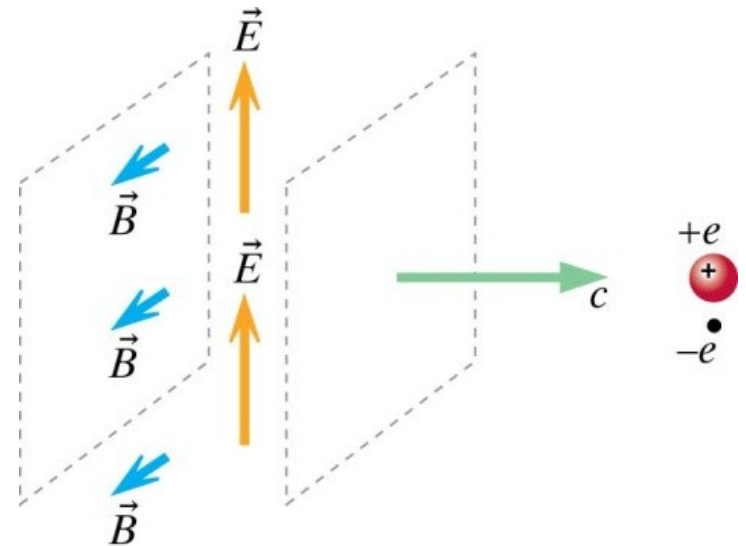
# Strålningens effekt på materia

- ▶ Strålningstrycket, som orsakas av magnetiska fältet, är en mycket liten effekt
- ▶ Största effekten av strålning på materia kommer av elektriska fältets inverkan på de laddade partiklarna i atomerna
- ▶ I det följande kommer vi att fokusera på elektriska fältets inverkan på materia, och försumma magnetiska fältets effekter



# Effekten på en neutral atom

- ▶ En neutral atom består av en positivt laddad kärna och negativt laddade elektroner
- ▶ Elektriska fältet i en strålningspuls ger en spark åt sidan åt dessa laddade delar
- ▶ De negativa elektronerna får en spark åt motsatt håll från den positivt laddade kärnan
- ▶ Resultatet är att atomen blir *polariserad*

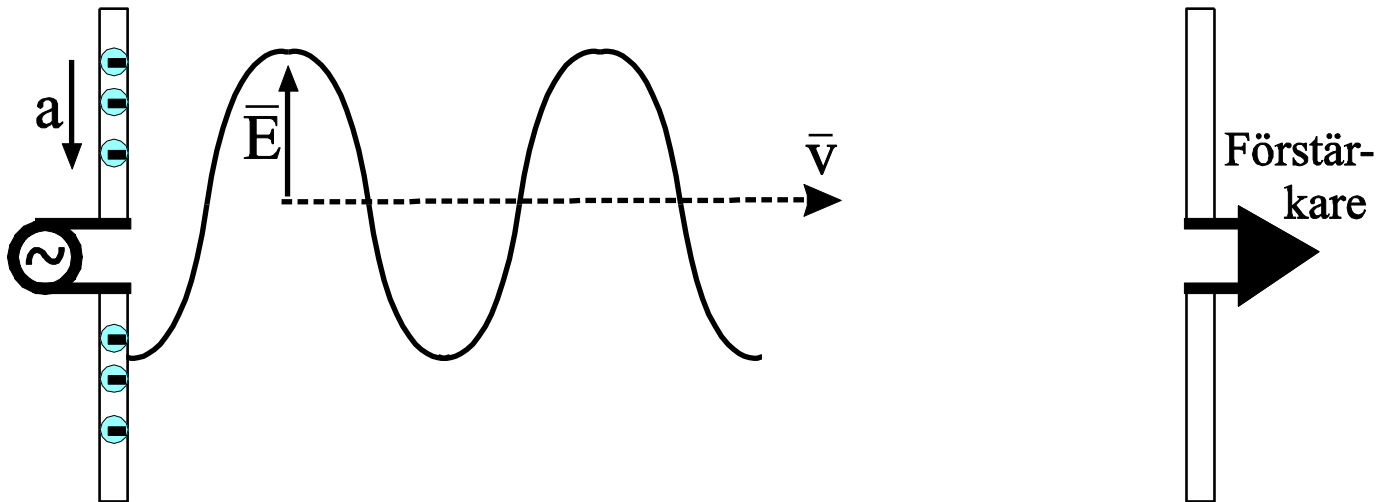


# Diskussion

- 1) När elektromagnetisk strålning träffar materia, talar man om hur EM-strålningen påverkar elektronerna. Kärnan är också laddad, varför talar man inte om EM-strålningens påverkan på kärnan?
  
- 2) Varför är en metall ogenomskinligt och glas vanligen genomskinligt?

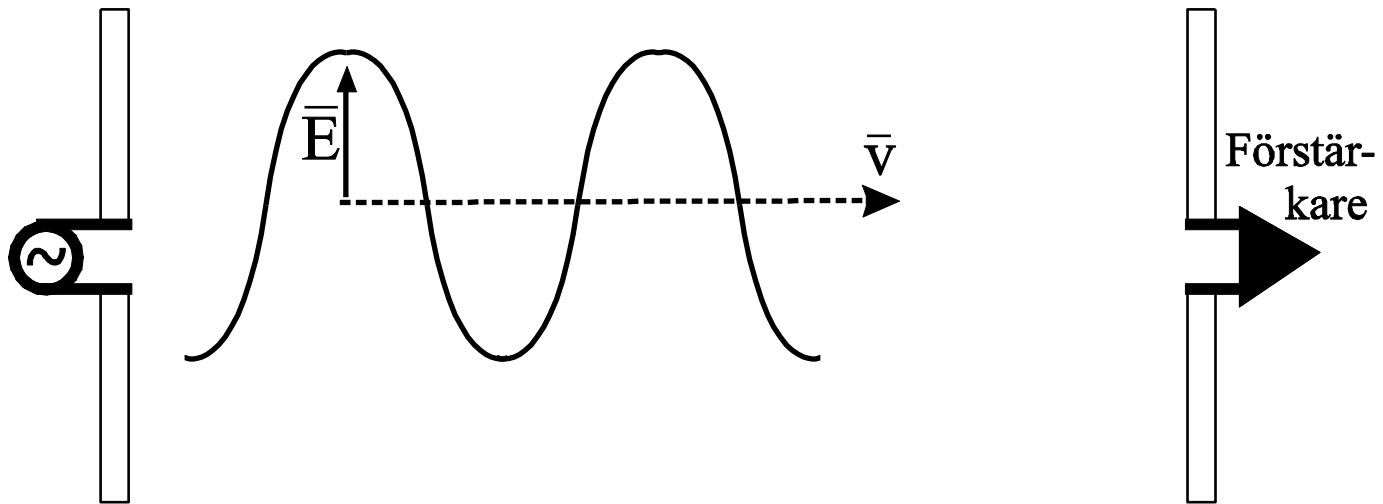


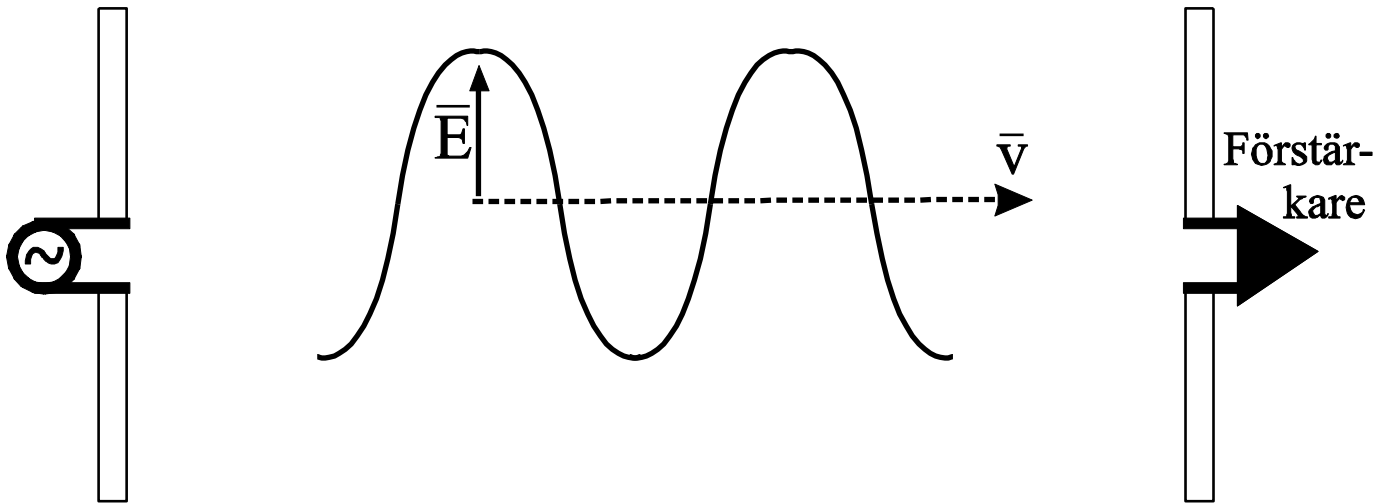
En **spänningskälla** kopplas till vänstra antennen

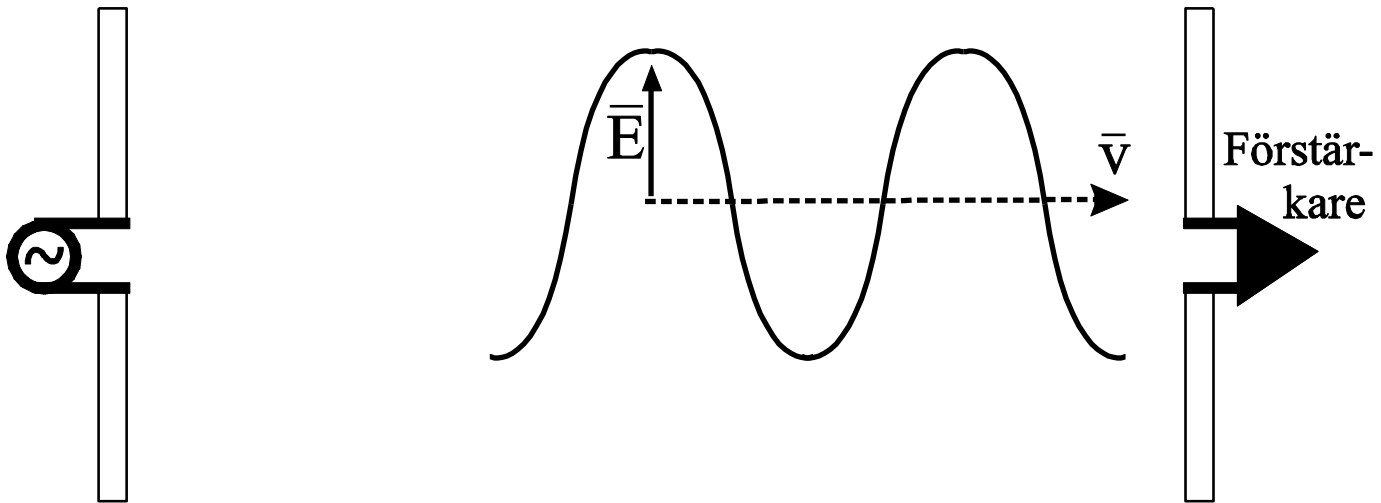


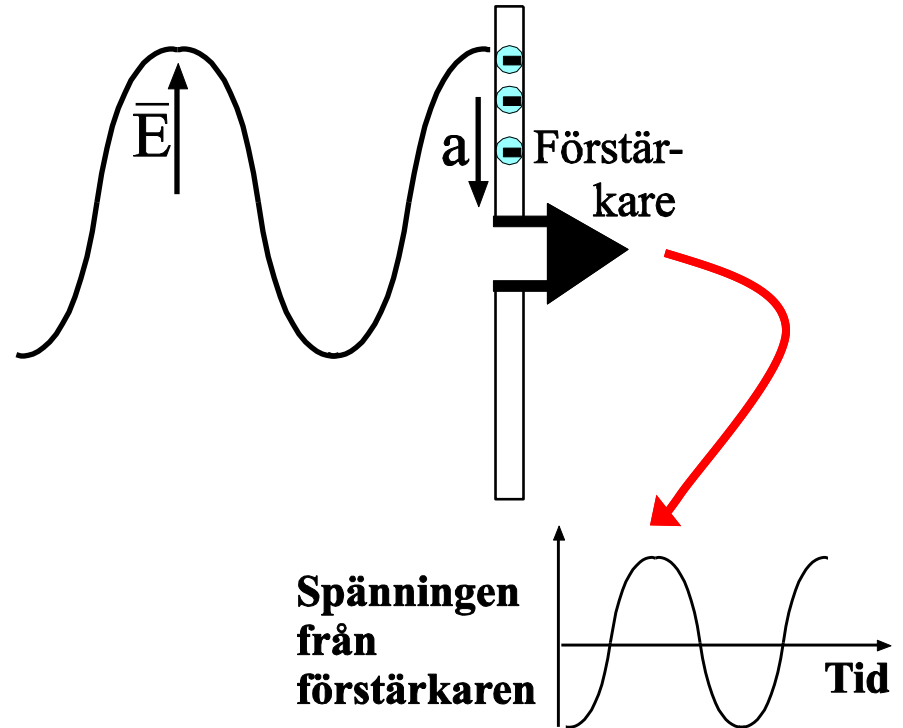
**Laddningarna** i antennen oscillerar (**accelererar**) i takt med spänningskällan  
Då en **laddning accelererar eller retarderar**, ger den upphov till **EM-vågor**  
**EM-vågorna** fortplantas i alla riktningar med **elfältskomponenten lodrät**











Anta att du vill motta AM radiovågor med frekvensen  $f = 700 \text{ kHz}$  hur lång antenn behöver du?

$$\lambda = c / f \approx 3 \times 10^8 / 7 \times 10^5 \approx 429 \text{ m}$$

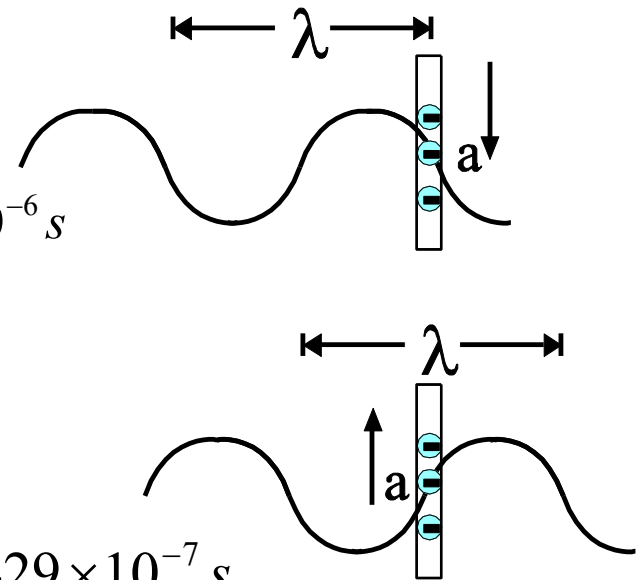
En period för EM-vågen:  $T = 1 / f \approx 1.4286 \times 10^{-6} \text{ s}$

Under denna tid accelererar elfältet elektronerna en gång fram och tillbaka

→ Tiden för en acceleration  $T / 2 = \frac{1}{2f} \approx 7.1429 \times 10^{-7} \text{ s}$

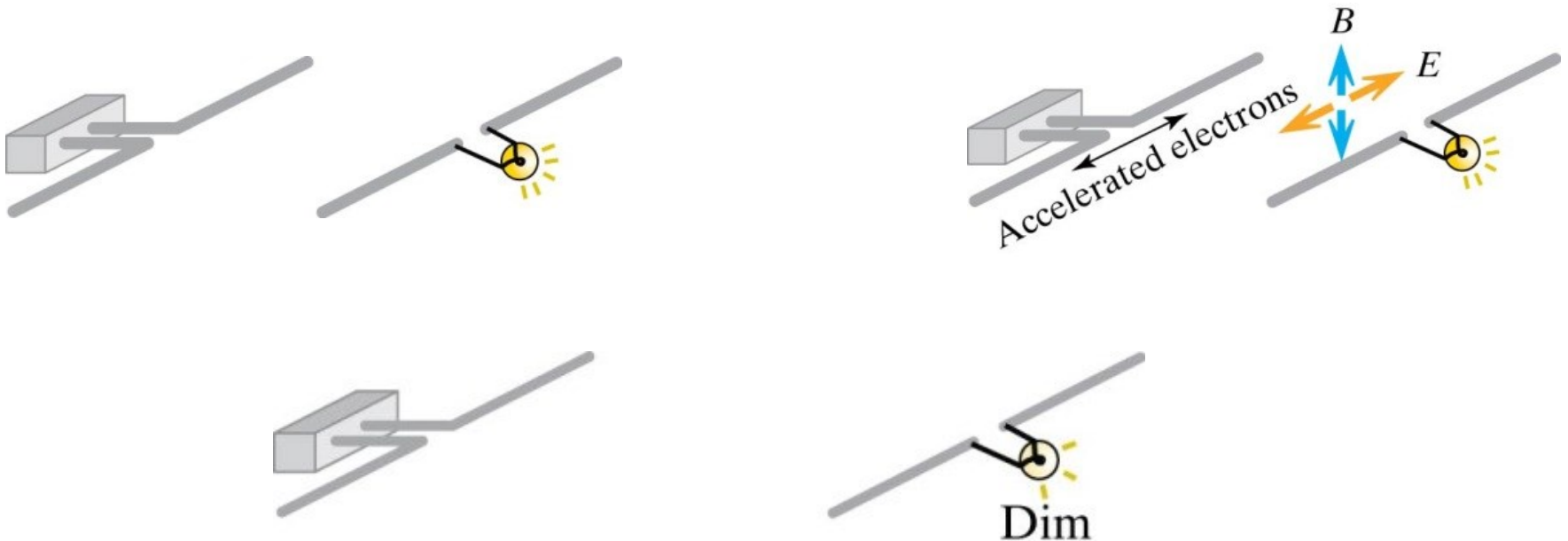
Ifall elektronernas hastighet  $\sim c$ , rör de sig en sträcka  $cT/2 \sim 214 \text{ m}$  under accelerationen i en riktning

→ **Antennens längd borde vara ca. halva våglängden**



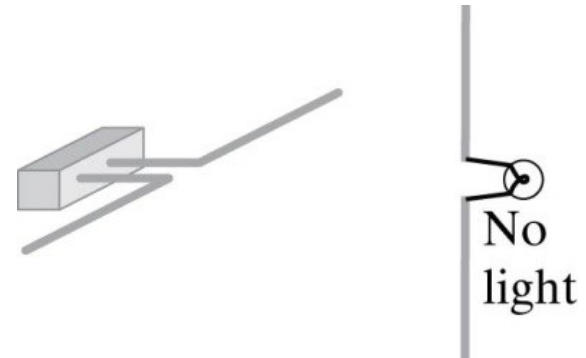
# Radiosändare

- ▶ En radiosändare fungerar med ett oscillerande elektriskt fält, som sätter elektronerna i antennen i rörelse
- ▶ Dessa oscillerande laddningar producerar elektromagnetisk strålning, som kan plockas upp av en antenn, då elektronerna i antennen försätts i rörelse



# Mottagarens riktning

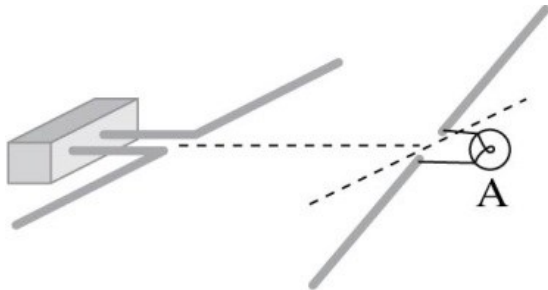
- ▶ Om mottagaren ligger vinkelrätt till sändaren oscillerar atomerna av och an längs med antennens bredd, inte dess längd
  - ▶ ingen ström går då i ledningen



# Exempel

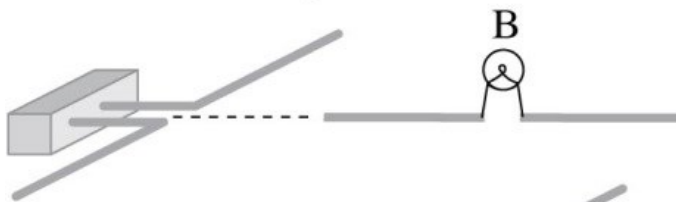
- ▶ Hur starkt lyser lampan i de olika uppsättningarna, och varför?

- ▶ a)



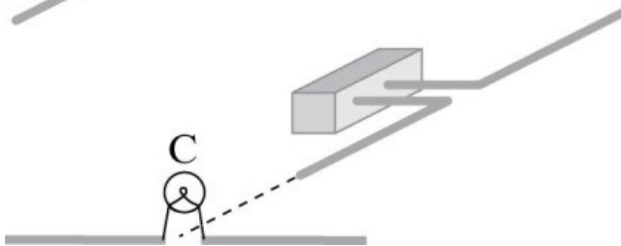
Medelstarkt, då en komponent av strålningen är längs med mottagaren

- ▶ b)



Inte alls, för ingen komponent av strålningen är i riktning av mottagaren

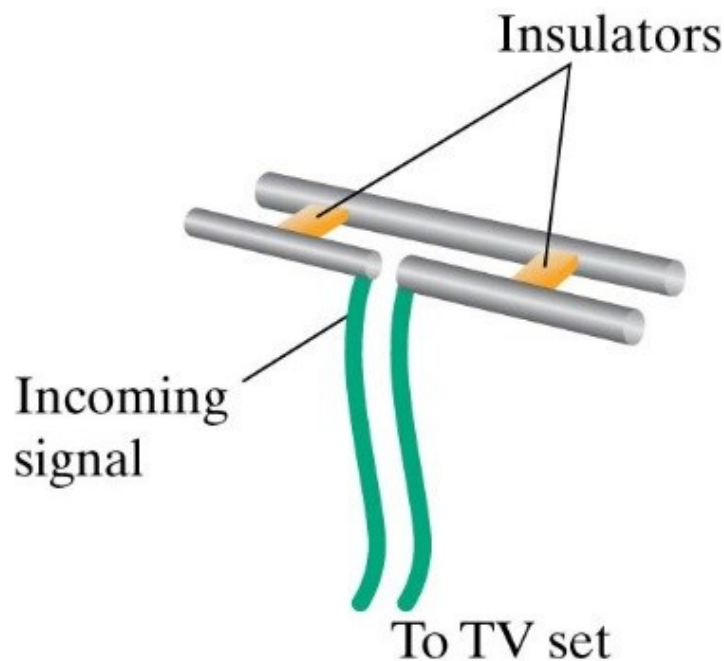
- ▶ c)



Inte alls, för ingen strålning utsänds i riktningen av de accelererande laddningarna i sändaren

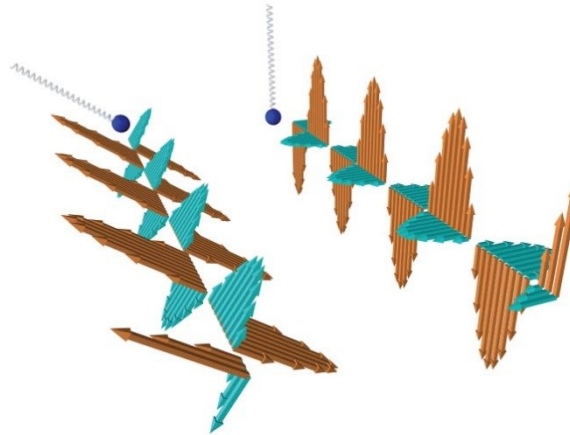


TV-antennen kan ha en eller flera antenner efter varandra som på figuren.  
Ge orsak till varför en adderad antenn kan göra TV-signalen starkare eller svagare som funktion av avståndet mellan antennerna?



# Polariserad strålning

- ▶ I *polariserad* strålning är det oscillerande elektriska fältet (och därmed också magnetfältet) riktad åt endast ett håll



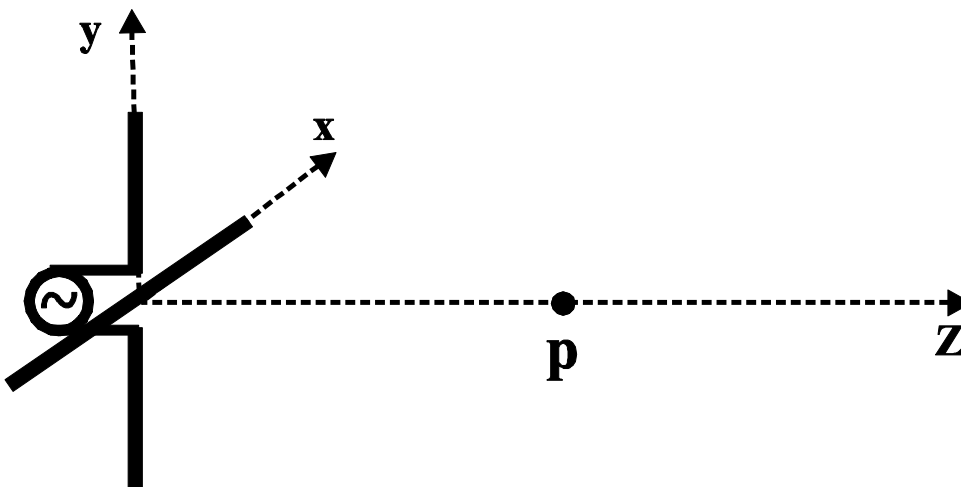
- ▶ Vanligt solljus, eller ljuset från en vanlig glödlampa, är opolariserat, för det uppkommer från en mängd oscillerande laddningar som oscillerar åt olika håll.



# Polarisation av EM-vågor

EM-vågor från simpel lineär antenn är lineärpolariserade (EM-vågens elfältsvektor hålls i samma plan)

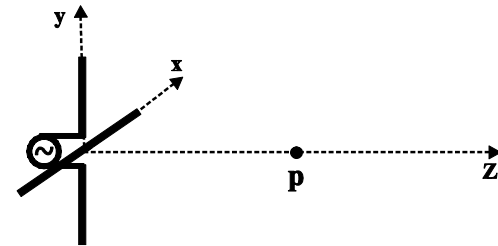
Två antenner med identisk sändningsfrekvens  $\omega$  (men olika fas  $\phi$ )



Totala elfältet för EM-vågen superposition av de enskilda elfältena från antennerna

$$\vec{E} = E_1 \sin(kz - \omega t) \hat{i} + E_2 \sin(kz - \omega t + \phi) \hat{j}$$





Variabelbyte:

$$kz - \omega t = \theta \quad E_1 = a \quad E_2 = b$$

$$\vec{E} = E_1 \sin(kz - \omega t) \hat{i} + E_2 \sin(kz - \omega t + \phi) \hat{j} = a \sin(\theta) \hat{i} + b \sin(\theta + \phi) \hat{j}$$

Elfältskomponenten i x-y-planet

$$x = a \sin(\theta)$$

$$\sin(\theta) = x / a$$

$$\cos(\theta) = \sqrt{1 - \sin^2(\theta)}$$

$$y = b \sin(\theta + \phi) = b \sin(\theta) \cos(\phi) + b \cos(\theta) \sin(\phi)$$

$$\rightarrow y - \frac{bx}{a} \cos(\phi) = b \sin(\phi) \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \quad \Bigg| \quad ^2$$

$$\rightarrow y^2 - \frac{2ybx}{a} \cos(\phi) + \frac{b^2 x^2}{a^2} \cos^2(\phi) = b^2 \sin^2(\phi) - \frac{b^2 x^2 \sin^2(\phi)}{a^2} \quad \Bigg| \quad \frac{1}{b^2}$$

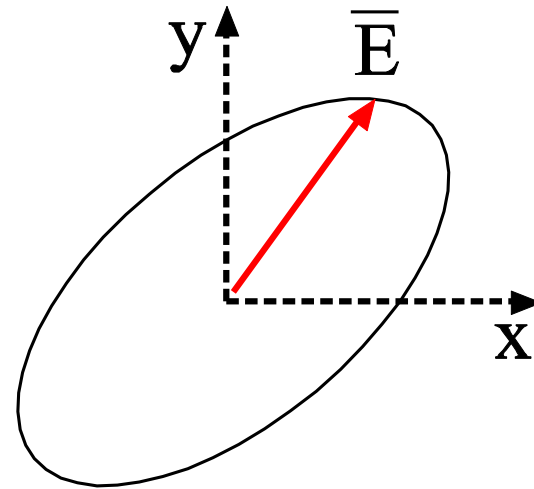
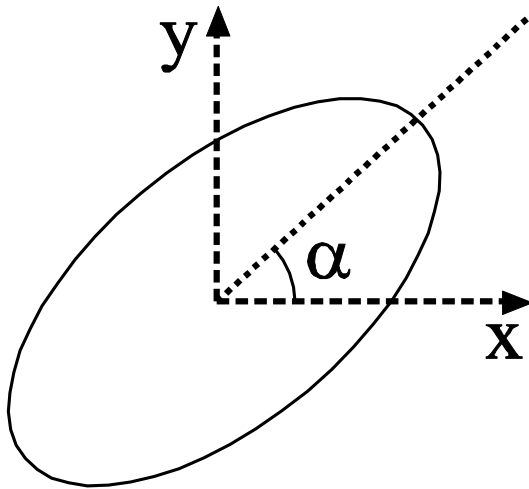
$$\rightarrow \frac{y^2}{b^2} - \frac{2yx}{ab} \cos(\phi) + \frac{x^2}{a^2} = \sin^2(\phi)$$



$$\frac{y^2}{b^2} - \frac{2yx}{ab} \cos(\phi) + \frac{x^2}{a^2} = \sin^2(\phi)$$

Ifall källorna är koherenta d.v.s. fasskillnaden är konstant ( $\phi = \text{konstant}$ )

➡ Elfältet ritar ut en ellips i x-y-planet



$$\alpha = \tan^{-1}(b/a) = \tan^{-1}(E_2/E_1)$$

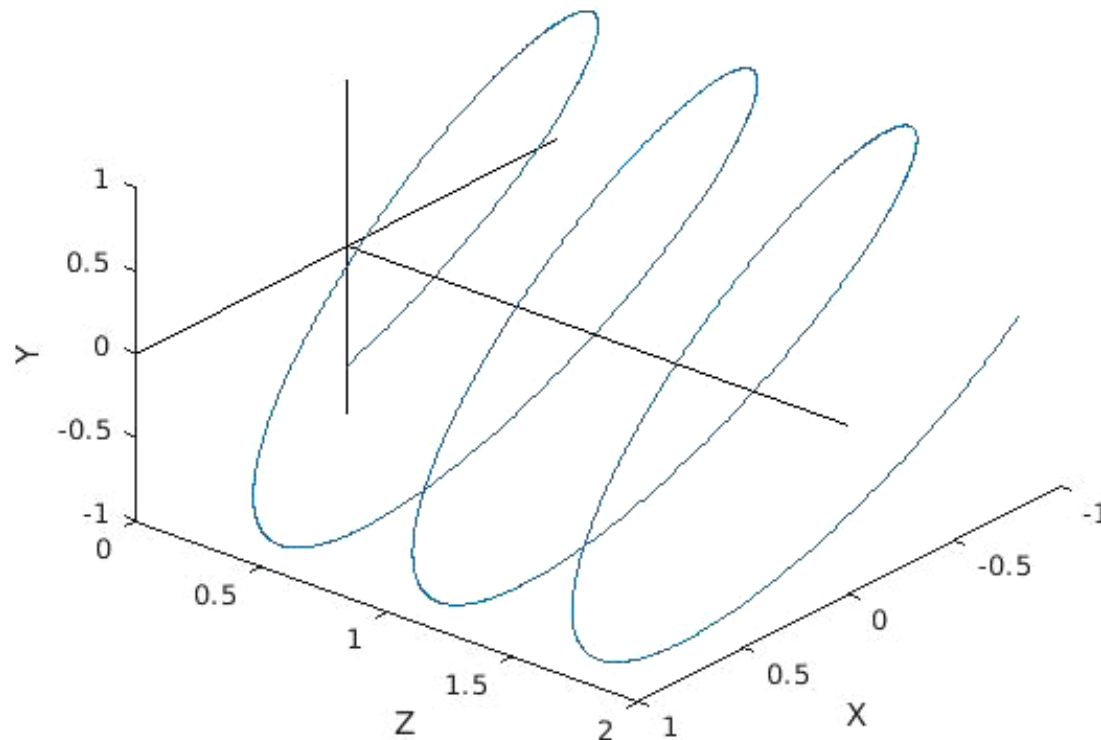


$$\frac{y^2}{b^2} - \frac{2yx}{ab} \cos(\phi) + \frac{x^2}{a^2} = \sin^2(\phi)$$

$$E_1 = a$$

$$E_2 = b$$

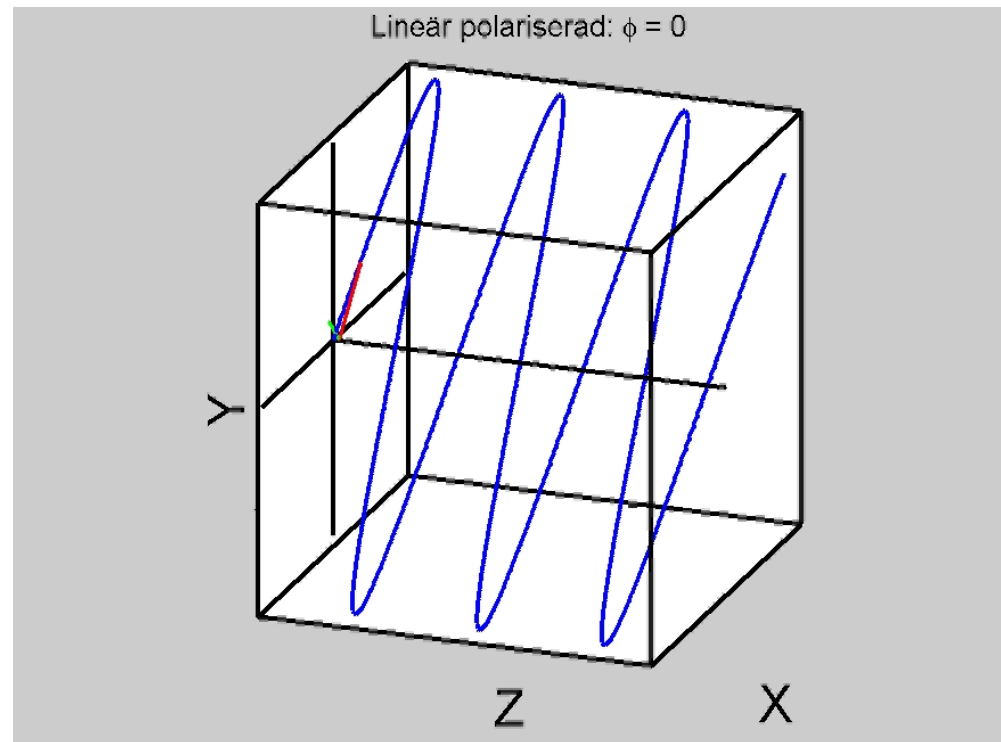
Elliptiskt polariserad:  $\phi = 0.8$



## 2) Lineär polariserat ( $\phi = 0$ )

$$\frac{y^2}{b^2} - \frac{2yx}{ab} \cos(\phi) + \frac{x^2}{a^2} = \sin^2(\phi) \rightarrow \frac{y^2}{b^2} - \frac{2yx}{ab} + \frac{x^2}{a^2} = 0 \rightarrow \left( \frac{y}{b} - \frac{x}{a} \right)^2 = 0$$

→  $y = \frac{E_2}{E_1} x$



3) Cirkulär polariserat ( $\phi \pm \pi/2$ )  $E_1 = E_2 = E$

$$\frac{y^2}{b^2} - \frac{2yx}{ab} \cos(\phi) + \frac{x^2}{a^2} = \sin^2(\phi)$$

$$\rightarrow \frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} = 1 \rightarrow \boxed{y^2 + x^2 = E^2}$$

- ➔ Elfältskomponenten (också magnetfältskomponenten) **roterar med- eller motsols**
- ➔ Då EM-vågen träffar materia åstadkommer den vridmoment

**EM-vågor kan ha rörelsemängdsmoment**



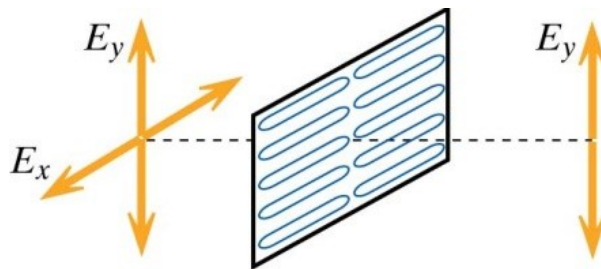
#### 4) Opolariserade EM-vågor

Ifall fasvinkeln  $\phi$  mellan källorna varierar kontinuerligt, vilket sker då exempelvis 'antennerna' består av ett stort antal oscillerande atomer eller molekyler

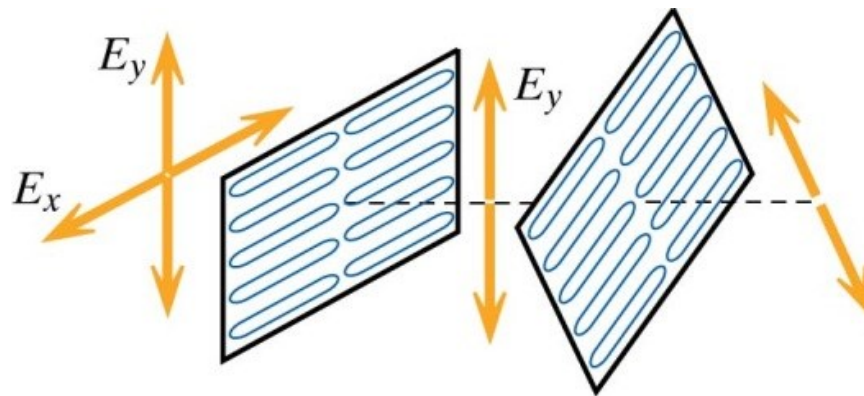
→ EM-vågorna är opolariserade

# Polariserare

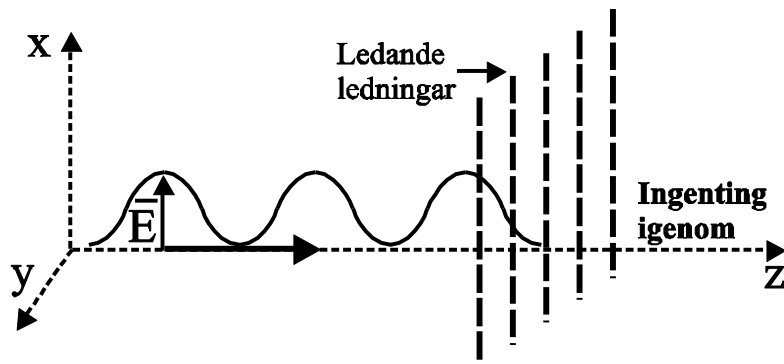
- ▶ Man kan polarisera ljus t.ex. med en skiva speciell plast, som används i polaroid solglasögon
- ▶ Långa molekyler ligger radade åt samma håll, och elektroner är fria att röra sej längs med en molekyl
- ▶ Ljus som är polariserat i riktning av molekylerna blir försvagad av återstrålningen från elektronoscillationerna som sätts igång längs molekylerna
- ▶ Ljus som är polariserat vinkelrätt mot molekylerna blir inte försvagad och passerar därför skivan



- ▶ Ljus som är polariserat i mindre än rät vinkel till en polarisator kommer att passera delvis
- ▶ Den komponenten av ljuset som är vinkelrät mot polarisatorn passerar, den parallella komponenten passerar inte
- ▶ På detta sätt kan man svänga på polariseringen med en andra polarisator

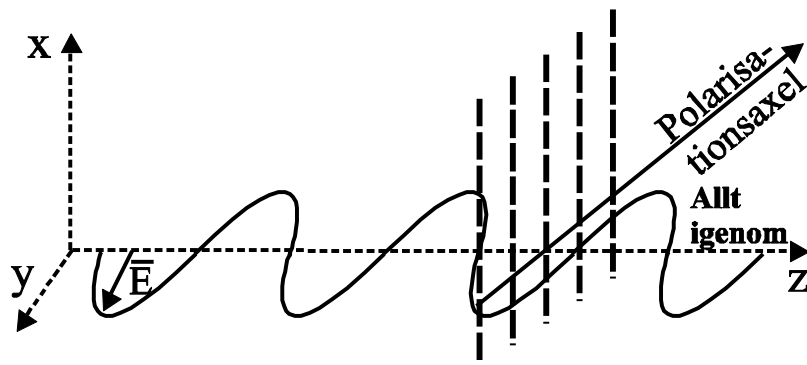
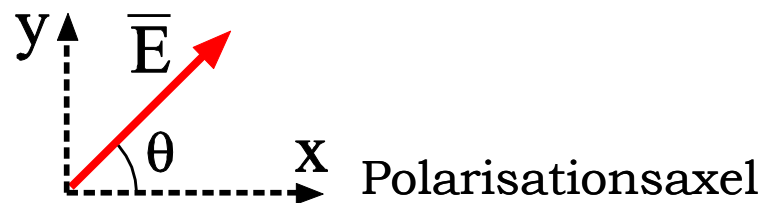


# En opolariserad EM-våg kan lineärpolariseras med en **polarisator**



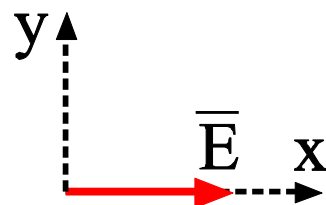
Före polarisatorn      Intensitet

$$\vec{E} = |E_0| \cos(\theta) \hat{i} + |E_0| \sin(\theta) \hat{j} \quad I_0$$

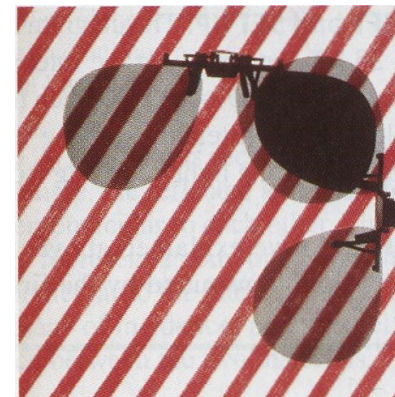


Efter polarisatorn

$$\vec{E} = |E_0| \cos(\theta) \hat{i}$$



$$I_0 \cos^2(\theta)$$



Opolariserat ljus med intensiteten  $I_0$  går genom två polarisatorer, vilkas polarisationsaxlar bildar vinkeln  $\alpha$  med varandra ( $0 < \alpha < \pi/2$ ). Hur skall en tredje polarisator orienteras mellan de två förstnämnda för att den genomsläppta intensiteten, när ljuset gått igenom alla tre polarisatorer, skall vara så stor som möjligt? Hur stor är denna intensitet?

$$I_0 \cos^2(\theta)$$

OBS: Hälften av intensiteten för opolariserat ljus försvinner vid en gång polarisation

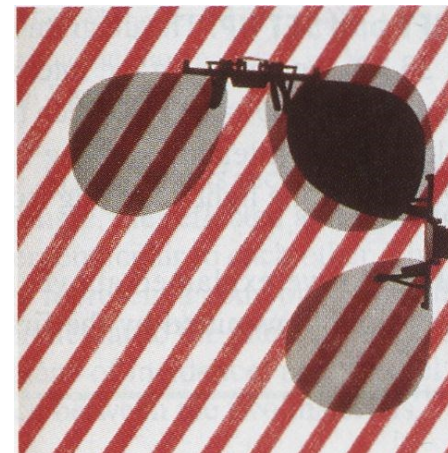
$$I_1 = \frac{I_0}{2}$$



Då opolariserat solljus reflekteras från marken eller havet, blir det polariserat?

Det opolariserade solljuset polariseras då det reflekteras från havet, med elfältet i horisontell riktning.

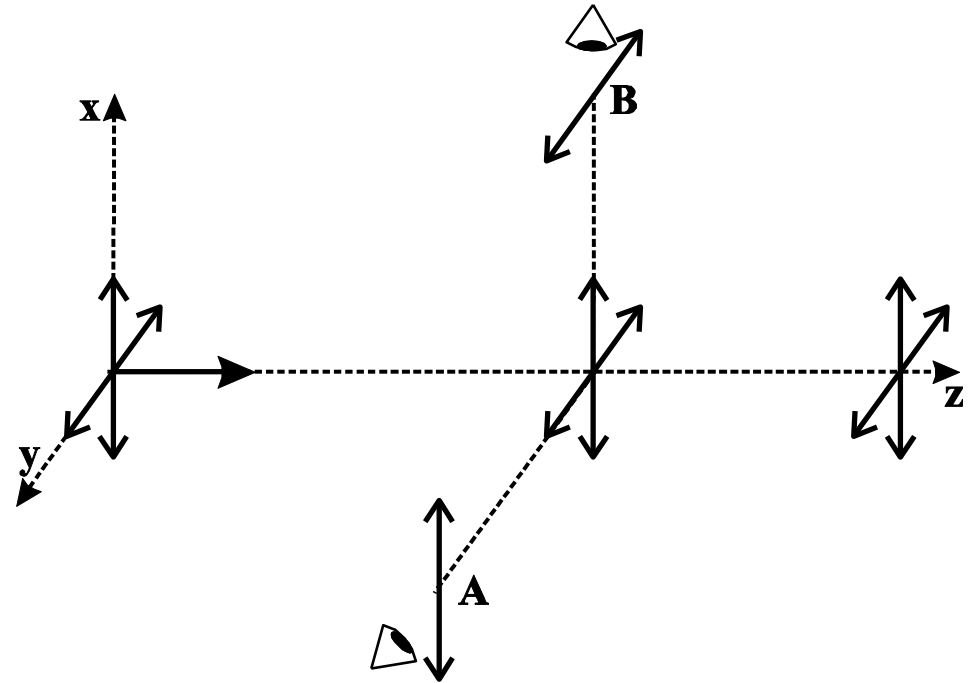
För att blockera denna oskarpa reflekterade delen av ljuset som kommer till ögat, borde de långa molekylerna i plastlinsen vara i horisontell eller vertikal riktning?



I dimma eller rök kan man bra se en ljusstråle från sidan

→ Små vattendroppar eller rökpartiklar sprider ljuset

EM-vågens elfält gör att laddningarna i de små partiklarna börjar oscillera, och fungera som små antenner genom att sedan stråla ut EM-vågor till sidorna

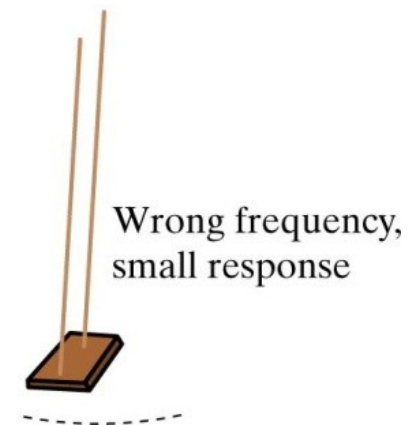
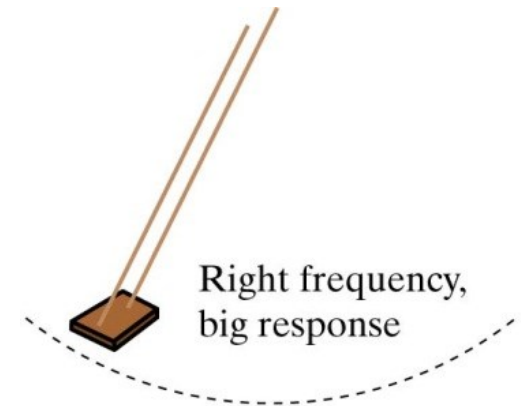


Eftersom en oscillerande laddning inte kan stråla ut vågor i oscillationsriktningen, kommer de spridda strålarna att vara delvis polariserade



# Resonans

- ▶ Vi tänker oss igen en laddad partikel fäst på en fjäder
- ▶ Då strålning passerar partikeln försätts den i rörelse med kraften  $qE_{max} \sin(\omega t)$ , som tvingar den att oscillera med samma frekvens
- ▶ Hur stor oscillationen blir beror på hur nära denna frekvens är till partikel-fjäder systemets fria oscillationsfrekvens, dvs hur systemet skulle oscillera i fri rörelse
- ▶ Som analogi kan man tänka sej hur man ger fart åt en gunga

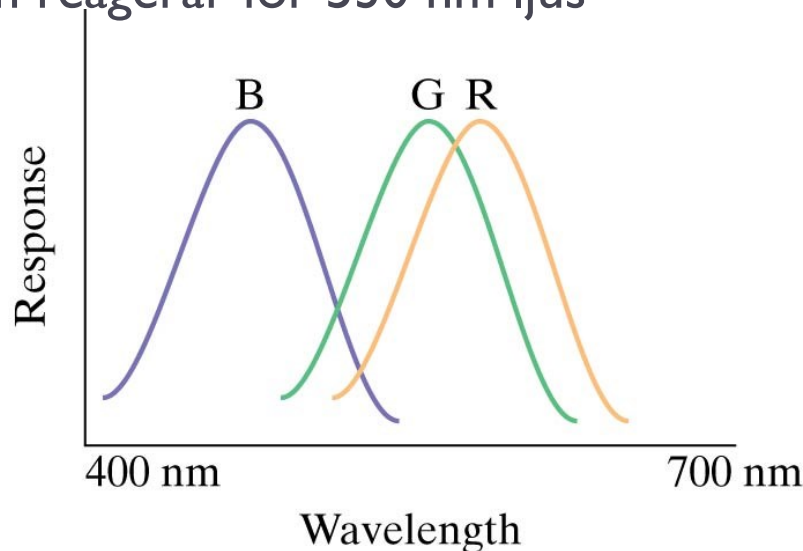


- ▶ Fenomenet heter *resonans*, och har många viktiga följder
  - ▶ Elektromagnetisk strålning med mycket hög frekvens,  $f = \omega/2\pi$  ungefär  $1 \times 10^{15}$  hertz, påverkar starkt molekylerna i ögats näthinna, och man ser ljus. Däremot har synligt ljus inte stor effekt på en radio
  - ▶ Strålning med en frekvens kring  $1 \times 10^6$  hertz påverkar starkt elektronerna i metallen i en radioantenn, som därmed kan plocka upp radiovågor. Dessa däremot påverkar inte dina ögon (eller din hjärna där bredvid mottagaren). Genom att ställa in mottagaren att resonera till en viss frekvens kan man plocka upp en radiokanal i sänder
  - ▶ Mycket hög frekvens röntgen strålning påverkar endast svagt kroppens celler, och passerar därför utan större effekt på kroppen



# Färgseende

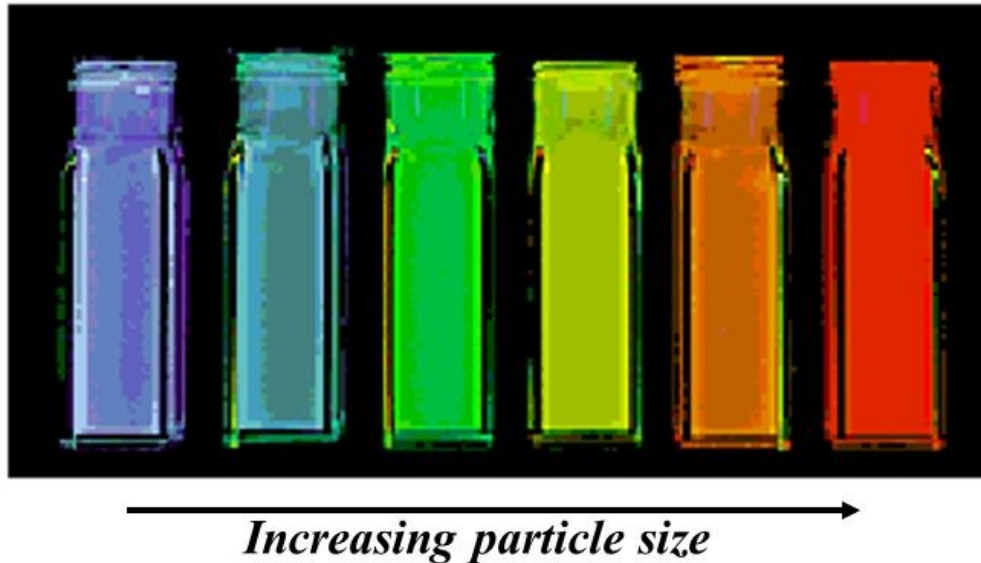
- ▶ Människoögat har tre olika färgtappar, som resonerar till olika våglängder i det synliga ljuset.
  - ▶ "R" tappen reagerar starkast för ungefär 560 nm ljus
  - ▶ "B" tappen är känslig för 420 nm ljus
  - ▶ "G" tappen reagerar för 530 nm ljus



- ▶ Hjärnan tolkar olika kombinationer av dessa till alla färger vi uppfattar



**Same chemical composition  
but colour changes with size !**



**Quantum dots**, nanoparticles of semiconductors, of different sizes, illuminated by a single light source, emit intense fluorescence of different colours  
(Felice Frankel, MIT)

<https://slideplayer.com/slide/6820448/23/images/42/Same+chemical+composition+but+colour+changes+with+size+%21.jpg>

# Diskussion

- 1) Varför är himlen blå? Är det blåa ljuset polariserat?
- 2) Varför är kvällssolen röd?  
Är det röda ljuset polariserat?
- 3) Varför är molnen vita?

- ▶ Elektronernas acceleration av ett elfält med vinkelfrekvensen  $\omega$  ges av

$$a = \frac{d}{dt^2} x = \frac{d}{dt^2} (A \cos(\omega t)) = -\omega^2 A \cos(\omega t)$$

