

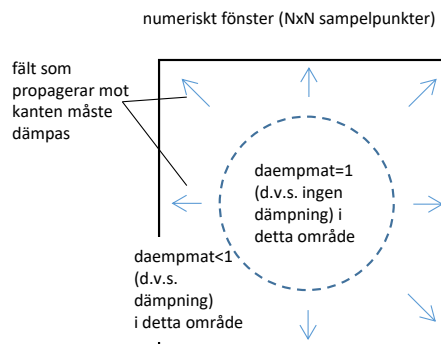
1. BPM-steget

Skriv klart funktionen för att beräkna fältet i Plan 2 från det i Plan 1

```
def BPM_steg(E1, delta_z, N, a, lam0, Nmat, daempmat)
```

för ett litet propagationssteg, längden `delta_z`, med BPM-metoden, där `Nmat` är matrisen som innehåller brytningsindex i de olika punkterna i (x, y) -planet. Låt funktionen anropa din tidigare PAS-funktion. Är du osäker om din egen PAS-funktion så har vi inkluderat en sprillans ny PAS funktion.

Matrisen `daempmat` (skapas i den givna koden, se uppgift 2) används för att dämpa fältet som börjar närma sig kanten på det numeriska fönstret, eftersom FFT-baserade metoder inte kan ta hand om fält som lämnar beräkningsområdet. Därför multiplicerar man i varje BPM-steg resultatet med `daempmat` som på ett mjukt sätt undertrycker det perifera fältet.



Låt dessutom din funktion kolla att inte steglängden blir för stor. Säg att vi tillåter en TOK-faskorrektion på max 2% av 2π , då skulle funktionen kunna se ut så här:

```
def BPM_steg(E1, delta_z, N, a, lam0, Nmat, daempmat):
    k0 = .x.
    n_PAS = .x.
    E2_PAS = .x.
    Faskorrektion = .x.

    # Raise ValueError om vi överskrider tillåten faskorrektion av 2% av 2pi
    if np.max(np.max(np.abs(faskorrektion))) > (2*np.pi*0.02):
        print('Steglängd för stor')
        raise ValueError
    return E2_PAS.*exp(1i*faskorrektion).*daempmat;
```

2. Singelmodfibern

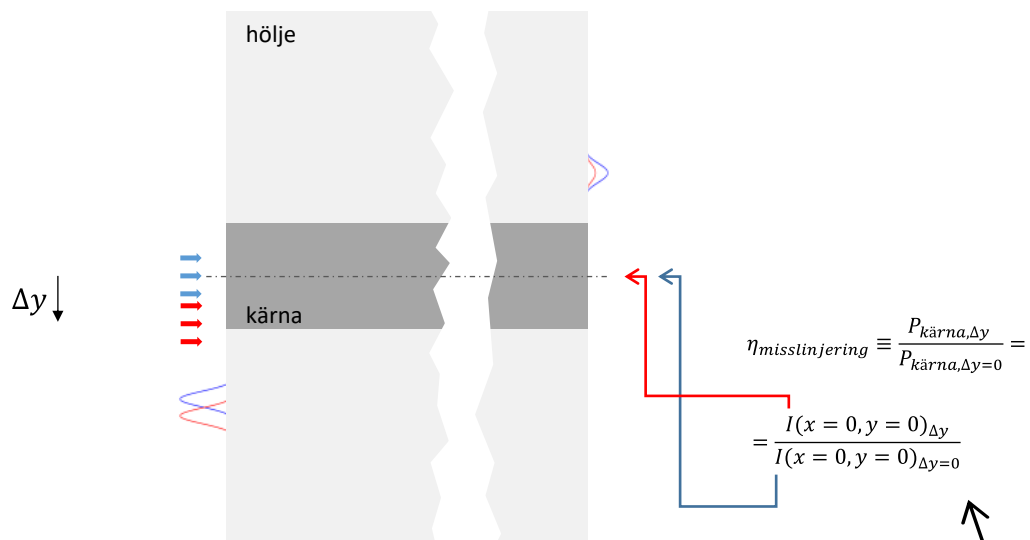
Vi anropar BPM_steg i koden för att simulera propagationen i en singelmod steg-index-fiber ("step index", alltså en abrupt radiell ändring i brytningsindex), med kärndiameter 3 μm , brytningsindex i kärnan 1.51 och i höljet 1.50. Låt våglängden vara 1550 nm, vilket är en vanlig våglängd för optisk långdistanskommunikation (>1 km) och startfältet gaussiskt. Låt propagationssträckan i fibern vara någon millimeter.

(a) Kolla först hur det blir om du använder *samma* brytningsindex i kärna och hölje, $n_{\text{clad}} = n_{\text{core}}$. Då ska fältet inte vara guidat utan expandera vid propagationen, som förväntat i ett homogent medium. (Bry dig inte om att fältet kan se skumt ut efter att ha expanderat nästan ut till kanten av det numeriska fönstret, det är en effekt av normering i plotten och svaga numeriska reflektioner från daempmat; i verkligheten är fältet i stort sett noll här eftersom det försvunnit ut åt sidorna). **Behöver ej redovisas!**

(b) Använd nu de korrekta värdena för brytningsindex och se vilken effekt den löjligt lilla skillnaden i brytningsindex har.

(c) Hur känslig är singelmodfibern för *linjeringsfel*? Med andra ord, hur noga måste man vara med att belysningen av vänsterändan av fibern träffar mitten på kärnan? Detta kan undersökas genom att förskjuta det infallande fältet i y-led en sträcka Δy och kolla hur mycket effekt som finns i fiberns kärna när fältet propagerat tillräckligt långt för att ha ställt in sig. Jämför med fallet när infallande fält är perfekt centrerat, d.v.s. $\Delta y = 0$. Du behöver bara undersöka hur stor tolerans vi har i positioneringen av infallande fält om vi kan tillåta att bara hälften av ljuseffekten kopplas in i kärnan jämfört med det perfekt centrerade fallet? (Vill du uttrycka dig som en riktig expert så säger du att *misslinjeringen Δy minskar den inkopplade effekten med 3dB*, eftersom 3 decibel är mycket nära en faktor 2.)

... och när det gäller toleranser är man *enbart intresserad av ett ungefärligt värde!*



Ledning 1: För att startfältet ska förskjutas sträckan Δy i y-led ersätts bara alla y i uttrycket för startfältet med $y - \Delta y$.

Ledning 2: När fälten ställt in sig har de samma form, de skiljer sig bara på en multiplikativ konstant. Det betyder att kvoten mellan effekterna i kärnan är lika med kvoten mellan intensiteterna i en given position (x, y) , t.ex. i origo $(x, y) = (0, 0)$.

Anm 1: Känsligheten för misslinjering beror förstås på hur smalt det belysande fältet är (värdet på $1/e^2$ -radien ω_0 i koden). Det givna ω_0 är typiskt för fält som

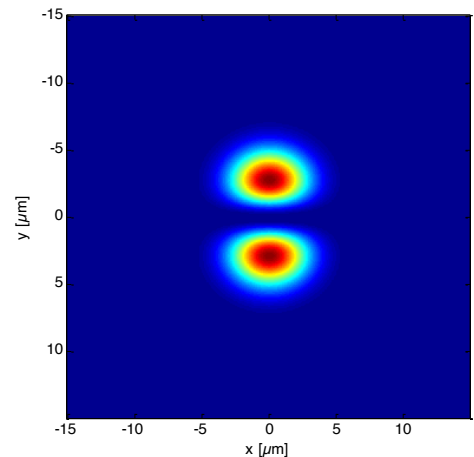
propagerar i optiska fibrer, så toleransen i detta fall ger en uppfattning om hur noggrann man måste vara när man skarvar ihop två fibrer ände-mot-ände.

(d) Längst ner i koden kan du ta det komplexa fältet du beräknat med BPM och animerar den verkliga fältfördelningen i tid. Om du kollar noga ser du att det tycks vara något fel på det animerade fältet. Försök t.ex. läsa av våglängden från en ögonblicksbild av det verkliga fältet och fundera på vilken riktning som vågfronterna borde propagera i. Vad är "felet"? Kan du på något sätt få en korrekt animation med ett fält du genererar med ditt BPM-program? (ledning: ändra BPM-steglängd)

3. Multimodfibern

(a) Med fibern från uppgift 2, konstatera att den inte guidar högre ordningars moder genom att använda första högre ordnings mod som startfält. Detta fält, som också kallas (1,0)-moden eller (0,1)-moden, fås helt enkelt genom att multiplicera det gaussiska startfältet i uppgift 2 med y . (Man kan förstås istället multa med x men eftersom vi plottar fältet längs y -axeln i våra sidoplottar så syns det bäst om fältets två lober ligger i y -led.) Vad händer vid propagationen? **Behöver ej redovisas!**

OBS: Låt dig inte luras av plottens intensitetsnormering! När det mesta av fältet nått ut till det perifera dämpområdet är det som visas för större z bara nonsens!



(b) Öka diametern på kärnan till $7\ \mu\text{m}$ och konstatera att (1,0)-moden är guidad i denna fiber. Du kan behöva ändra propagationssträckan, för att moden ska ställa in sig. **Behöver ej redovisas!**

(c) Använd nu som startfält en *summa* av startfälten för fundamentalmoden och (1,0)-moden (där båda ska ha *ungefär* samma maxvärde på sitt respektive optiska fält, så du kan behöva multa det ena fältet med någon konstant). Vid propagationen, observerar du det fenomen som kallas *multimodinterferens* (MMI)? Kan fenomenet förklaras, om man betänker att de två moderna har något olika effektiva brytningsindex?

4. GRIN-fibern

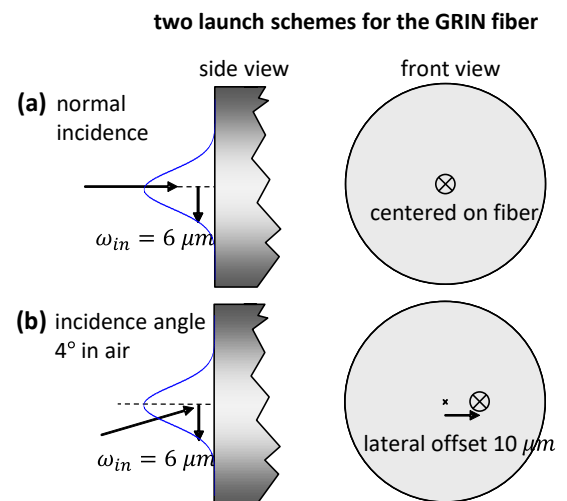
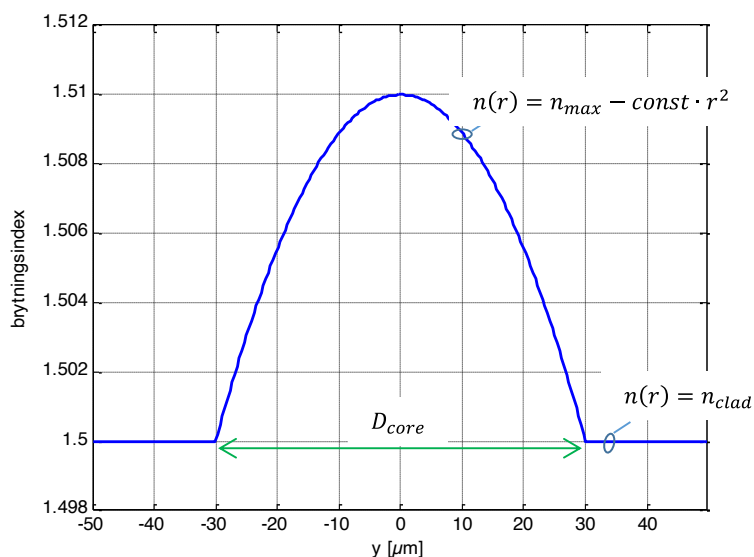
Graded-index-(GRIN-)fibern, med en kvadratisk variation av brytningsindex i kärnan, har intressanta egenskaper när det gäller propagation. Med funktionen `nmat_GRIN` skapar du matrisen med brytningsindex i tvärsnittet av GRIN-fibern, och simulera propagation i fibern vid 1550 nm våglängd. Eftersom kärnan har en stor diameter måste du ha en *större sidlängd på det numeriska fönstret*, t.ex. 100 μm som i figuren nedan till vänster. Se också till att `daempmat=1` i hela kärn-området så att den inte stör simuleringen. Simulera de två fall som illustreras i högerdelen av figuren:

(a) Ett gaussiskt startfält, med indikerat värde på $1/e^2$ -radien ω_{in} , perfekt centrerat och normalt infallande. Bifoga endast en illustrerande figur.

(b) Ett icke-idealt fall där startfältet inkommer med en vinkel mot z-axeln på 4° och där centrum på gaussen är förskjutet 10 μm från z-axeln. Bifoga endast en illustrerande figur.

Ledning: För att startfältet ska få en infallsvinkel α multar man det normalt infallande fältet med fasvariationen hos en plan våg med infallsvinkel α , d.v.s. man multar med funktionen

$$e^{jk_y y} = e^{jk_0 \sin(\alpha) y}$$



PS. Den som har gott om tid kan roa sig med att prova sig fram till det ω_{in} för vilken "pulseringen" upphör och bara det masklika slingrandet finns kvar, så som visas i simuleringen i föreläsninganteckningarna (F11).

Skicka in din HUPP

1. Ladda ner .ipynb filen för att börja med HUPPen.
2. I .ipynb filen skriver ni och kör eran Python kod, samt svarar på samtliga frågor som är givna i HUPP beskrivningen med text, beräkningar och relevanta bilder för full poäng.
3. Spara och exportera .ipynb filen som en .pdf fil.
4. Skicka in pdf:en på Canvas.



Får du problem eller undrar något kan du diskutera med valfri person. Du får gärna också mejla HUPP-ansvarig (se kurs PM) för frågor. Bifoga gärna er kod om ni har problem med den.