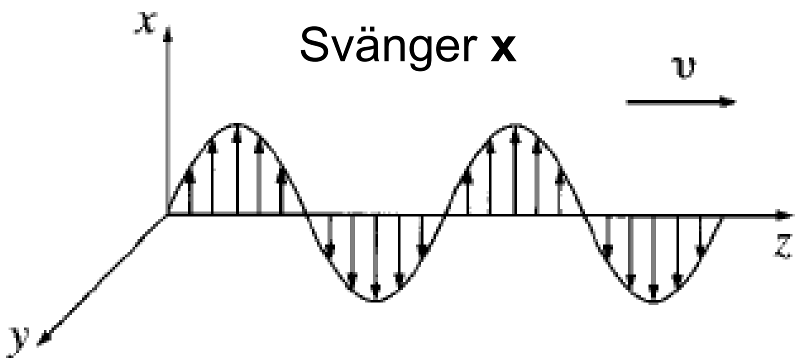
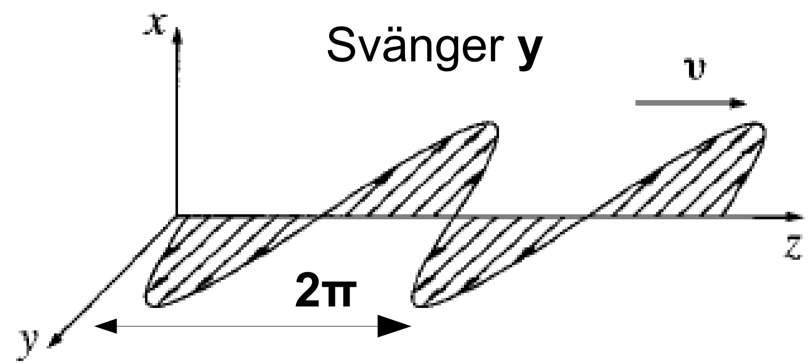
Mer om EM vågors polarisation

- Vad händer om man lägger ihop två vågor med horisontell och vertikal polarisation?

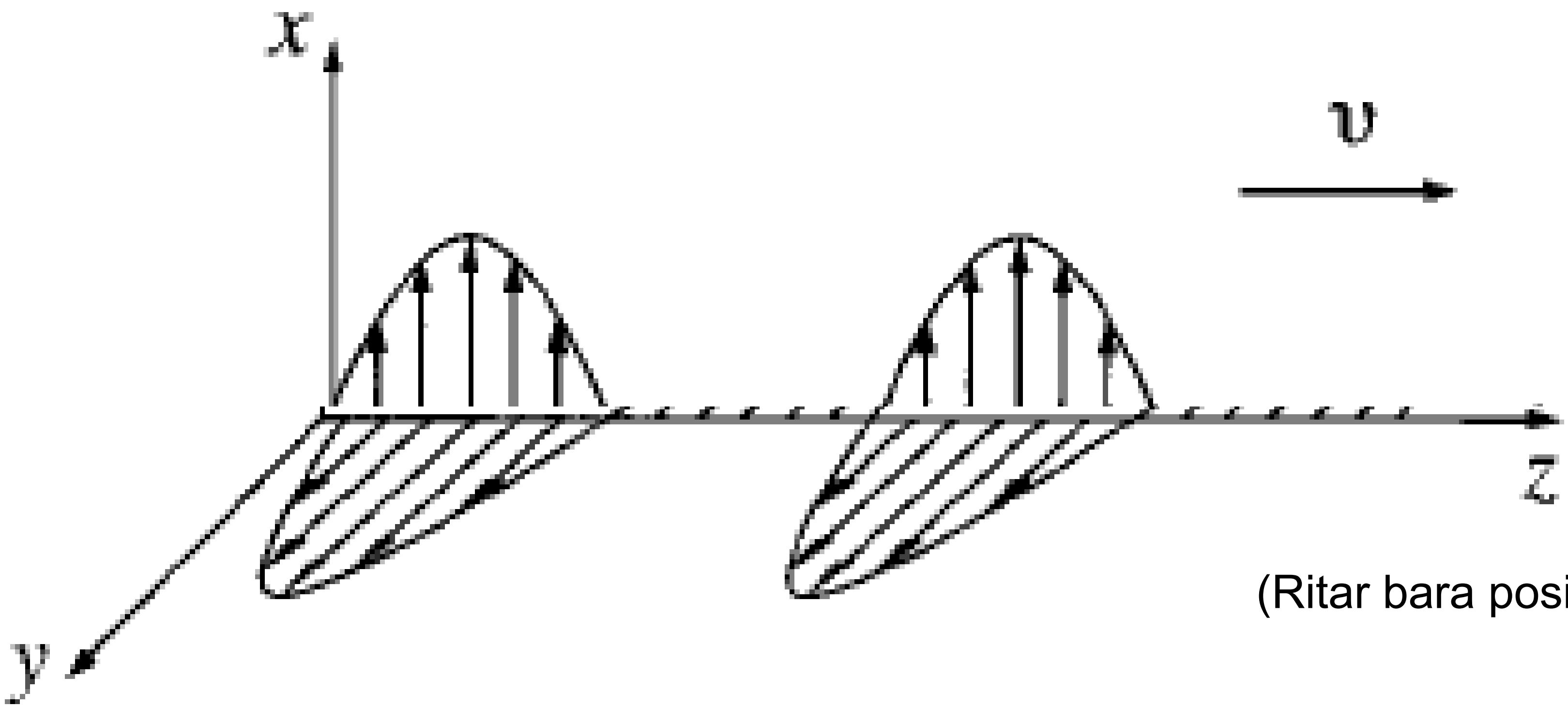


(a) Vertical polarization



(b) Horizontal polarization

Superposition av **x** och **y** polariserade EM vågor

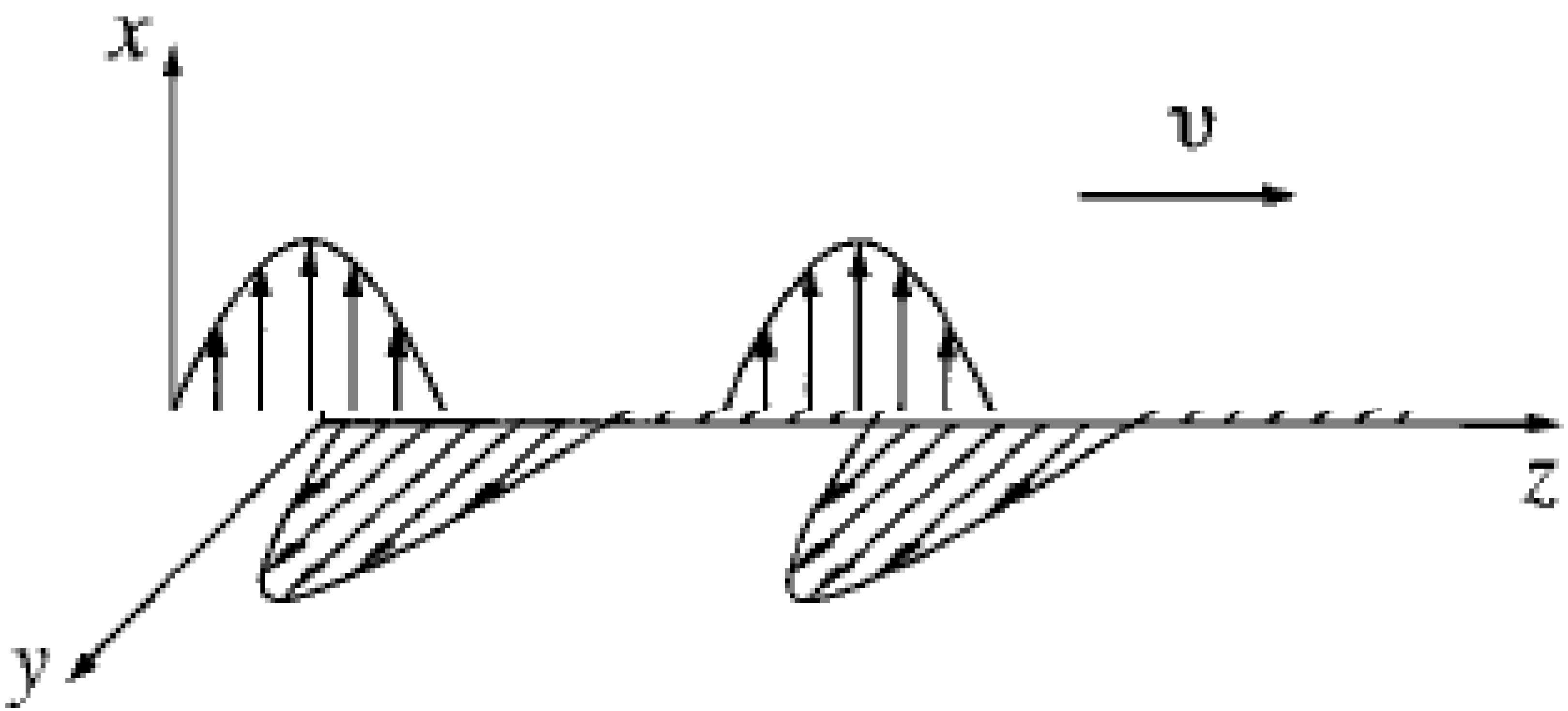


(Ritar bara positivt fält)

Polarisationsvektor:

$\mathbf{n} = (\mathbf{x} + \mathbf{y}) / (2)^{1/2}$

Superposition av **x** och **y** polariserade EM vågor

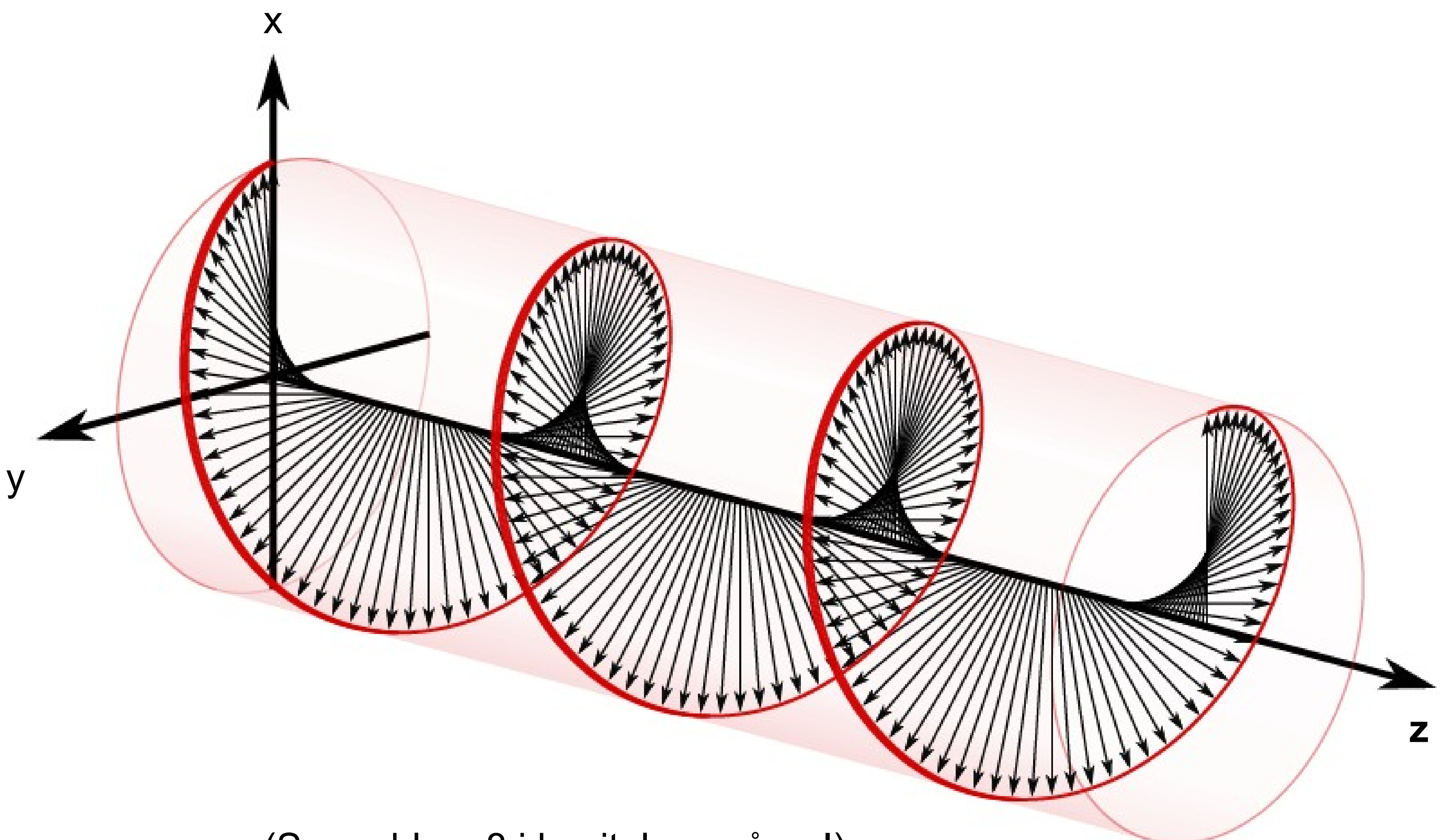


Polarisationsvektor:

$$\mathbf{n} = (\,\mathbf{x} - i\,\mathbf{y}\,)\,/\,(2)^{1/2}$$

$\delta = -\pi/2$

Cirkulär polarisation



(Se problem 8 i kapitel om vågor!)
- Vad händer om x och y har olika amplitud?

Repetition

- **E**, **B** och **k** är vinkelräta (transversella vågor)
- Polarisationen definieras av **E**-fältets svängningar.
- Energidensiteten för plana EM vågor ("*kulspruta*")
- Intensitet (energi per area och tid): $I = 0.5\ \varepsilon\ v\ E_0^2$
- Reflektion och transmission av plana vågor...

- Imorgon 13:15 går jag igenom delar av extenta #1:

http://www.teori.atom.fysik.su.se/~marcus/EM/pdf/FK5019-tenta-20160321.pdf

Onsdag:

Föreläsning 16:

Electromagnetic waves: 3 Electromagnetic waves in matter (p.406-429)
~~Conservation laws: 1 (p.360-364)~~
Poyntings teorem

Räknestuga:

Under denna räknestuga ska ni utforska elektromagnetiska vågor i material.

Förberedelseuppgift:
Sammanfatta koncepten (redovisas i grupper om två studenter):
- Vad menas med ett linjärt homogent dielektriskt material? (vad är n?)
- Redogör för den geometriska optikens tre fundamentala lagar.

Räkneövningar:
Electromagnetic waves: 14, (15), **19**, 20 * 13, (14), **18**, 19 i 3rd edition.

Föreläsning 16: Elekromagnetiska vågor i och mellan olika material

- **Reflektion och transmission** av EM vågor mellan linjära dielektriska material.
- Varför är **brytningsindex frekvensberoende**?
- **Absorption** av EM vågor i material
- **Tre lagarna** för **geometrisk optik**
- **Brewstersvinkel** för reflektion

Idag använder jag POWERPOINT.
Fokus på överblick av fenomen.

Hur beter sig EM vågor
i övergången mellan olika
dielektriska material?

("isolatorer" = "ingen ström")

Dispersionsrelationen

(i <u>ett</u> homogent isotropiskt dielektrisk material)

$$v = c / n = \lambda/T = \omega/k$$

Dimensionsanalys:

[m/s] = [rad/s] / [rad/m]

Brytningsindex har <u>ingen</u> enhet:

$$n=[(\varepsilon\mu)/(\varepsilon_0\mu_0)]^{1/2}$$

Stort n gör att vågen går långsamt fram!

Geometrisk optik

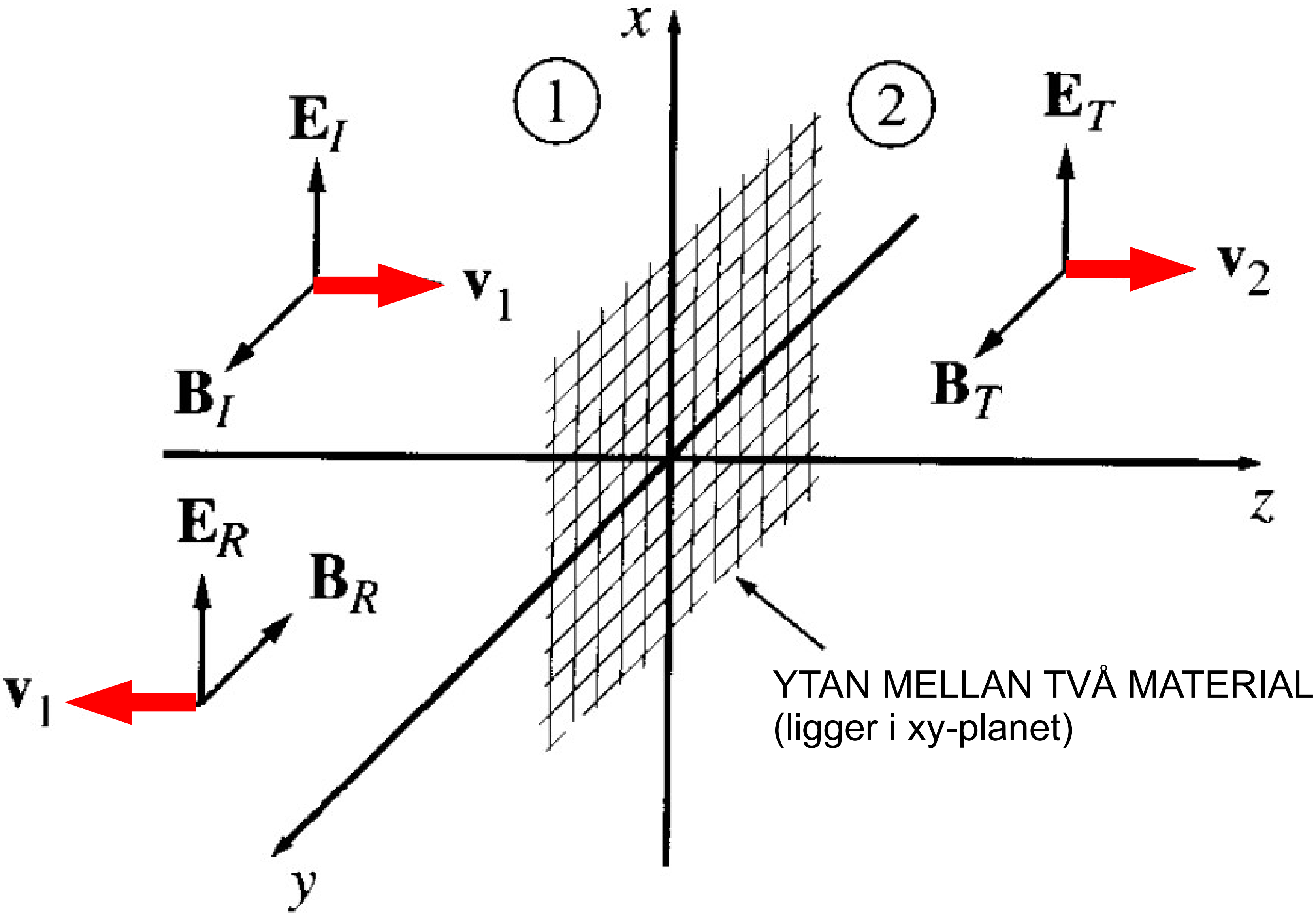
Allt om <u>geometrisk optik</u> kan härledas med matchning av planvåger på ytan:
Inkommande I, Reflekterad R
& Transmitterad T

Antag ***samma*** vinkelfrekvens för *alla* vågor: *j=I,R,T* (*dispersion relationen*):

$$k_I\, v_1 = k_R\, v_1 = k_T\, v_2 = \omega$$

Då kan exp[-iωt] strykas!

Infallande, reflekterade och transmitterade plana vågor



Randvärden

(mellan två linjära material utan fri laddning)

(Gauss)

$$\text{(i)} \quad \epsilon_1 E_1^{\perp} = \epsilon_2 E_2^{\perp},$$

$$\text{(ii)} \quad B_1^{\perp} = B_2^{\perp},$$

(Inget namn)

(Stokes)

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{(iii)} \quad \mathbf{E}_1^{\parallel} = \mathbf{E}_2^{\parallel}, \\ \text{(iv)} \quad \dfrac{1}{\mu_1}\mathbf{B}_1^{\parallel} = \dfrac{1}{\mu_2}\mathbf{B}_2^{\parallel} \end{array}}$$

(Amperes)

Vid infall rakt mot ytan.

Matchning av EM fält vid z=0

Stokes lag ("E fält lika"):

$$\tilde{E}_{I0} + \tilde{E}_{R0} = \tilde{E}_{T0}$$

Amperes lag ("H fält lika"):

$$(\tilde{E}_{I0} - \tilde{E}_{R0})/(\mu_1 v_1) = \tilde{E}_{T0}/(\mu_2 v_2)$$

Matchning av EM fält vid z=0

Stokes lag:

$$\tilde{E}_{I0} + \tilde{E}_{R0} = \tilde{E}_{T0}$$

Amperes lag:

$$\tilde{E}_{I0} - \tilde{E}_{R0} = \tilde{E}_{T0}\,\underbrace{(\mu_1 v_1)/(\mu_2 v_2)}_{\boldsymbol{\beta}}$$

Reflektion och transmission

Reflektion:

$$\tilde{E}_{R0} = \tilde{E}_{I0}\,(1-\beta)/(1+\beta)$$

Transmission:

$$\tilde{E}_{T0} = \tilde{E}_{I0}\,2/(1+\beta)$$

$$\beta=(\mu_1 v_1)/(\mu_2 v_2)=(\mu_1 n_2)/(\mu_2 n_1)$$

Reflektion och transmission

Reflektion:

$$\tilde{E}_{R0} \approx \tilde{E}_{I0} (n_1 - n_2)/(n_1 + n_2)$$

Transmission:

$$\tilde{E}_{T0} \approx \tilde{E}_{I0}\ 2n_1/(n_1 + n_2)$$

$$\beta \approx n_2/n_1$$

Brytningsindex betyder hur “tungt” det är för en våg att propagera: $v = c / n$.

Reflektion och transmission

Reflektionskoefficient:

$R = I_R / I_I \approx (n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2$

Transmissionskoefficient:

$T = I_T / I_I \approx 4 n_1 n_2 / (n_1 + n_2)^2$

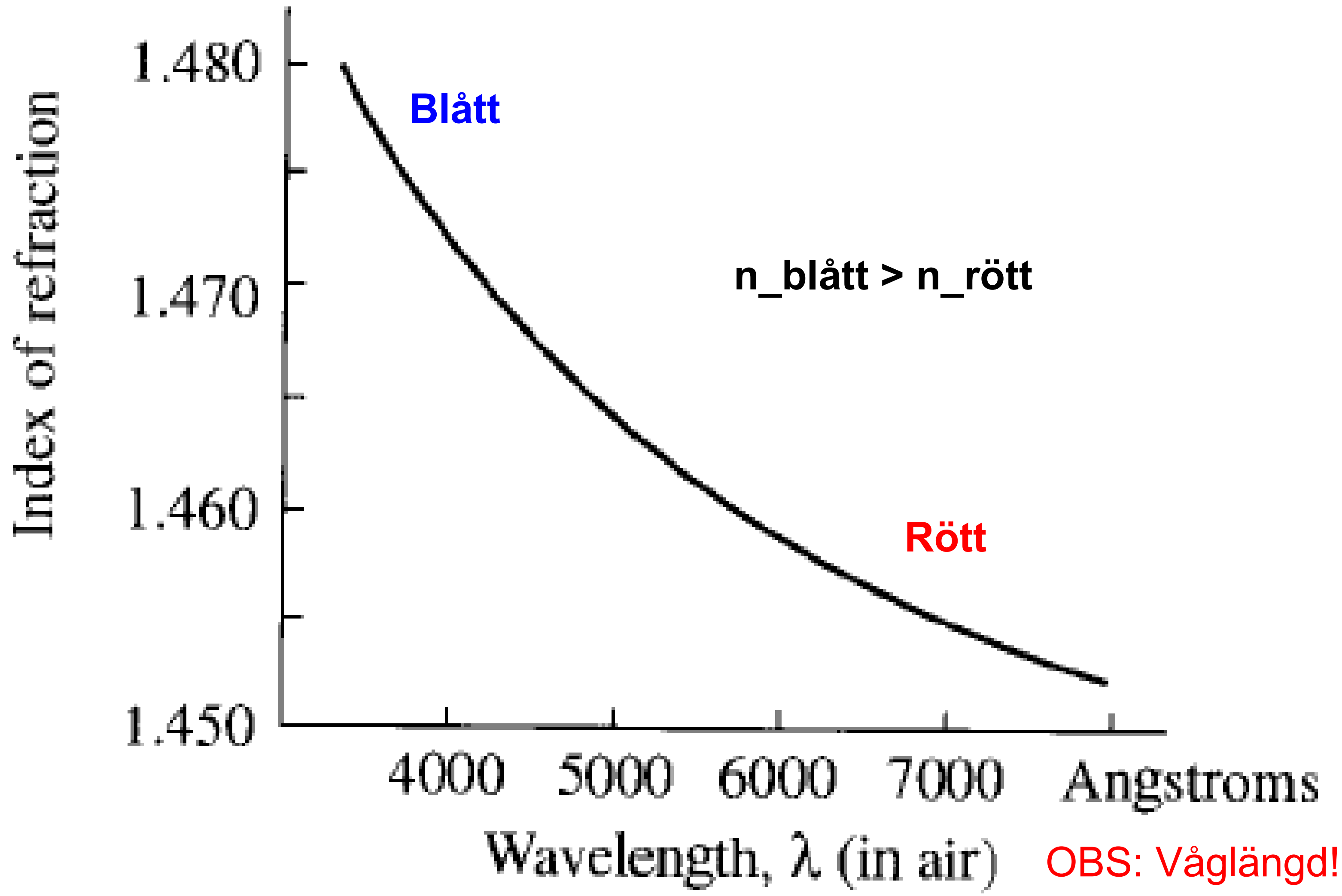
Energin bevaras: $R + T = 1$

Exempel på reflektion

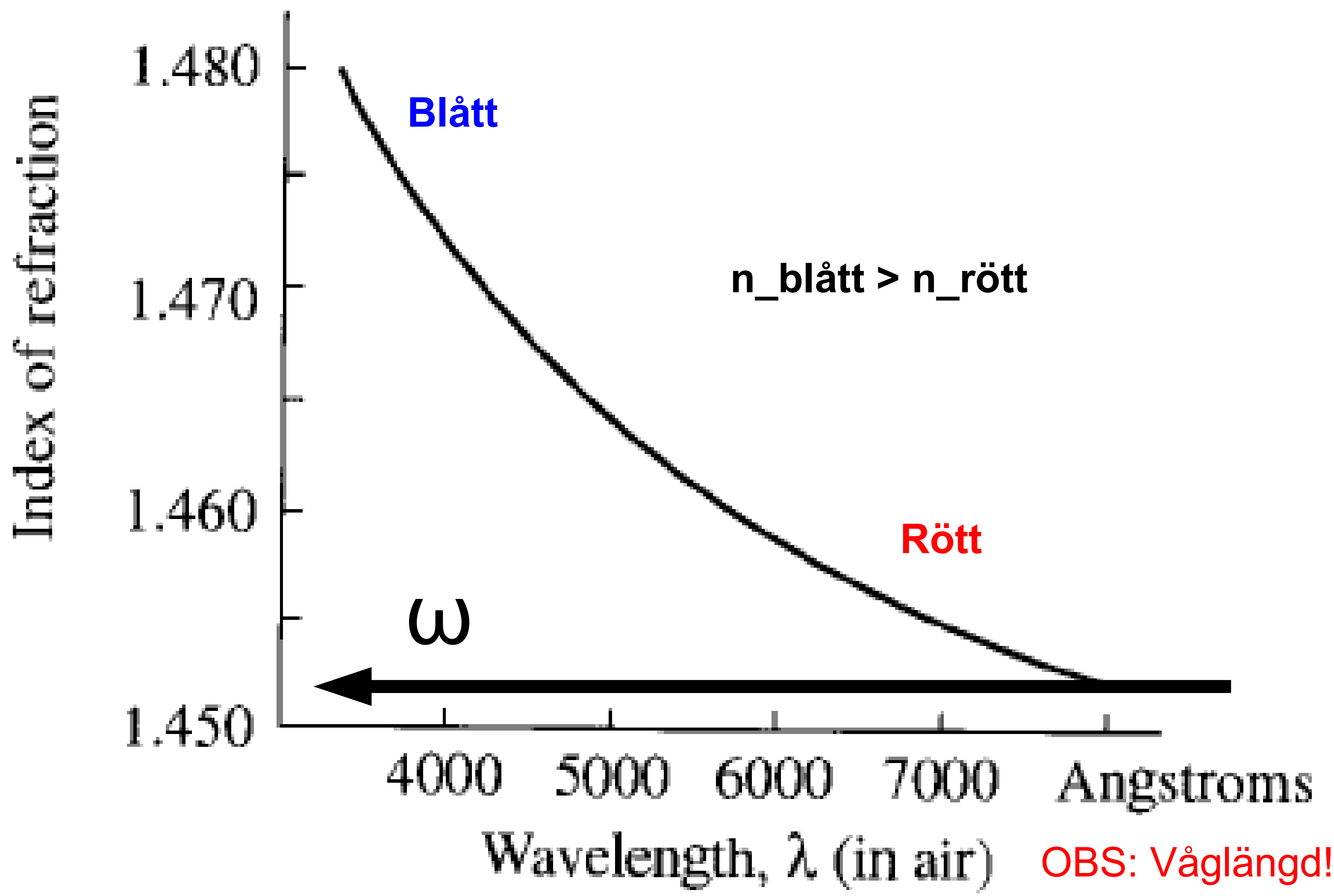
$R = (n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2$

Vakuum:	$n=1$	
Luft:	$n \approx 1.0002$	
Vatten:	$n \approx 1.333$	$R \approx 2\%$
Glas:	$n \approx 1.517$	$R \approx 4\%$
Diamant:	$n \approx 2.417$	$R \approx 17\%$

Brytningsindex vid optiska våglängder



Brytningsindex vid optiska våglängder



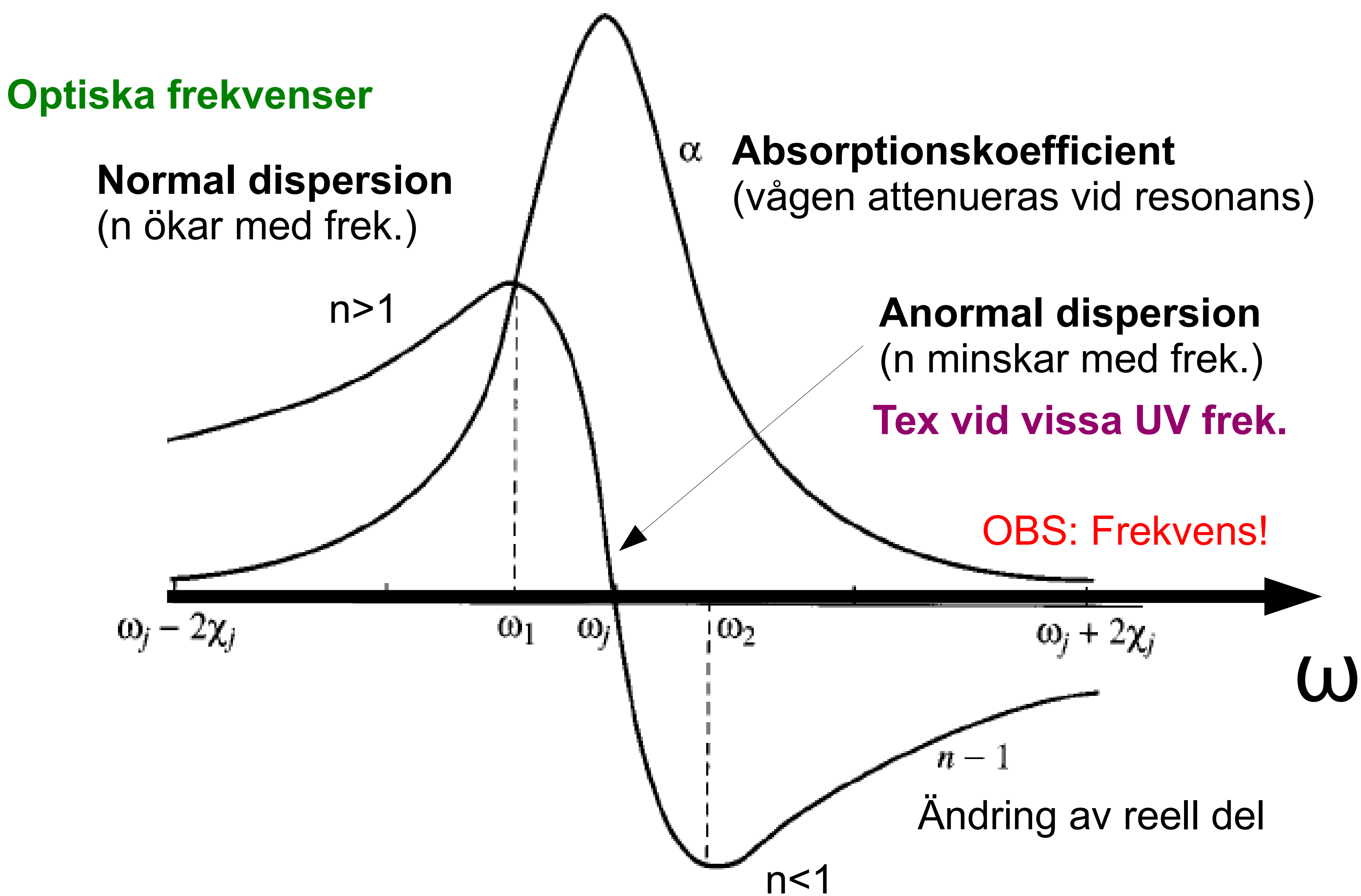
n ökar med ω kallas “normal dispersion”

Cauchys formel

$$n=1+A(1+B/\lambda^2)$$

Gäller för många material vid optiska (röd-blå) våglängder.

Brytningsindex vid atomär resonans



Vad händer om det är
ett ledande material?

EM vågor i ledande material

Ingen fri laddning: $\rho_f = 0$

$$\text{(i)} \quad \nabla \cdot \mathbf{E} = 0, \qquad \text{(iii)} \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t},$$

$$\text{(ii)} \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \qquad \text{(iv)} \quad \nabla \times \mathbf{B} = \mu\epsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu\sigma\mathbf{E}$$

Ohms lag:

$$\mathbf{J}_f = \sigma \mathbf{E}.$$

- Vågekvation med en extra term:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} + \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

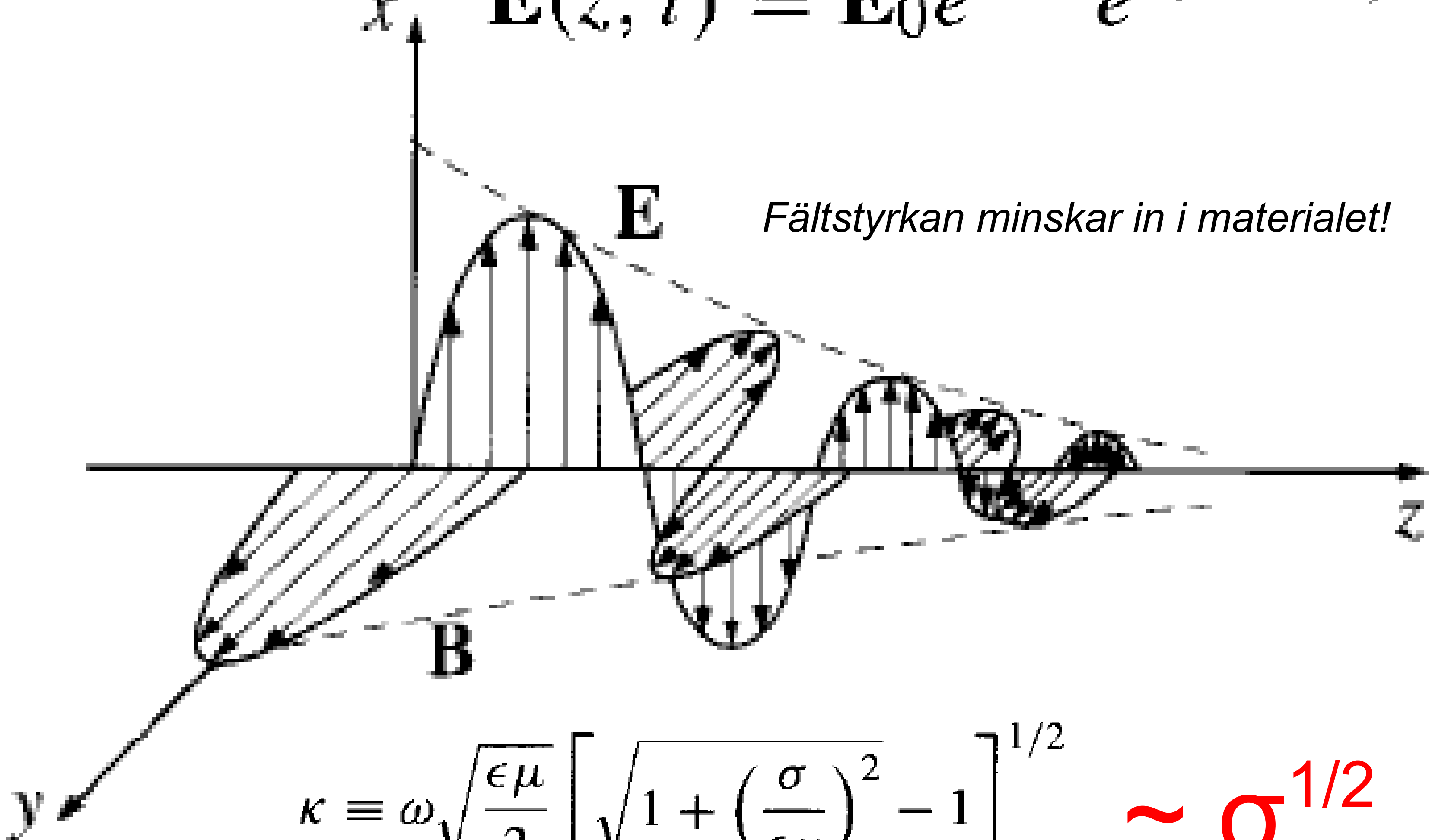
- Planvågansats:

$$\tilde{\mathbf{E}}(z,t) = \tilde{\mathbf{E}}_0 e^{i(\tilde{k}z-\omega t)}$$

- $\tilde{k}^2 = \mu\epsilon\omega^2 + i\mu\sigma\omega \rightarrow$ Komplext vågtal $\tilde{k} \doteq k + i\kappa$

Absorberande material

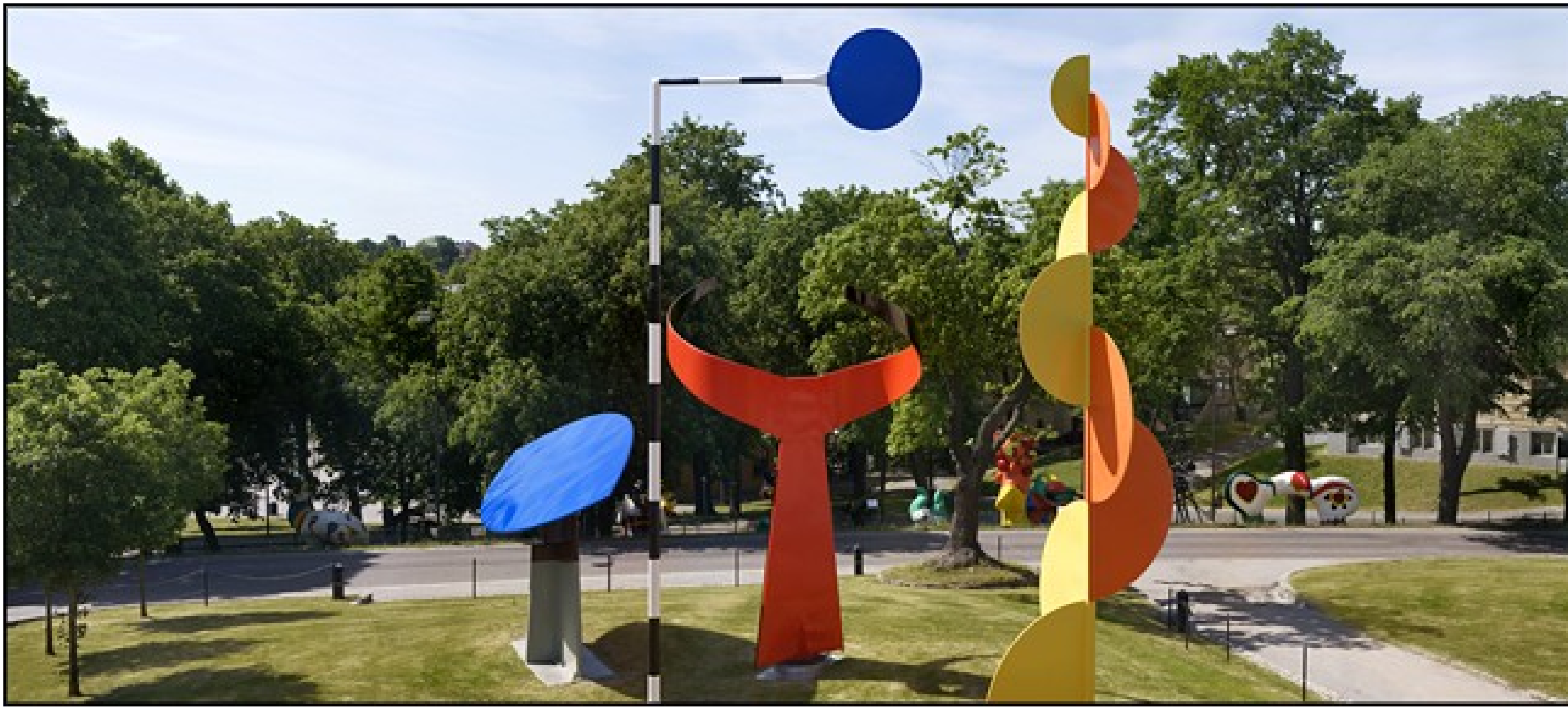
$$\tilde{\mathbf{E}}(z,t) = \tilde{\mathbf{E}}_0 e^{-\kappa z} e^{i(kz-\omega t)}$$



Fältstyrkan minskar in i materialet!

$$\kappa \equiv \omega\sqrt{\frac{\epsilon\mu}{2}}\left[\sqrt{1+\left(\frac{\sigma}{\epsilon\omega}\right)^2}-1\right]^{1/2} \quad \sim \sigma^{1/2}$$

Moderna museet



Alexander Calder “De fyra elementen”
utanför Moderna Museet i Stockholm.

Reflektion mot en perfekt ledare

$$(\sigma = \infty)$$

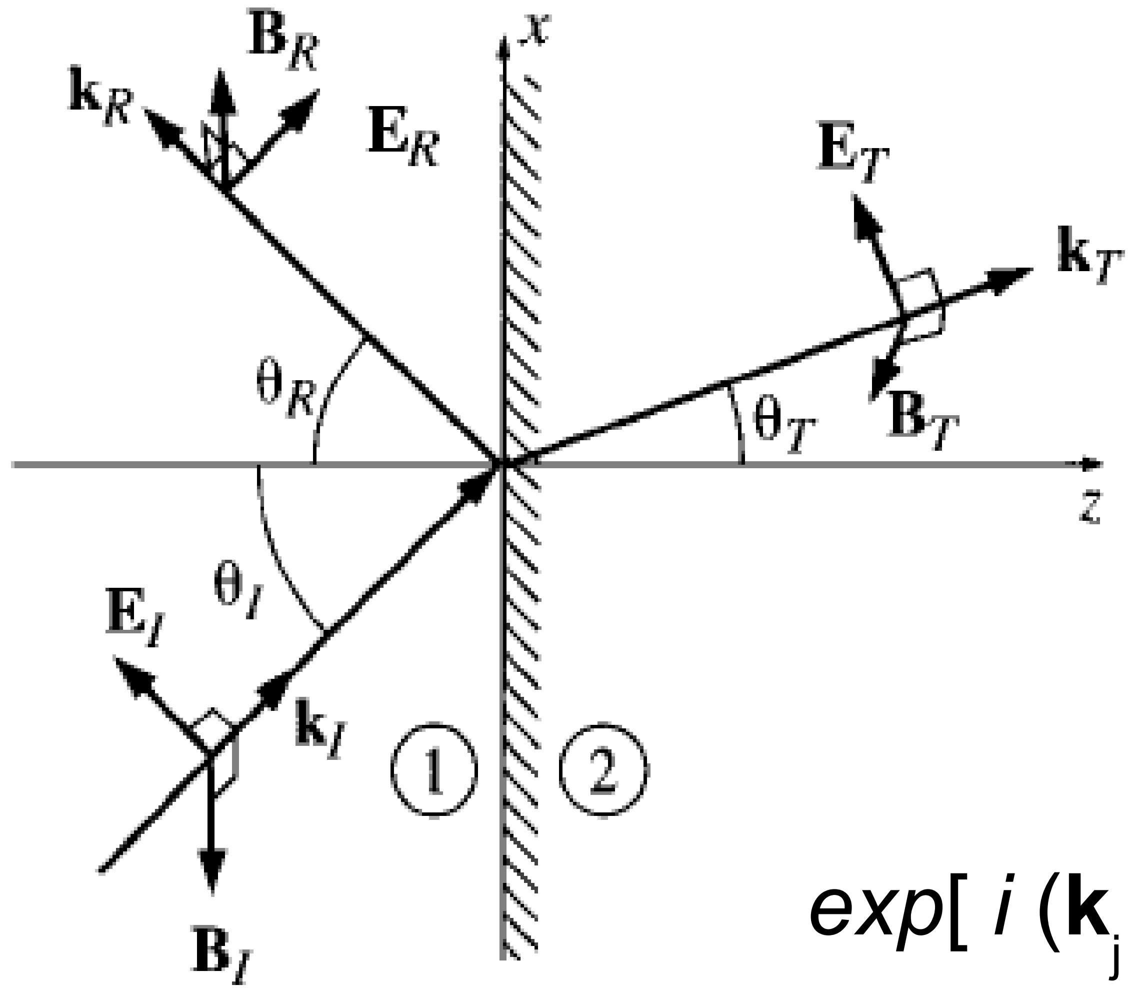
$$\tilde{E}_{0_R} = -\tilde{E}_{0_I}, \quad \tilde{E}_{0_T} = 0.$$

Det elektriska fältet är noll
i och på ytan som i <u>statiken</u>!

R=100%

(perfekt spegel)

Infallande, refleketerade och transmitterade plana vågor



$exp[\, i\,(\mathbf{k}_j \cdot \mathbf{r} - \omega t)\,]$

Geometrisk optik

Allt om geometrisk optik kan härledas med matchning av planvåger på ytan, z=0:

$$(\cdots)\exp[\, i\,\mathbf{k}_I\cdot\mathbf{r}_{||}] + (\cdots)\exp[\, i\,\mathbf{k}_R\cdot\mathbf{r}_{||}]$$

$$=$$

$$(\cdots)\exp[\, i\,\mathbf{k}_T\cdot\mathbf{r}_{||}],$$

$$\mathbf{r}_{||} = \mathbf{r} - (\mathbf{n}\cdot\mathbf{r})\mathbf{n} = (x,y,0)$$

Geometrisk optik

Allt om <u>geometrisk optik</u> kan härledas med matchning av planvåger på ytan:

$$(\ )\exp[\,i\,\mathbf{k}_I\cdot\mathbf{r}_{||}] + (\ )\exp[\,i\,\mathbf{k}_R\cdot\mathbf{r}_{||}]$$

$$=$$

$$(\ )\exp[\,i\,\mathbf{k}_T\cdot\mathbf{r}_{||}],$$

$\mathbf{k}_{||}=\mathbf{k}_{||I}=\mathbf{k}_{||R}=\mathbf{k}_{||T}$ *samma för alla!*

Geometrisk optik

Allt om <u>geometrisk optik</u> kan härledas med matchning av planvåger på ytan:

$$(\ ) \exp[\, i \, \mathbf{k}_I \cdot \mathbf{r}_{||}] + (\ ) \exp[\, i \, \mathbf{k}_R \cdot \mathbf{r}_{||}]$$

$$=$$

$$(\ ) \exp[\, i \, \mathbf{k}_T \cdot \mathbf{r}_{||}],$$

$$\mathbf{k}_i = \mathbf{k}_{\perp i} + \mathbf{k}_{||} \quad : \text{samma plan!}$$

Allt om geometrisk optik

#1 Det *“**infallande planet**”* innehåller $\mathbf{k_I}$, $\mathbf{k_R}$,$\mathbf{k_T}$ och **n**.

#2 Reflektionslagen:

$k_{||I} = k_{||R} \quad \leftrightarrow \quad k_1 \sin\theta_I = k_1 \sin\theta_R$

$\rightarrow \quad \boldsymbol{\theta_R = \theta_I}$

#3 Brytningslagen (*“Snells lag”*):

$k_{||I} = k_{||T} \quad \leftrightarrow \quad k_1 \sin\theta_I = k_2 \sin\theta_T$

$\rightarrow \quad \mathbf{\sin\theta_T/\sin\theta_I = n_1/n_2}$

(Kom ihåg dispersions relationen: $\omega = kv = kc/n$)

Randvärden

(mellan två linjära material utan fri laddning)

(Gauss)

$$\text{(i)}\quad \epsilon_1 E_1^{\perp} = \epsilon_2 E_2^{\perp},$$

(Stokes)

$$\text{(iii)}\quad \mathbf{E}_1^{\parallel} = \mathbf{E}_2^{\parallel},$$

$$\text{(ii)}\quad B_1^{\perp} = B_2^{\perp},$$

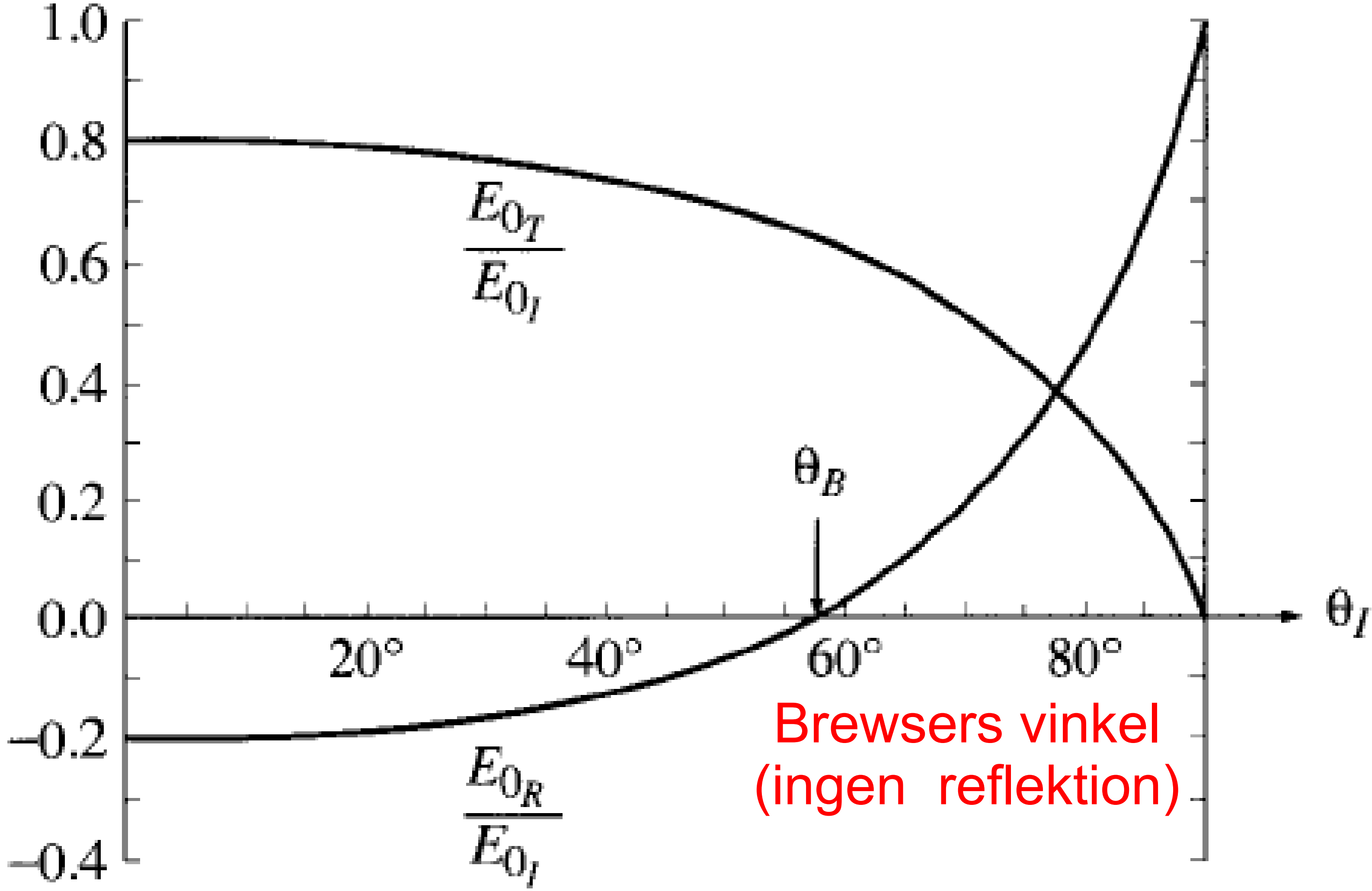
(Inget namn)

$$\text{(iv)}\quad \frac{1}{\mu_1}\mathbf{B}_1^{\parallel} = \frac{1}{\mu_2}\mathbf{B}_2^{\parallel}$$

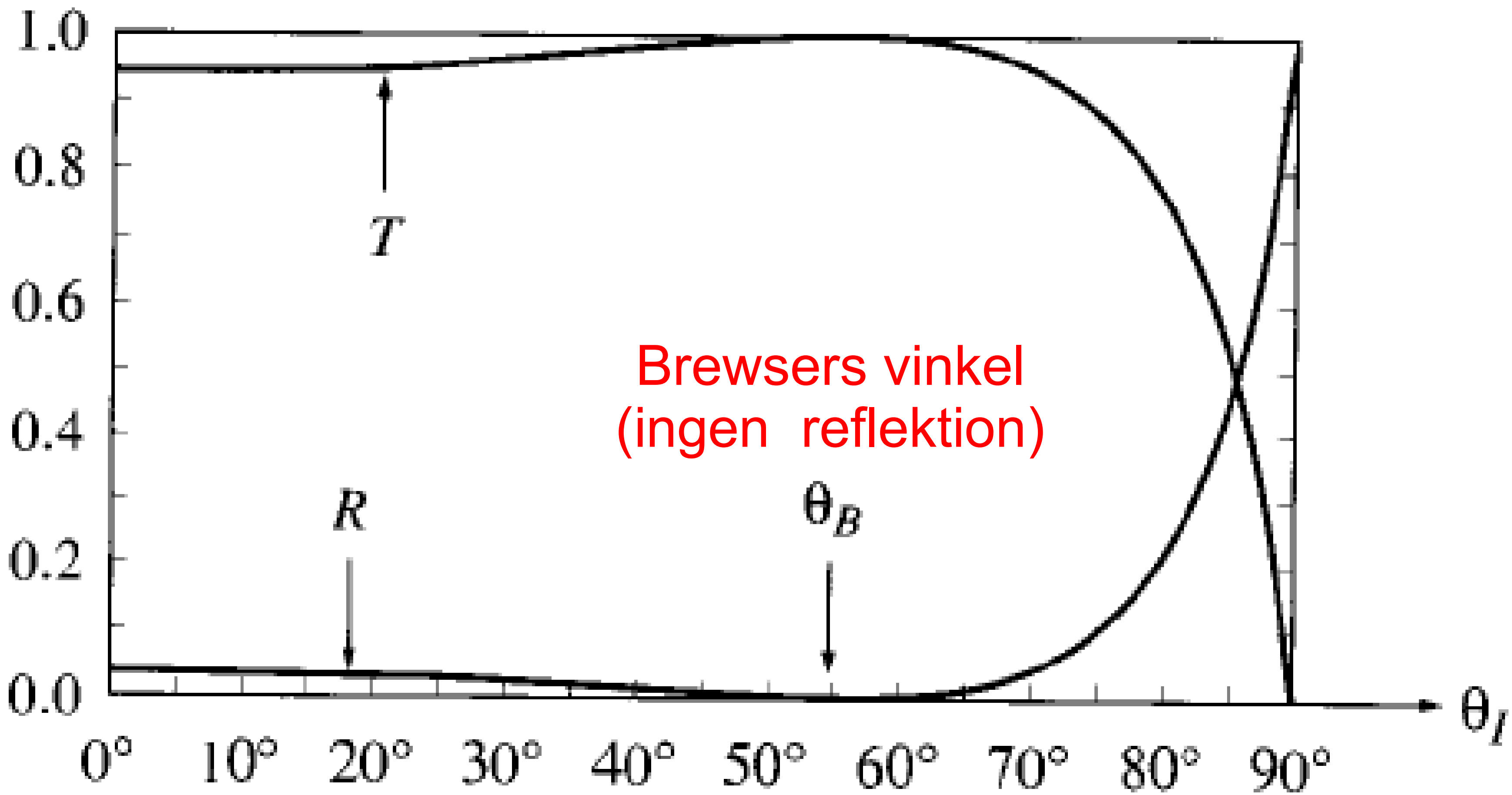
(Amperes)

Reflektion och transmission vid θ_I

(med E polariserad i infallande planet)



Reflektion och transmission
(med E polariserad i infallande planet)



Sammanfattning:

- Brytningsindex är frekvensberoende:

  - Blått går långsammare än rött (normal disp).

  - *Anormal* dispersion vid atomära resonanser.

- EM vågor i absorberas i ledande material

  - Attenuerade plana vågor (komplext **k**)

- Geometrisk optik ges av yt-matchning av plana vågor.
- Brewsters vinkel ger vågor reflekterade vågor med linjär polarisering ut ur det infallande planet.