



*photronics
research
group*

Modellering van niet-lineaire nanofotonische componenten gebaseerd op fotonische kristallen

Björn Maes

30 mei 2005



Toepassing



Nieuwe DVD standaarden

Tweede-harmonische generatie

Overzicht

Concepten:

- Modes, fotonische kristallen
- (Niet-)lineariteiten
- Modelling met modes

Kerr modellering:

- Methode
- Voorbeeld
- Gap soliton

Tweede-harmonische modellering:

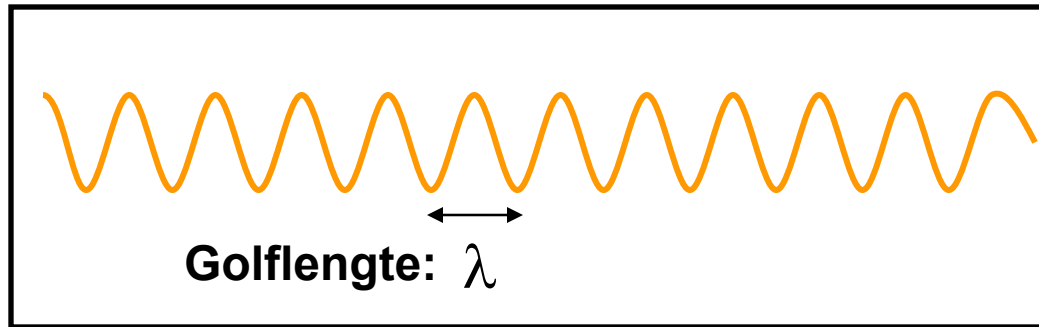
- Methode
- Voorbeeld

Conclusies

Brekingindex

Lichtsnelheid in materiaal verkleint

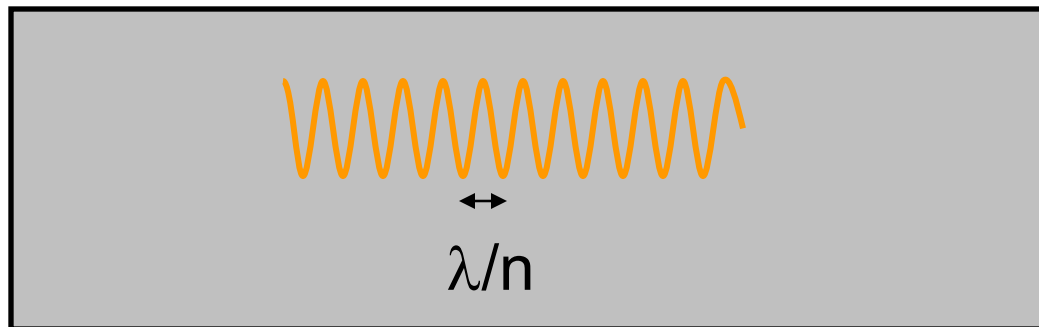
Snelheid:
 c



Vacuum met
index 1

frequentie = constante

c/n



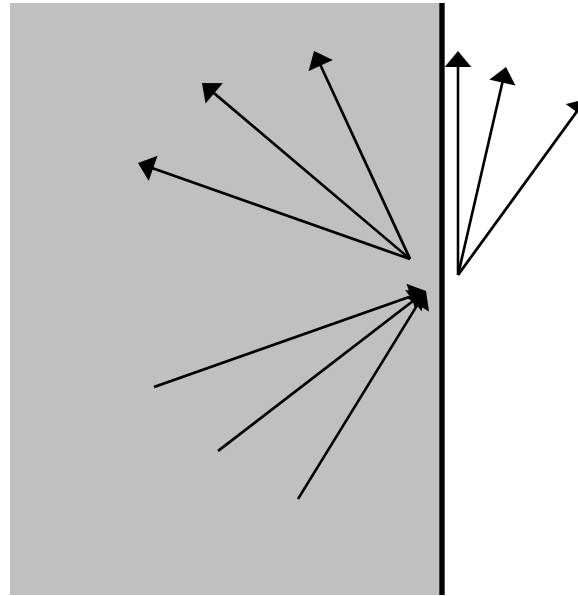
Materiaal met
index n

Microscopisch

Reflectie en transmissie

Verschillende indices: interface

Maxwell → randvoorwaarden

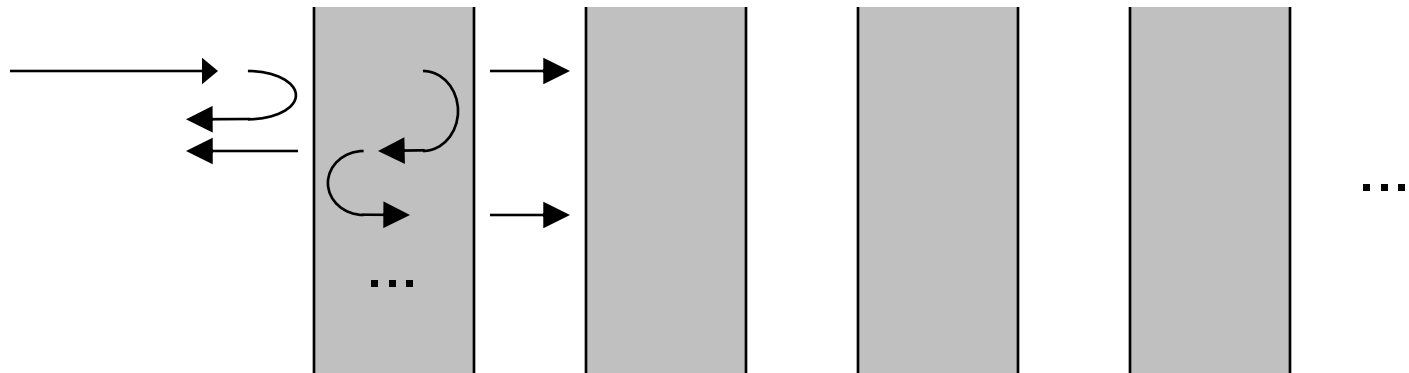


Totale interne reflectie

Meerdere interfaces

Constructieve en destructieve interferentie

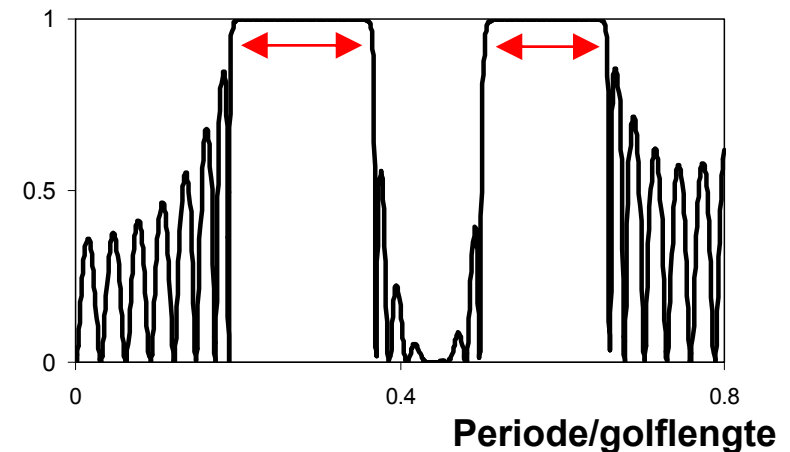
(Analogie)



Periodische structuur

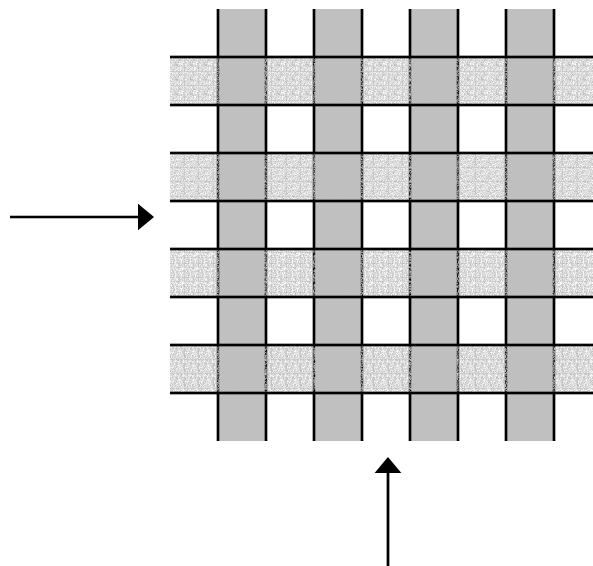
⇒ Frekwentiebanden met totale reflectie: **'Bandgap'**

Reflectie voor 8 periodes



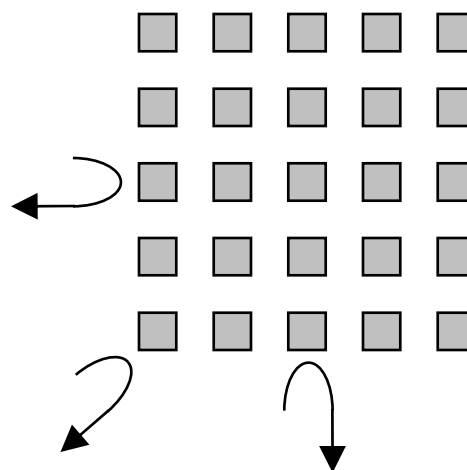
Fotonische kristallen

Alle richtingen?



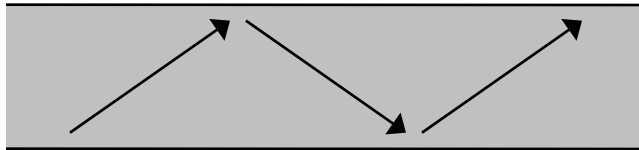
Ja! \Rightarrow 2D fotonische kristallen

'Perfecte' spiegel

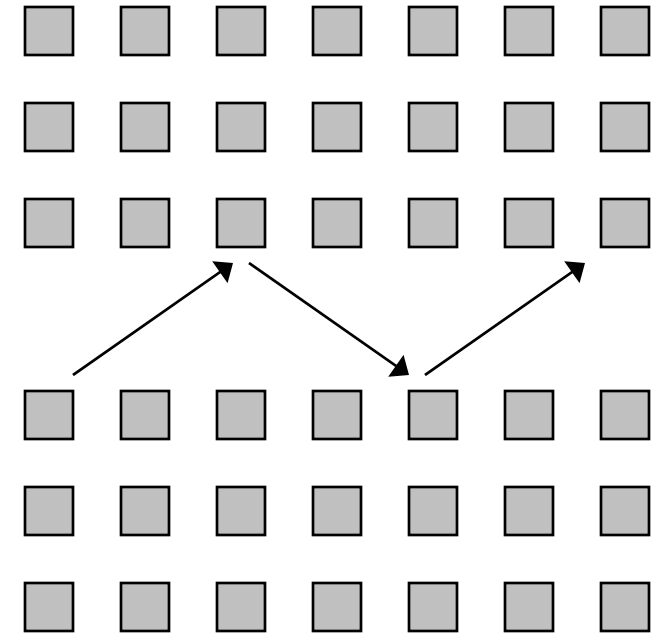


Toepassing: Geleide modes

Golfgeleider

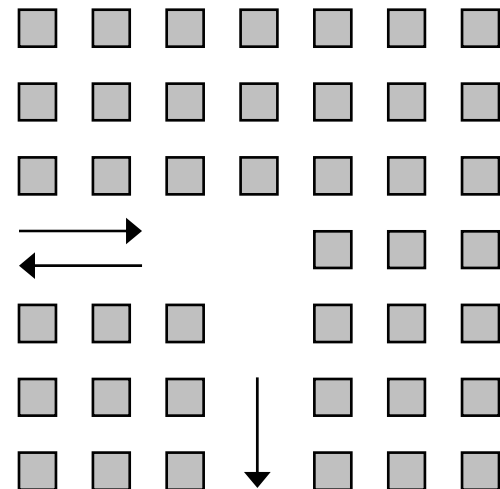
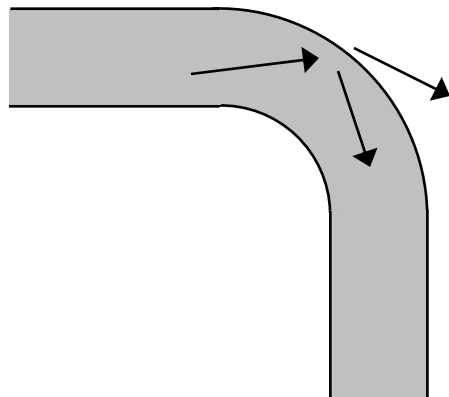
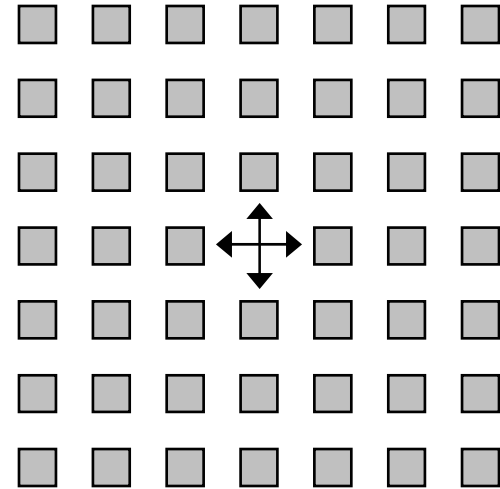
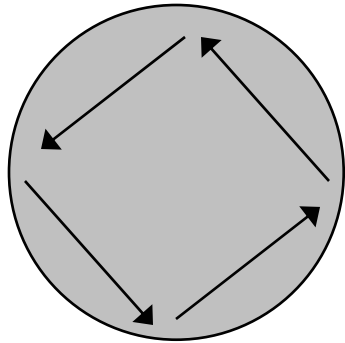


Totale interne reflectie



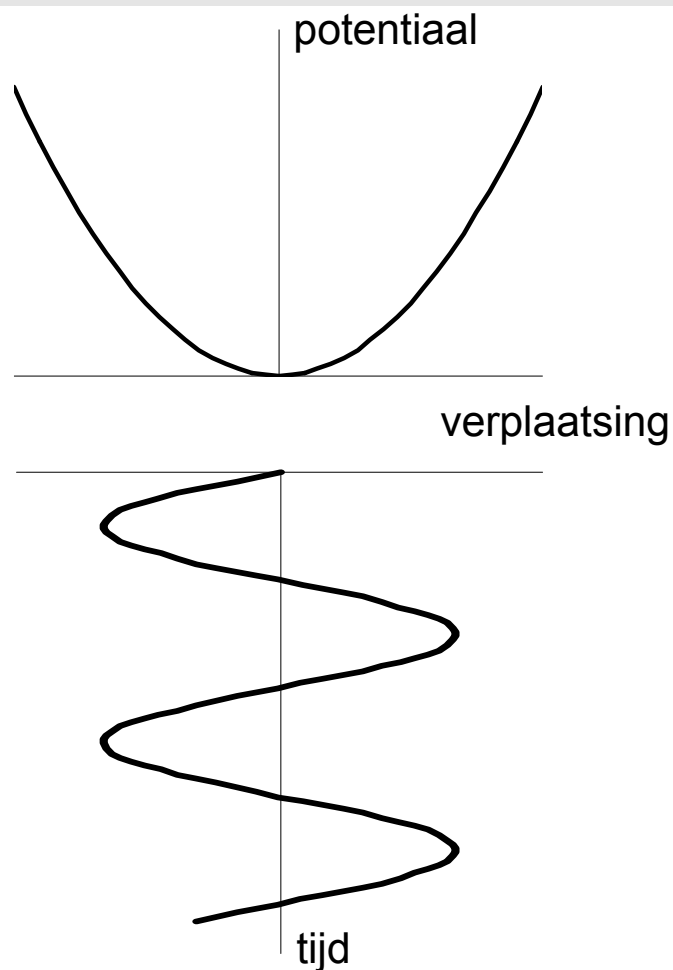
Bandgap reflectie

Caviteiten en bochten



Oorsprong (niet-)lineariteiten

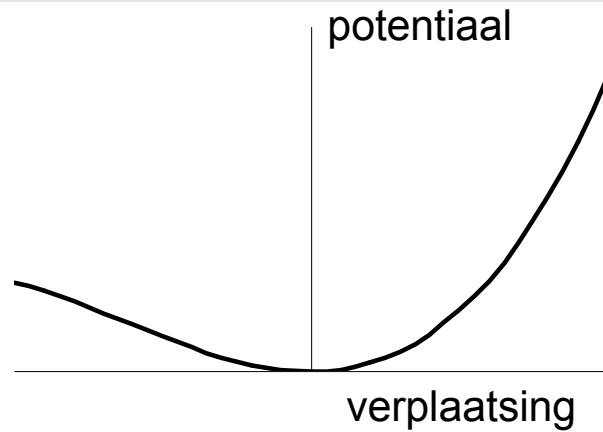
**Klassieke
potentiaalput**



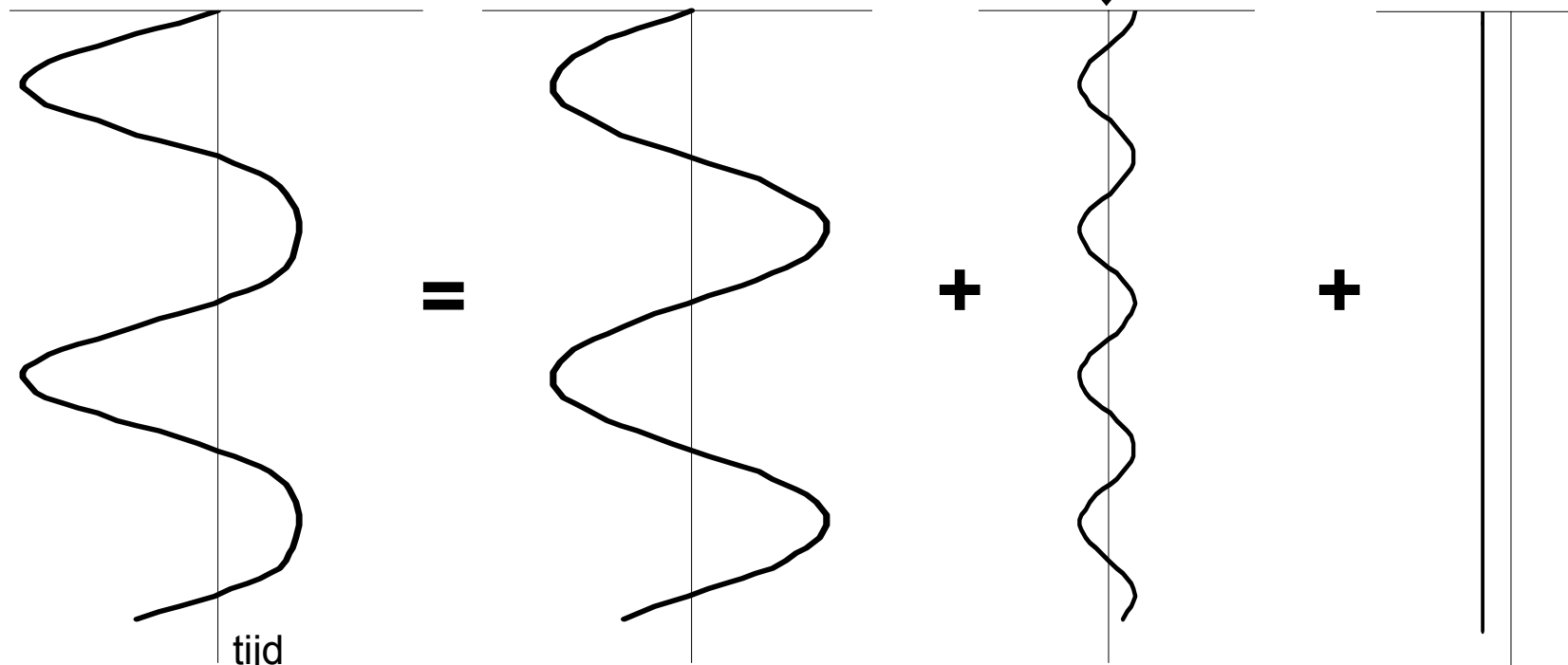
Amplitude evenredig met veldsterkte

→ Index onafhankelijk veldsterkte → Lineair

Asymmetrische put

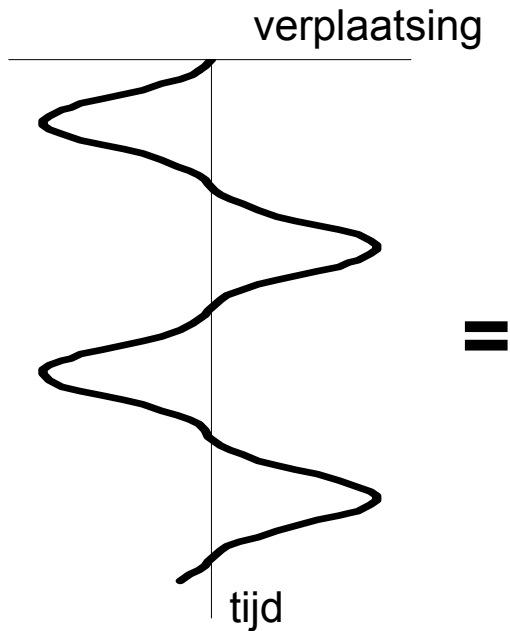
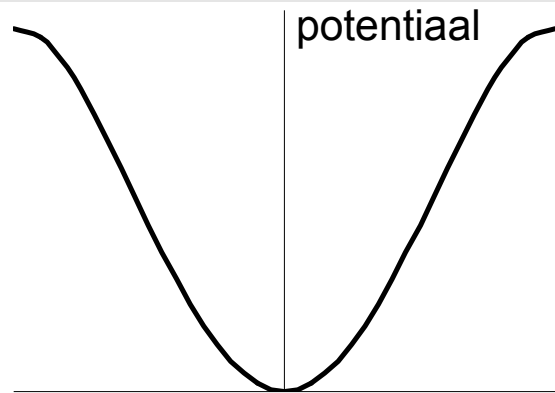


Nieuwe frekwentie
→ 2^e-harmonische generatie



Afhankelijk van de veldsterkte² → Niet-lineair

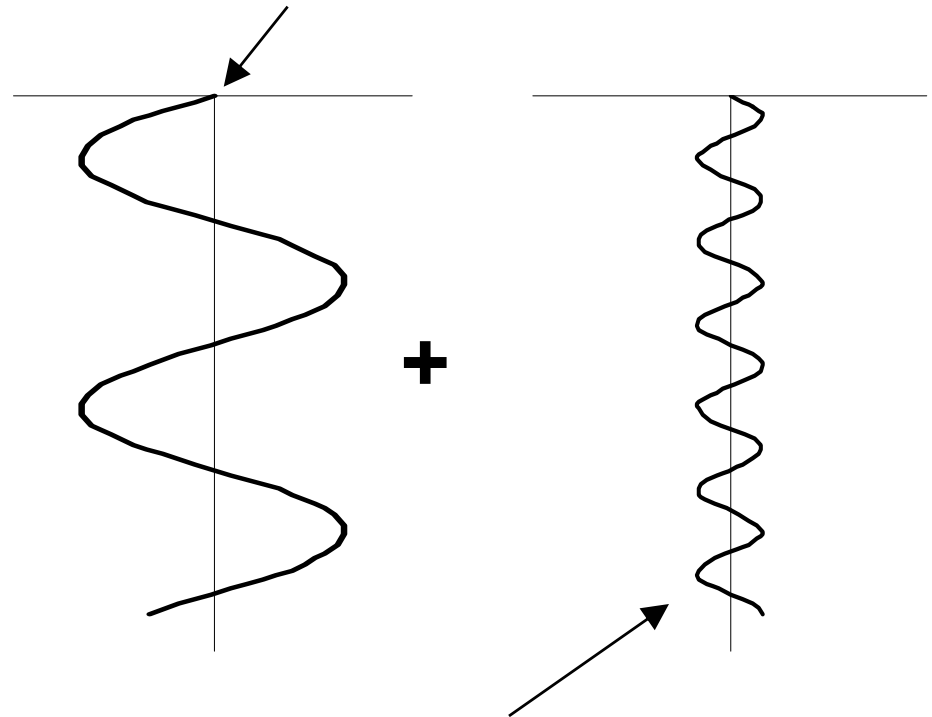
Kerr effect



Amplitude afhankelijk van veldsterkte³

→ Index afh. van veldsterkte²

$$n = n_{\text{lineair}} + n_{\text{Kerr}} |E|^2$$

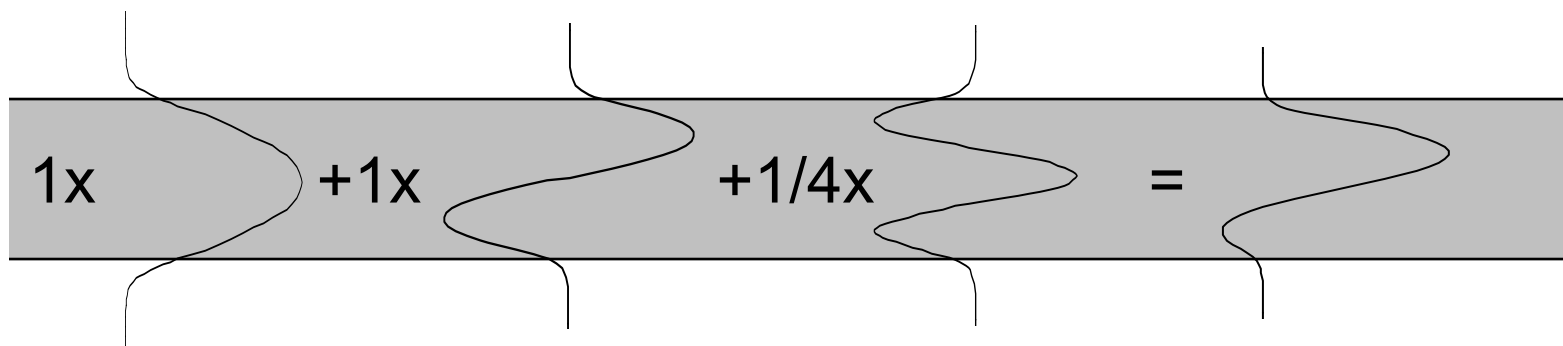


3^e-harmonische generatie

Modellering met mode-expansie

Invariante structuur

Meerdere modes

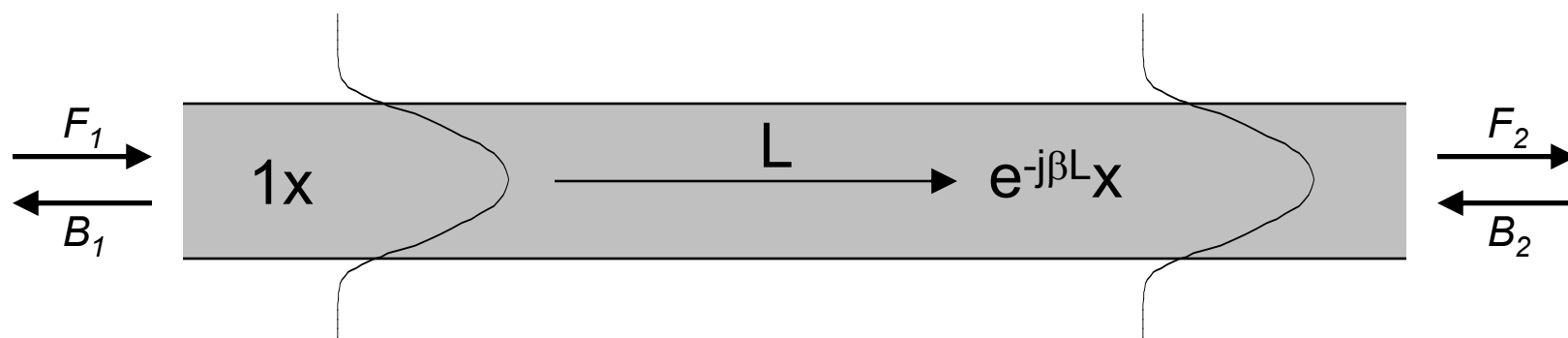


Willekeurig veld beschreven als som van modes

$$\underline{E}(\underline{r}), \underline{H}(\underline{r}) \leftrightarrow \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1/4 \\ \dots \end{bmatrix}$$

Propagatie in een sectie

Propagatie constanten



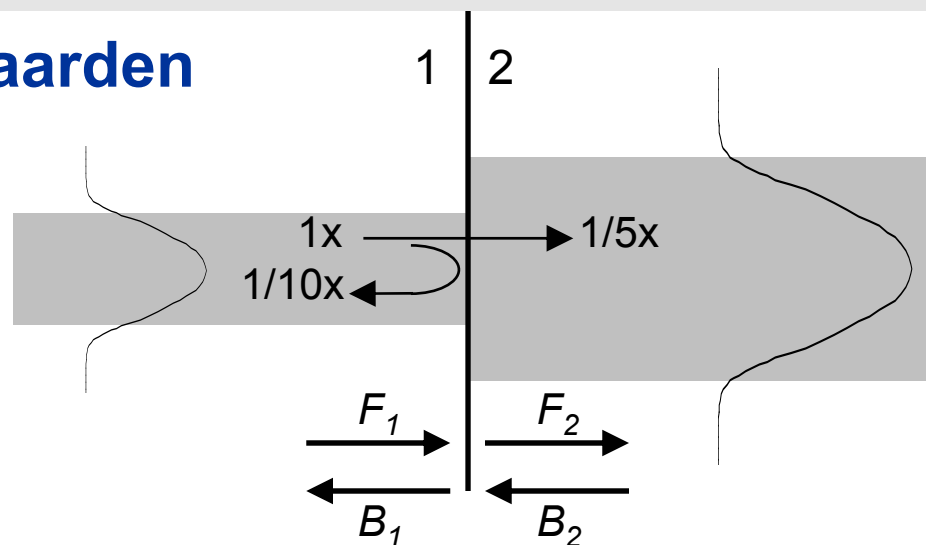
Modes in beide richtingen

Verstrooiingsmatrix

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} * & 0 \\ 0 & * \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ B_2 \end{bmatrix}$$

Modes aan een interface

Randvoorwaarden



(Opnieuw) verstrooiingsmatrix

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} * & * \\ * & * \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ B_2 \end{bmatrix}$$

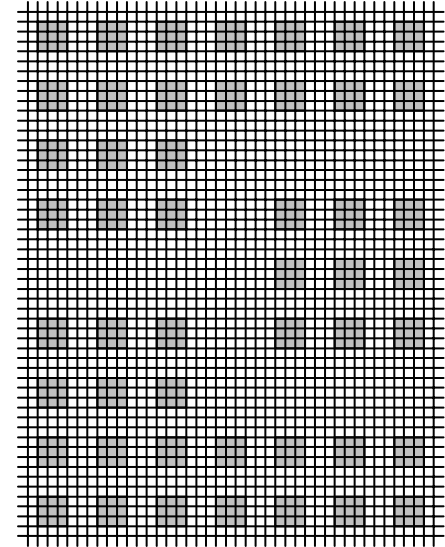
⇒ **Combinatie levert globale matrix**

Alle info over een **lineaire** structuur

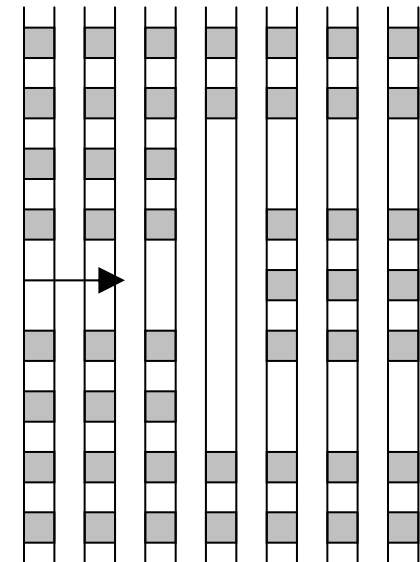
Eigenschappen



- Geen rooster**
- Bidirectioneel, mode-inzicht**
- Hergebruik bij periodiciteit**



- Modes vinden**
- Grillige structuren**



Overzicht

Concepten:

- Modes, fotonische kristallen
- (Niet-)lineariteiten
- Modelling met modes

Kerr modellering:

- Methode
- Voorbeeld
- Gap soliton

Tweede-harmonische modellering:

- Methode
- Voorbeeld

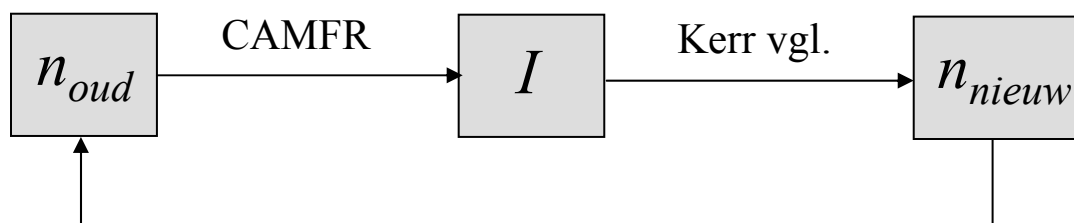
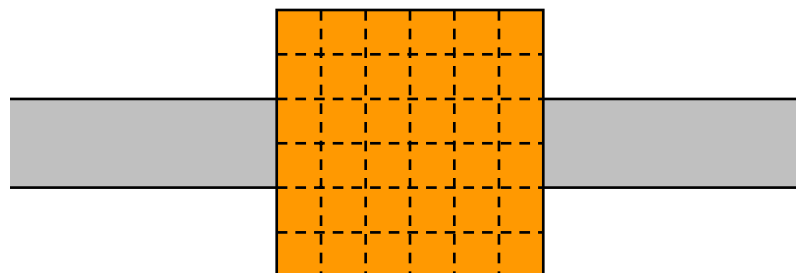
Conclusies

Modelleren van het Kerr effect

Index afh. van lokale intensiteit

$$n = n_{\text{lineair}} + n_{\text{Kerr}} I$$

Rooster + opeenvolging van lineaire simulaties



Als $n_{\text{oud}} \approx n_{\text{nieuw}}$ Opgelost

Anders $n_{\text{oud}} \leftarrow n_{\text{nieuw}}$

Eigenschappen

+

Lineaire secties 1 keer

Bidirectioneel

Eindige en periodische structuren

Sterke niet-lineariteiten

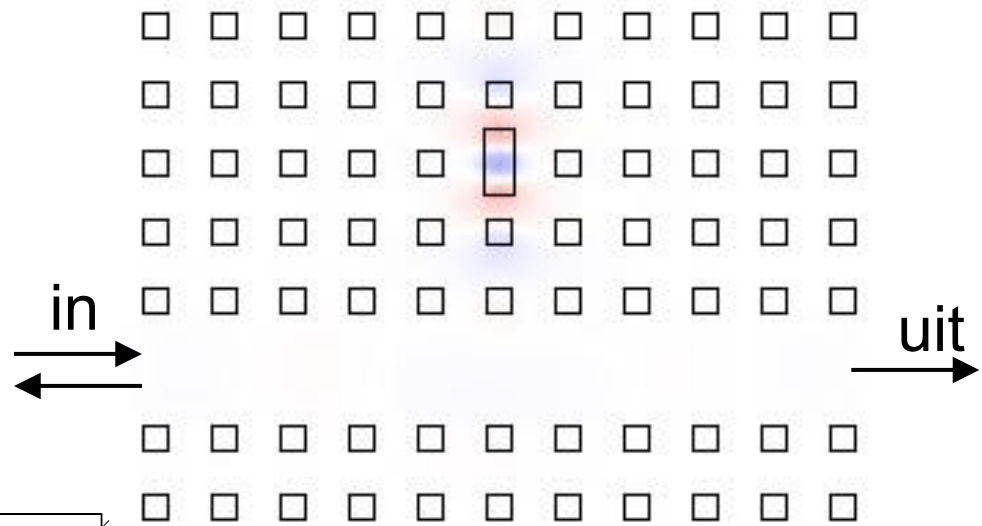
-

Rooster → schaalprobleem

Vinden van modes

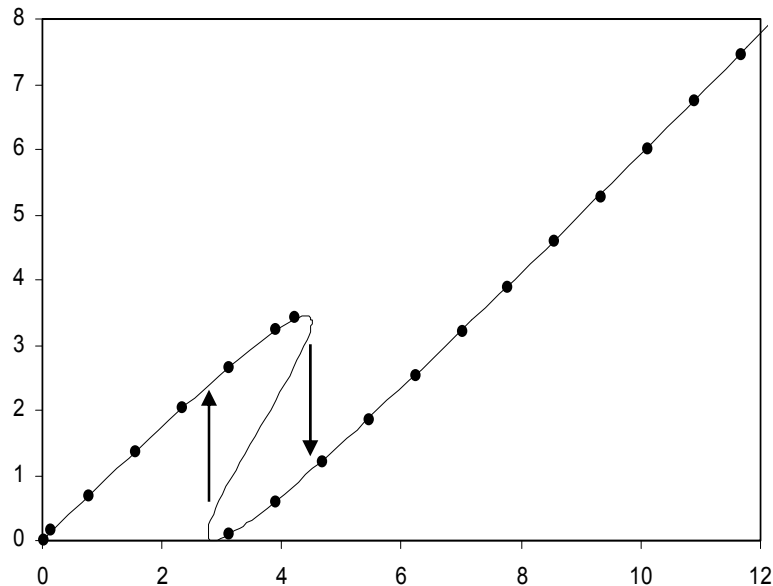
Voorbeeld

Resonator naast golfgeleider



Yanik et al, APL, 2003.

Vermogen uit



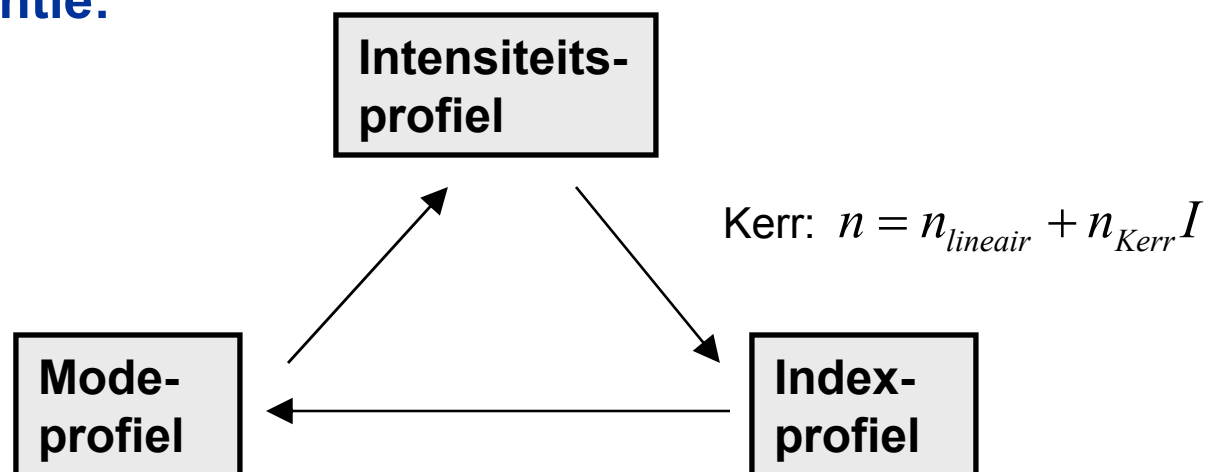
Vermogen in

Solitonen: concept

Soliton: onveranderlijke entiteit van een niet-lineair systeem

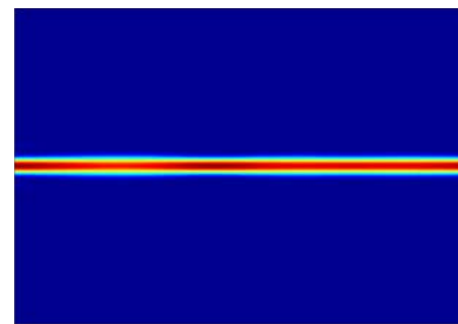
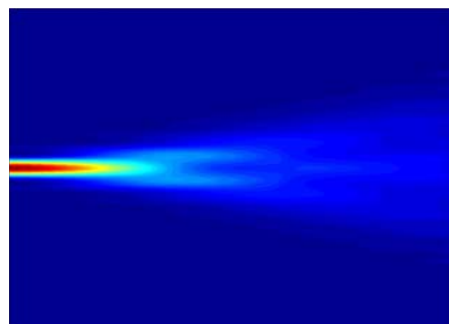
= niet-lineaire 'mode'

Zelf-consistentie:



Voorbeeld:

(Analogie: schaatsers)

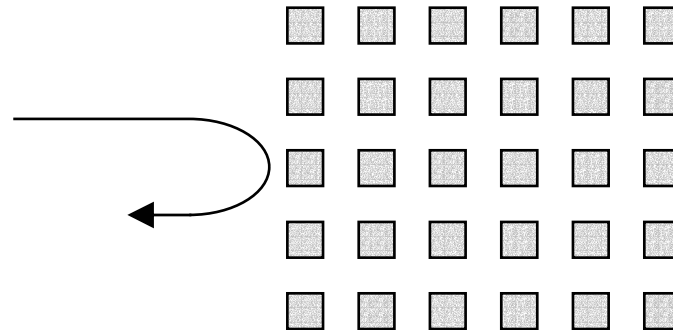


Gap solitonen

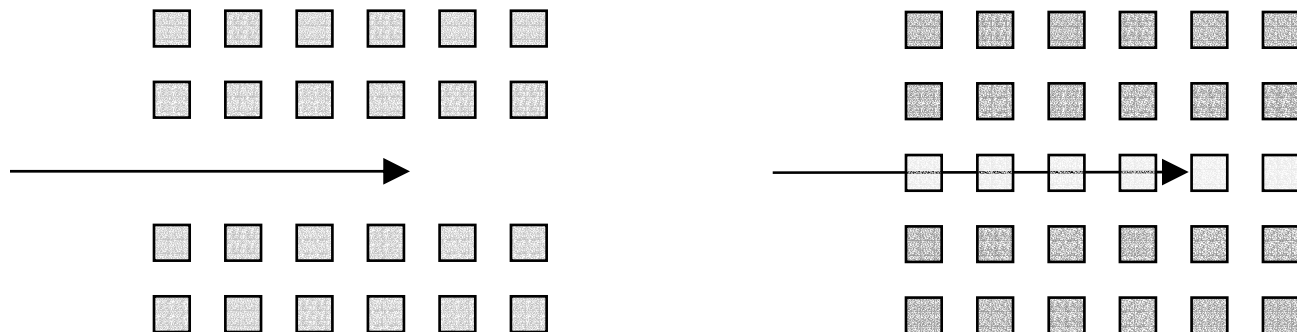
= soliton met frekwentie in de bandgap

Lineaire geval:

■ Zonder defecten



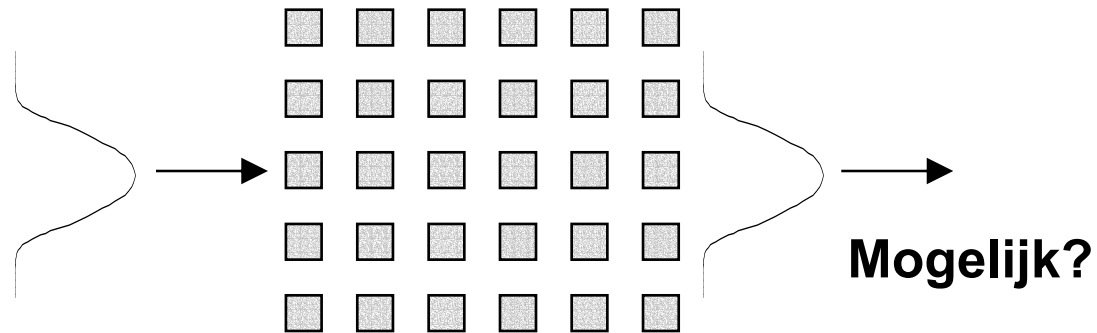
■ Met defecten



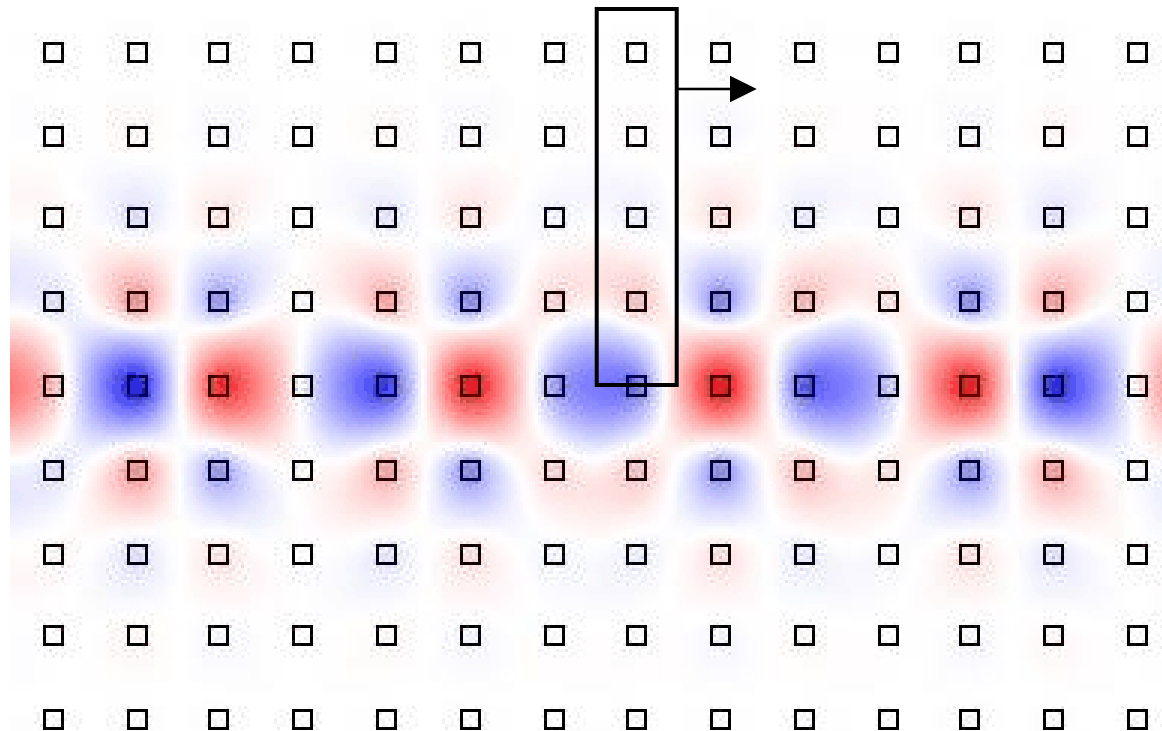
Gap solitonen: concept

Kerr niet-lineair kristal:

- Veld verandert de brekingsindex
- Veld veroorzaakt golfgeleider voor zichzelf



Gap soliton



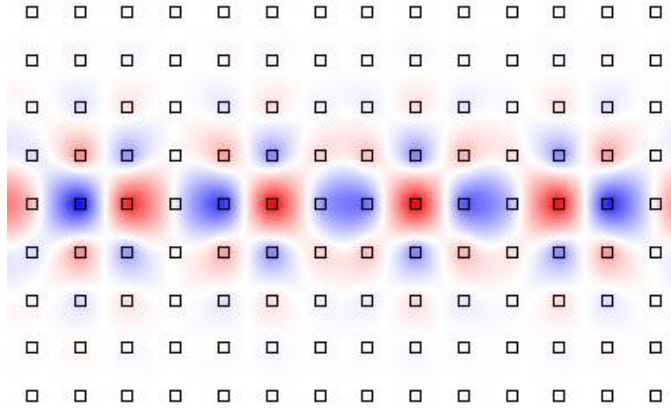
- Fundamentele mode van zelf-geïnduceerde golfgeleider in fotonisch kristal
- Ideaal voor Kerr modelleringstool

Soorten

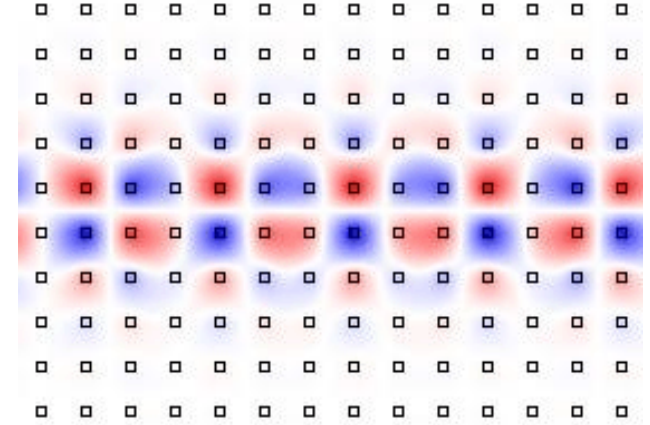
Normaal fot.

kristal $n_{\text{Kerr}} < 0$

On-site

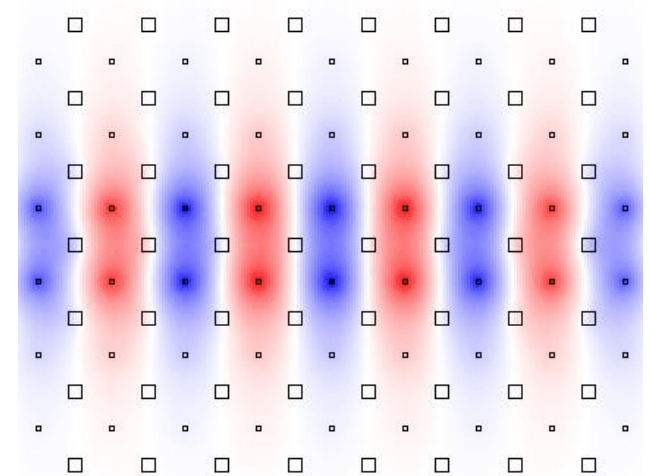
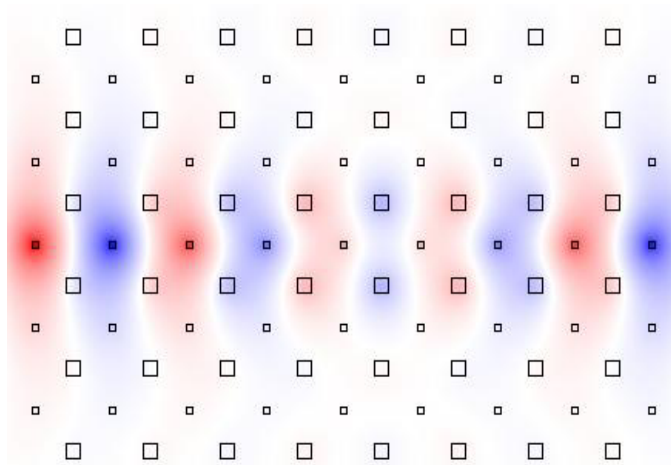


Inter-site



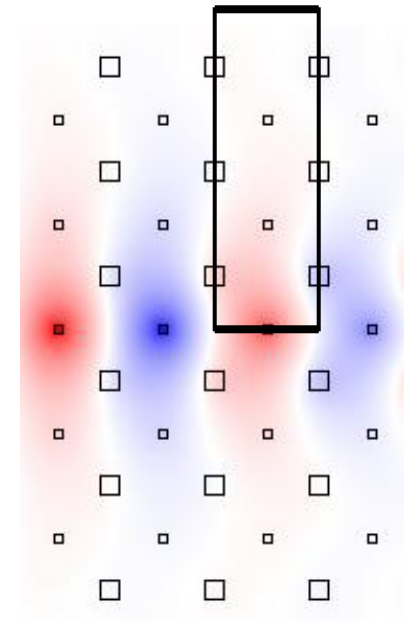
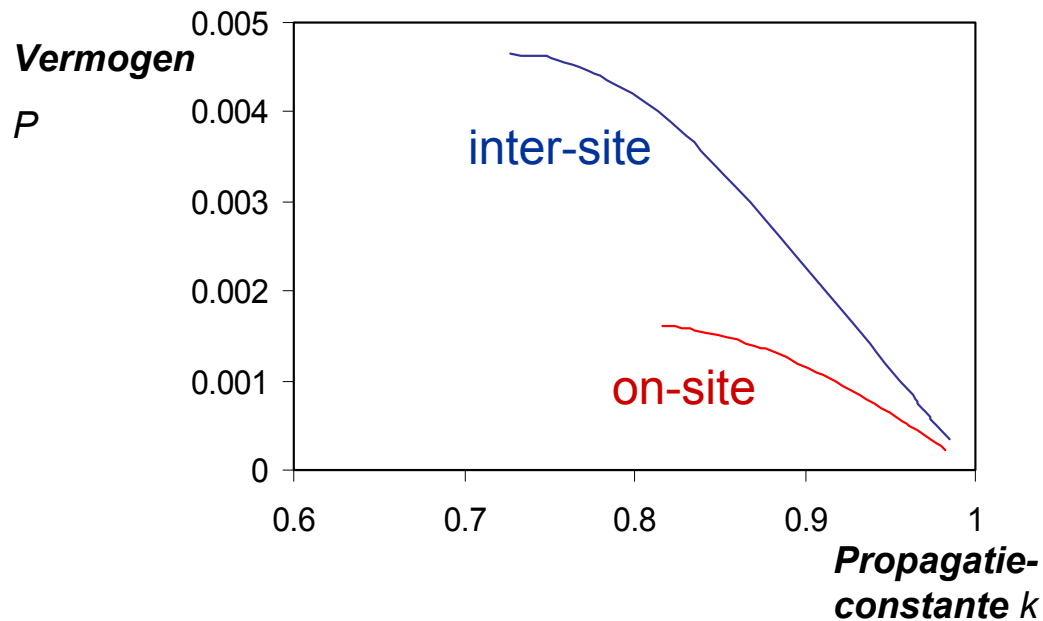
Diatomisch

fot. kristal $n_{\text{Kerr}} > 0$



Stabiliteit

...versus symmetrische verstoringen



⇒ **Stabiliteit verandert als** $\frac{dP}{dk} = 0$

Vakhitov-Kolokolov criterium,
 maar voor **2D** modes

Overzicht

Concepten:

- Modes, fotonische kristallen
- (Niet-)lineariteiten
- Modelling met modes

Kerr modellering:

- Methode
- Voorbeeld
- Gap soliton

Tweede-harmonische modellering:

- **Methode**
- **Voorbeeld**

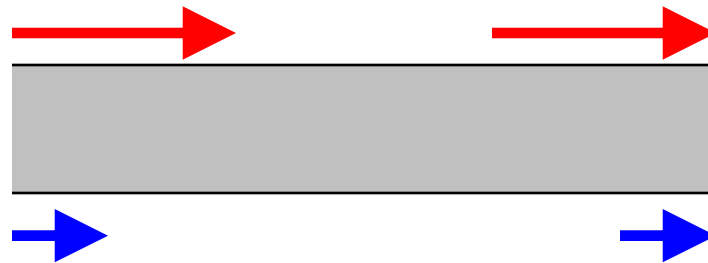
Conclusies

Modellering 2^e-harmonische generatie

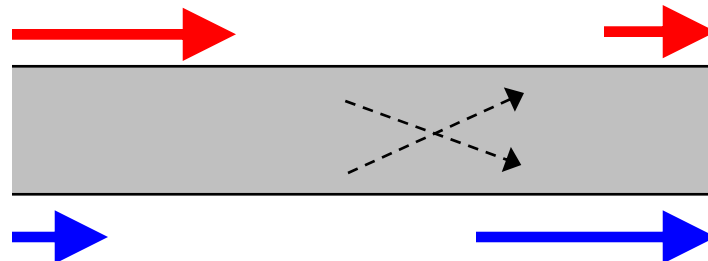
Asymmetrische potentiaal → generatie 2ω

Twee frekventies: ω en 2ω

Lineair ⇒ onafhankelijk

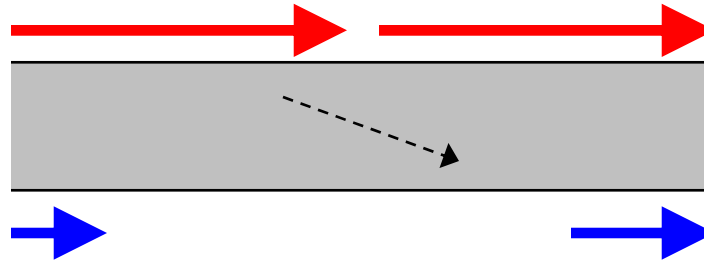


Niet-lineair ⇒ interactie



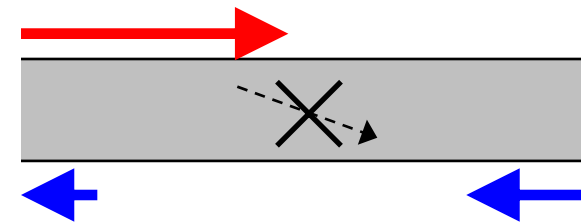
Modellering 2^e-harmonische generatie

Verwaarlozing uitputting ω



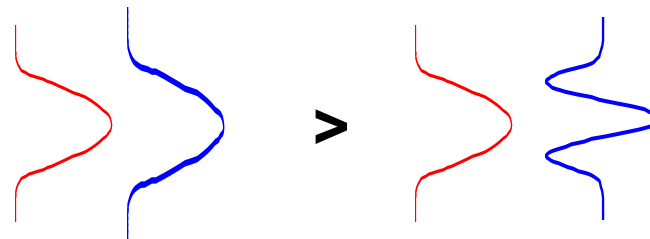
Modes in beide richtingen

Enkel codirectionele koppeling



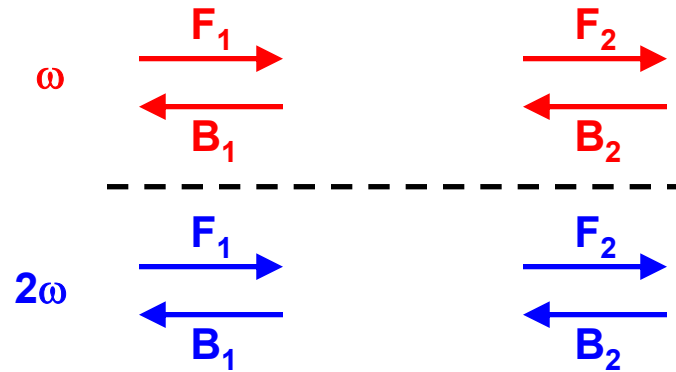
Koppeling afhankelijk van:

- Overlap



- Propagatieconstanten

Matrixformalisme



Linear:

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ B_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ B_2 \end{bmatrix}$$

Niet-lineair:

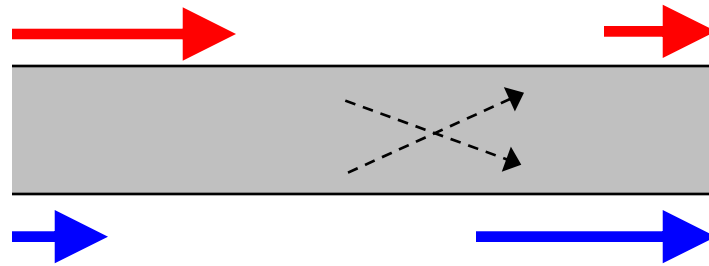
$$\begin{bmatrix} F_2 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ B_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ B_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} * \\ * \end{bmatrix}$$



Niet-iteratief

Formalisme met uitputting



Niet-lineair zonder uitputting:

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ B_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ B_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} * \\ * \end{bmatrix}$$

Niet-iteratief

Niet-lineair met uitputting:

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ B_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} * \\ * \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ B_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} * \\ * \end{bmatrix}$$

Iteratief

Eigenschappen



Geen rooster

Hergebruik bij periodiciteit

Keuze lineaire of niet-lineaire koppeling

Bidirectioneel, mode-inzicht

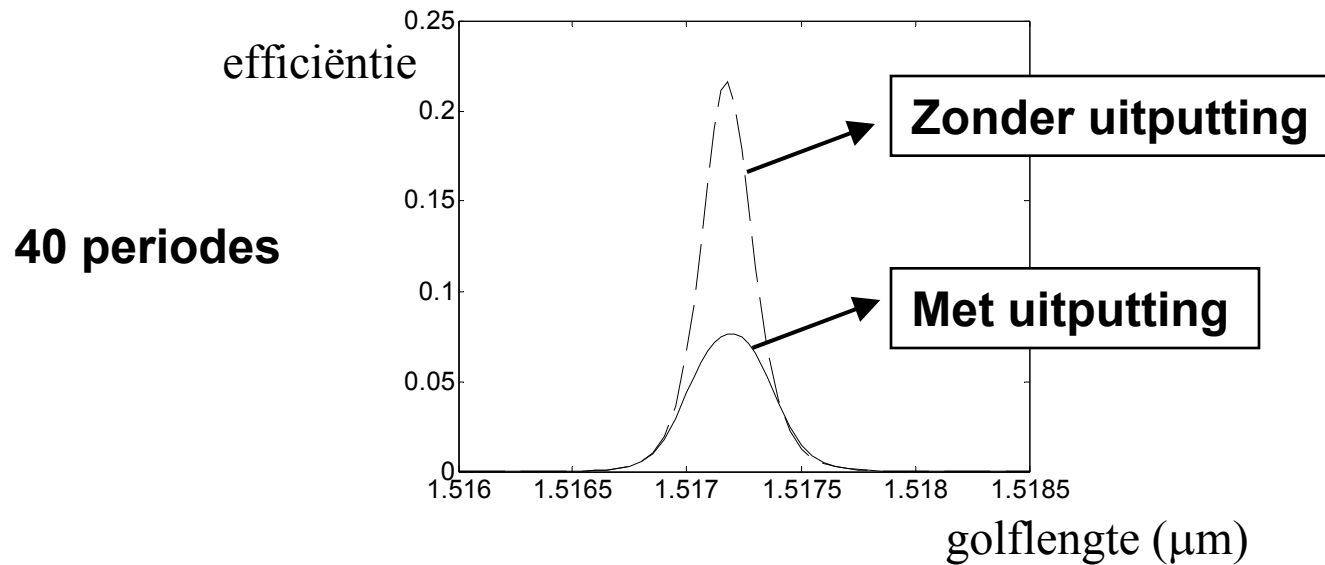
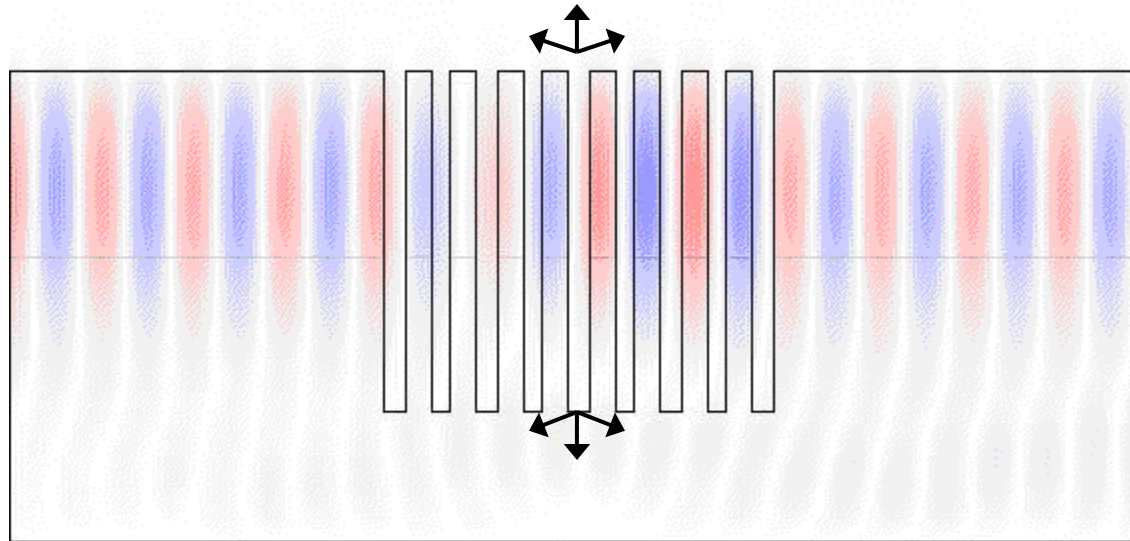
Zonder uitputting niet-iteratief



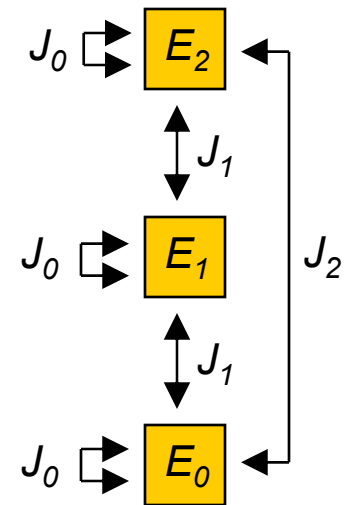
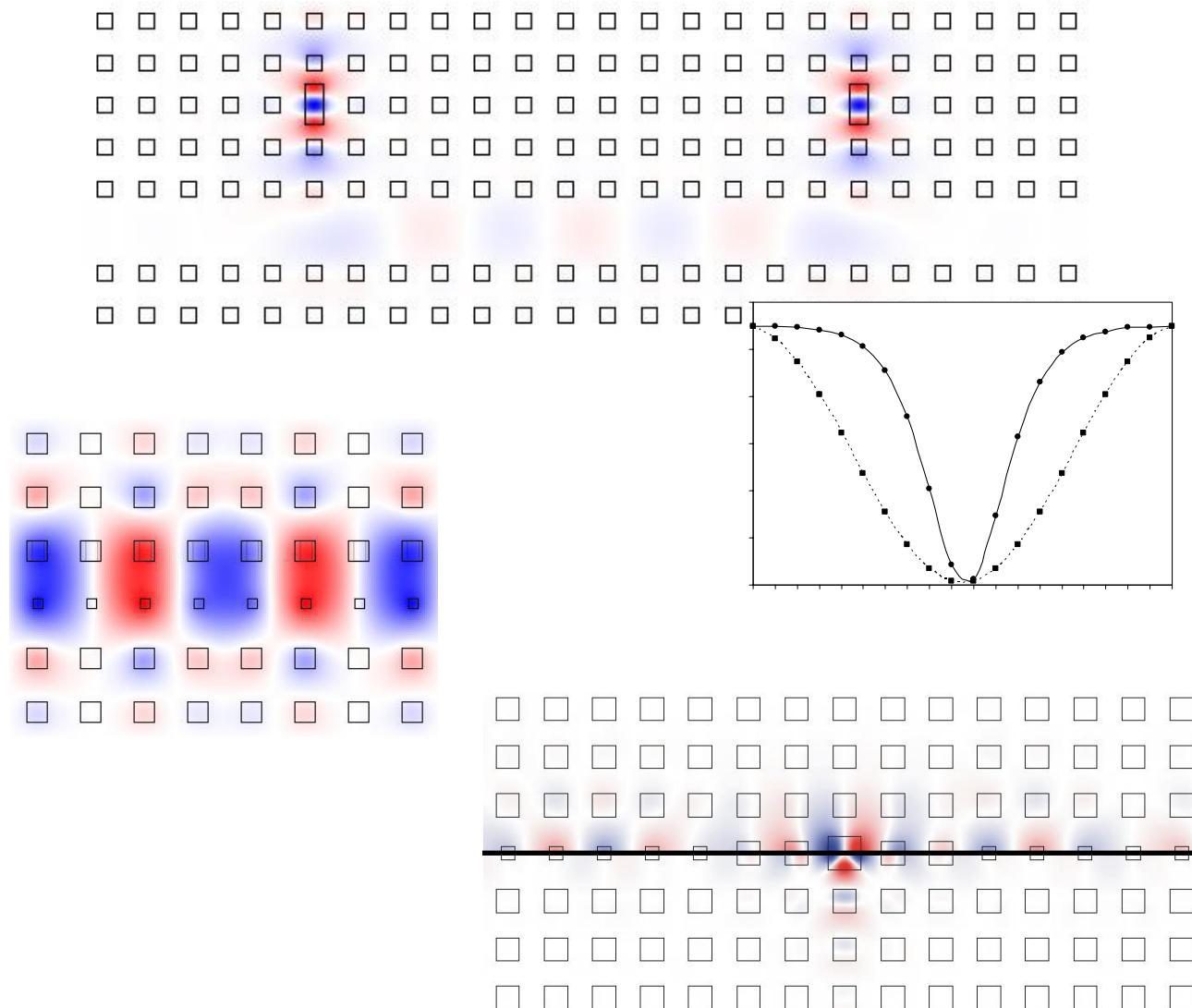
Overlap-integralen

Met uitputting iteratief en benaderend

Voorbeeld



Verder...



Conclusies

Modellerings tools voor:

Kerr effect

- Rooster
- Eindige structuren (resonatoren,...)
- Oneindig periodieke structuren (gap solitonen,...)

Tweede-harmonische generatie

- Geen rooster
- Eindige structuren, ev. met periodiciteit
- Met/zonder uitputting

Nieuw soort gap soliton

Soorten, stabiliteit