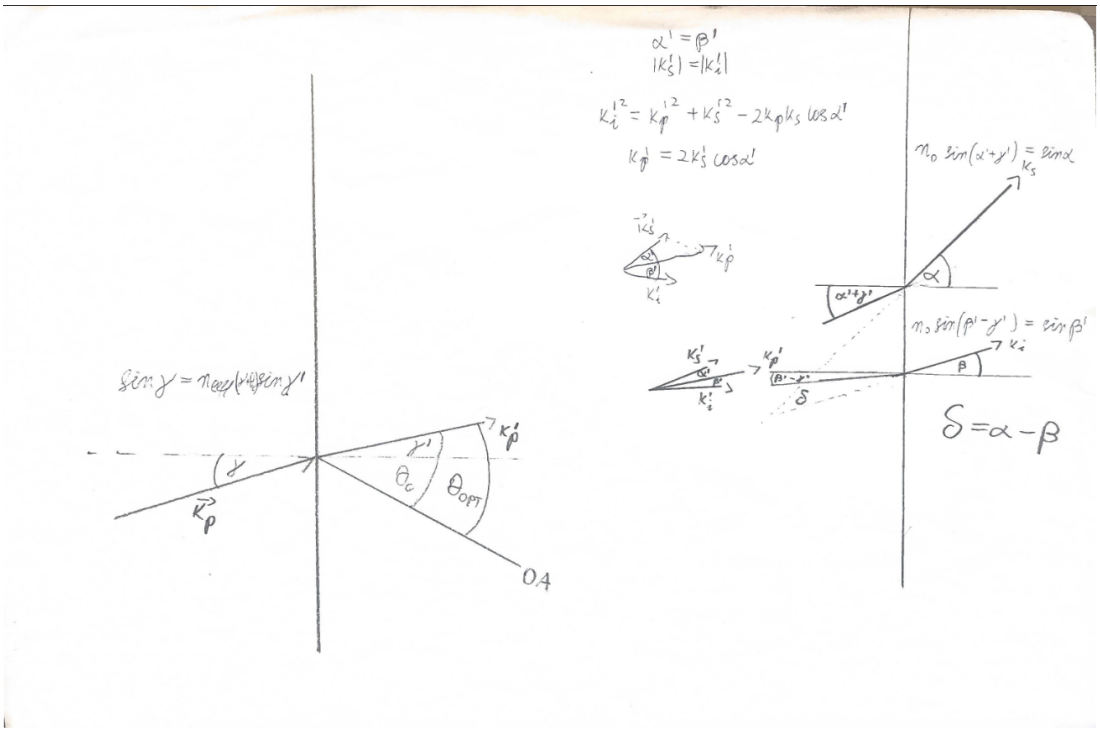
angles2

October 19, 2025



Zmienne nieprimowane są na zewnątrz kryształu ($n = 1$), a primowane wewnątrz

$$f_{in} = f_{out} \Longrightarrow \frac{v_{in}}{\lambda_{in}} = \frac{c}{\lambda_{out}} \Longrightarrow \frac{1}{\lambda_{in}} = \frac{c}{v_{in}}\frac{1}{\lambda_{out}} = n\frac{1}{\lambda_{out}}$$

$\lambda_s = \lambda_i$ Po wyjściu z kryształu foton jałowy i sygnałowy mają mieć tą samą długość fali

$$\frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{\lambda_s} + \frac{1}{\lambda_i}$$ Zasada zachowania energii na zewnątrz kryształu

Z powyższych: $\lambda_s = \lambda_i = 2\lambda_p$, a skoro jałowy i sygnałowy są promieniami zwyczajnymi, to $\lambda_s' = \lambda_i'$, więc $k_i' = k_s'$ oraz $\alpha' = \beta'$

$$\vec{k_p'} = \vec{k_s'} + \vec{k_i'}$$ Dopasowanie fazowe w krysztale

$$k_p' = 2k_s' \cos\alpha'$$ Tw. cosinusów

$$\frac{n_{e,eff}(\lambda_p, \gamma' + \theta_c)}{\lambda_p} = 2\frac{n_o}{\lambda_s}\cos\alpha' \quad (*)$$
$$\sin\gamma = n_{e,eff}(\lambda_p, \gamma' + \theta_c)\sin(\gamma') \quad \text{Prawo Snelliusa} \quad (**)$$

Kąt między fotonem jałowym, a normalną do powierzchni kryształu wynosi $\beta' - \gamma'$, będzie on ujemny gdy foton jałowy będzie miał kierunek do góry, a nie do dołu.
Z prawa Snelliusa,

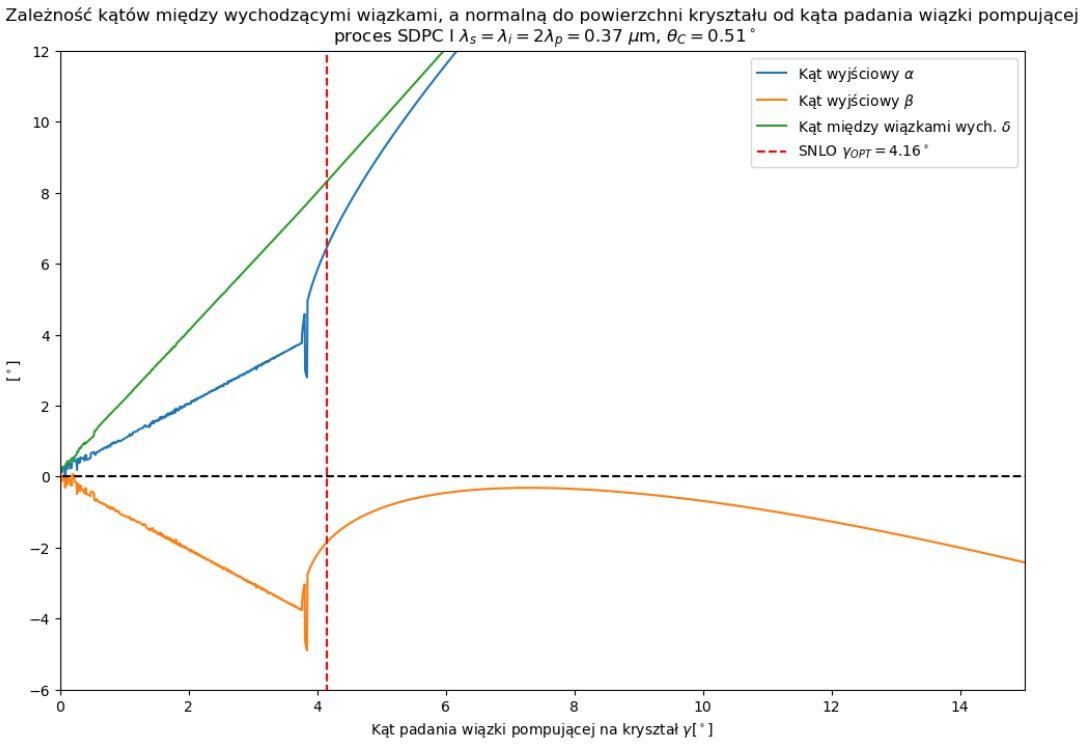
$$\sin(\alpha' + \gamma')n_o(\lambda_s) = \sin(\alpha) \quad (\dagger)$$
$$\sin(\beta' - \gamma')n_o(\lambda_i) = \sin(\beta) \quad (\ddagger)$$

[1]:
```
import numpy as np
from numpy import *
import matplotlib.pyplot as plt

plt.rcParams["figure.figsize"] = (12, 8)
from engineering_notation import *
from BBO import *
from scipy.optimize import fsolve
import warnings

warnings.filterwarnings("ignore", message="The iteration is not making good␣
 ↪progress")
# warnings.filterwarnings("error")
```

[21]:
```
# THETA_OPT jest wynikiem SNLO
lp, THETA_C, THETA_OPT = 0.370, np.radians(29.2), radians(31.7)  # Nasze
# lp, THETA_C, THETA_OPT = 0.3511, np.radians(49.63), radians(32.9)  # Kwiat et␣
 ↪al.,
# ale u nich przechylenie płaszczyzny o 0.72 Deg
# lp, THETA_C, THETA_OPT = 0.4579, np.radians(26.13), radians(25.7)  # Galvez␣
 ↪et al.
# lp, THETA_C, THETA_OPT = 0.49, np.radians(28), radians(0)  # Zadanie

ls = 2 * lp
li = ls


# Uzależnić układ równań od gamma
def calculate(vars, gamma):
    # z *, **, dag, ddag:
    global li, ls, lp, THETA_C
    alpha, beta, alphaP, gammaP = vars
    betaP = alphaP
    return (
        sin(gamma) - neeff(lp, gammaP + THETA_C) * sin(gammaP),
        neeff(lp, gammaP + THETA_C) / lp - 2 * no(ls) / ls * cos(alphaP),
```

```
        sin(alphaP + gammaP) * no(ls) - sin(alpha),
        sin(betaP - gammaP) * no(li) - sin(beta),
    )


gs = np.linspace(-np.pi / 12, np.pi / 12, num=4000)
all = []
for g in gs:
    all.append(fsolve(calculate, (0, 0, 0, 0), g))

all = np.array(all)
plt.plot(degrees(gs), degrees(all[:, 0]), label="Kąt wyjściowy $\\alpha$")
plt.plot(degrees(gs), degrees(all[:, 1]), label="Kąt wyjściowy $\\beta$")
plt.plot(
    degrees(gs),
    abs(degrees(all[:, 0]) - degrees(all[:, 1])),
    label="Kąt między wiązkami wych. $\\delta$",
)
# Jakie gamma, by theta było jak z SNLO?
GAMMA_OPT = arcsin(neeff(lp, THETA_OPT) * sin(THETA_OPT - THETA_C))
plt.plot(
    [degrees(GAMMA_OPT), degrees(GAMMA_OPT)],
    [-100, 100],
    "r--",
    label="SNLO $\gamma_{OPT} = %0.2f ^\\circ$" % round(degrees(GAMMA_OPT), 2),
)
plt.plot([-15, 15], [0, 0], "k--")
plt.legend()
plt.xlim(0, 15)
plt.ylim(-6, 12)
plt.xlabel("Kąt padania wiązki pompującej na kryształ $\\gamma [^\\circ]$")
plt.ylabel("$[^\\circ]$")
plt.title(
    "Zależność kątów między wychodzącymi wiązkami, a normalną do powierzchni␣
 ↪kryształu od kąta padania wiązki pompującej\n proces SDPC I␣
 ↪$\\lambda_s=\\lambda_i=2\\lambda_p=%.2f~\\mu$m, $\\theta_C=%.2f^\\circ$"
    % (lp, THETA_C)
)
```

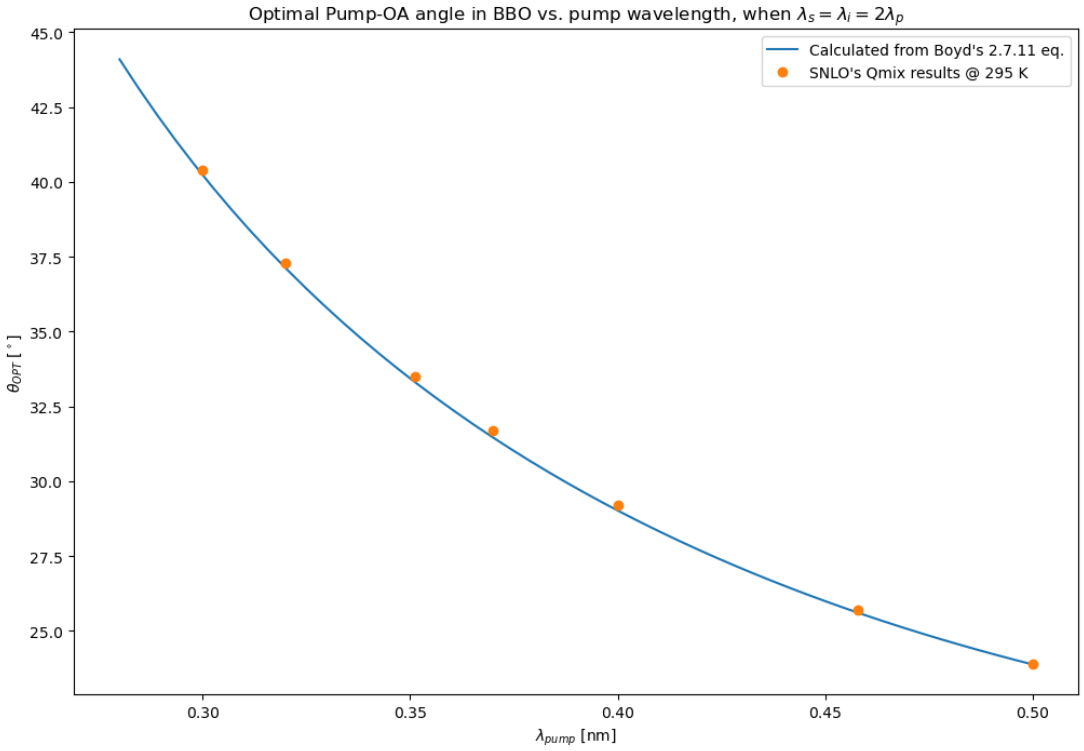
[21]:
```
Text(0.5, 1.0, 'Zależność kątów między wychodzącymi wiązkami, a normalną do
powierzchni kryształu od kąta padania wiązki pompującej\n proces SDPC I
$\\lambda_s=\\lambda_i=2\\lambda_p=0.37~\\mu$m, $\\theta_C=0.51^\\circ$')
```



[3]:
```
# możeby obliczyć THETA_OPT samodzielnie?
def getOptimalTheta(lp, ls):
    return arcsin(
        sqrt((no(ls) ** -2 - no(lp) ** -2) / (ne(lp) ** -2 - no(lp) ** -2))
    )  # eq 2.7.11 Boyd "Nonlinear optics"


L = np.array(np.linspace(0.280, 0.500))
plt.title(
    "Optimal Pump-OA angle in BBO vs. pump wavelength, when␣
 ↪$\\lambda_s=\\lambda_i=2\\lambda_p$"
)
plt.ylabel("$\\theta_{OPT}~[^\\circ]$")
plt.xlabel("$\\lambda_{pump}~$[nm]")
plt.plot(
    L,
    [degrees(getOptimalTheta(l, 2 * l)) for l in L],
    label="Calculated from Boyd's 2.7.11 eq.",
)
plt.plot(
    [0.300, 0.320, 0.3511, 0.370, 0.400, 0.4579, 0.5],
    [40.4, 37.3, 33.5, 31.7, 29.2, 25.7, 23.9],
```

```
    "o",
    label="SNLO's Qmix results @ 295 K",
)

plt.legend()
```

[3]: <matplotlib.legend.Legend at 0x7196a2253c70>



0.1 Tolerancja kątowa

Tolerancja kątowa θ_{tol}, zależy od **grubości** kryształu L:

$$\theta_{tol} = \frac{0.31 \text{ mrad cm}}{L}$$

Dla kryształu o grubości 0.1 cm, jest to:

[89]:
```
degrees(0.31e-3) / (0.1e-2)
```

[89]: 17.76169164905552

0.2 Wyniki z SNLO - nieistotne, brudnopis

“‘ 740.0(o)+ 740.0(o)= 370.0(e) Walkoff [mrad] = 0.00 0.00 71.86 Phase velocities = c/ 1.662 1.662 1.662 Group velocities = c/ 1.689 1.689 1.760 GrpDelDisp(fs^2/mm) = 85.0 85.0 218.6 At theta = 31.7 deg. Deff = 1.98E0 pm/V S_o × L^2 = 2.15E7 Watt Crystal ang. tol.×L = 0.31 mrad°cm Temperature range×L = 18.04 K°cm Mix accpt ang×L = 0.62 0.62 mrad°cm Mix accpt bw×L = 425.23 425.23 GHz°cm

```
   740.0(e)+  740.0(o)=  370.0(e)
```

Walkoff [mrad] = 71.73 0.00 77.29 Phase velocities = c/ 1.599 1.662 1.631 Group velocities = c/ 1.621 1.689 1.720 GrpDelDisp(fs^2/mm) = 73.4 85.0 200.0 At theta = 46.1 deg. Deff = 9.63E-1 pm/V S_o × L^2 = 8.60E7 Watt Crystal ang. tol.×L = 0.54 mrad°cm Temperature range×L = 15.29 K°cm Mix accpt ang×L = 8.31 0.58 mrad°cm Mix accpt bw×L = 301.59 966.97 GHz°cm“‘

1 Poniżej inne metody rozwiązywania

[54]:
```
def ap(gp):
    return arccos(neeff(lp, THETA_C + gp) * ls / (2 * no(ls) * lp))


gps = np.linspace(-np.pi, np.pi, num=80000)

aps = []
tmpgps = []
for gp in gps:
    try:
        tmp1 = ap(gp)
    except Exception:
        pass
    else:
        aps.append(tmp1)
        tmpgps.append(gp)

gps = np.array(tmpgps)
bps = aps
plt.scatter(np.degrees(gps + THETA_C), np.degrees(aps),␣
 ↪label="$\\alpha^\\prime$")
plt.xlabel(
    "Kąt między fotonem pompującym, a osią optyczną␣
 ↪$\\gamma^\\prime+\\theta_c~[^\\circ]$"
)
plt.ylabel("$\\alpha^\\prime[^\\circ]$")
# plt.legend()
```

```
/tmp/ipykernel_4856/478489733.py:2: RuntimeWarning: invalid value encountered in
arccos
  return arccos(neeff(lp, THETA_C + gp) * ls / (2 * no(ls) * lp))
```