

## O fazie Gouy'a słów kilka

Mam nadzieję, że poniższy tekst pomoże Wam lepiej „wyczuć” znaczenie fazy Gouy'a i przygotować się do egzaminu a także rozwieje wszelkie wątpliwości na jej temat.

Czym zatem jest faza Gouy'a?

Okazuje się, że faza nabyta przez wiązkę gaussowską podczas propagacji (założmy, że wzdłuż osi  $z$ ) jest inna niż faza nabyta przez falę płaską na tej samej drodze. Ta różnica nazywana jest właśnie fazą Gouy'a  $\varphi_G$  i wyraża się wzorem:

$$\varphi_G(z) = -\arctan(z/z_R)$$

gdzie standardowo  $z_R$  oznacza zasięg Rayleigha a w  $z=0$  mamy przewężenie wiązki. Na naszych ćwiczeniach mogliśmy nie napisać *explicite* znaku minus przy wzorze, pozostawiając go w wyrażeniu na całe pole elektryczne wiązki gaussowskiej – sprawdźcie to proszę w notatkach. Jest to o tyle istotne, że faza nabywana przez wiązkę gaussowską przy przechodzeniu przez ognisko jest MNIEJSZA niż by to wynikało z obliczeń dla fali płaskiej. Różnica ta jest oczywiście czymś rzeczywistym, nie matematyczną ciekawostką – można ją zmierzyć, itp.

Zadaliście ważne pytanie: jaki jest fizyczny powód istnienia tej różnicy faz?

Otóż faza Gouy'a bierze się stąd, że wiązka gaussowska jest złożeniem wielu fal płaskich, propagujących się w różnych kierunkach (pod kątem do osi  $z$ ). Naturalnie, fala płaska poruszająca się pod kątem do osi  $z$ , po przebyciu pewnej odległości, dozna mniejszego przesunięcia fazowego w kierunku  $z$ , niż inna fala o tej samej częstotliwości, propagująca się dokładnie w kierunku  $z$ . Biorąc superpozycję tych wszystkich przesunięć dla fal płaskich wchodzących w skład wiązki gaussowskiej i porównując z pojedynczą falą płaską, dostaniemy właśnie fazę Gouy'a.

Dla ciekawych:

Oczywiście możemy to policzyć. Trzeba wziąć wszystkie fale płaskie, wchodzące w skład wiązki gaussowskiej i dla każdej z nich znaleźć fazę nabytą w kierunku  $z$  dla propagacji na pewnej drodze. Następnie trzeba dodać te fazy do siebie, z odpowiednimi wagami – równymi amplitudom poszczególnych fal:

$$\varphi(z) = \arg \left[ \int A(k_x, k_y) \exp(ik_z z) dk_x dk_y \right]$$

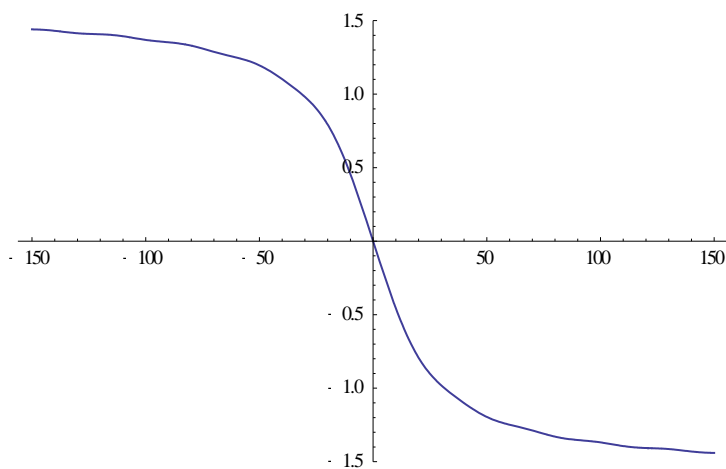
Amplitudy te dostaniemy z rozkładu wiązki gaussowskiej na fale płaskie, czyli transformaty Fouriera:

$$A(k_x, k_y) = \exp\left(\frac{-k_x^2 - k_y^2}{w_0^2}\right)$$

Ostatni krok aby dostać fazę Gouy'a, to odjęcie od otrzymanego wyniku fazy nabytej przez falę płaską o tej samej częstotliwości, propagującą się w kierunku z:

$$\varphi_G(z) = \varphi(z) - kz = \arg \left[ \int \exp\left(\frac{-k_x^2 - k_y^2}{w_0^2} + ik_z z - ikz\right) dk_x dk_y \right]$$

Można obliczyć tę całkę numerycznie, pamiętając że  $k^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2$ . Poniżej wynik dla  $k=40$  i  $w_0=2$ :



Dobra rada na koniec:

Polecam tym, którzy jeszcze tego nie zrobili zapoznanie się z krótkim artykułem o fazie Gouy'a: [http://www.rp-photonics.com/gouy\\_phase\\_shift.html](http://www.rp-photonics.com/gouy_phase_shift.html) i ogólnie polecam „optyczną wikipedię” – encyklopedię RP-Photonics (<http://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>) jako źródło powtórek „na szybko” przed egzaminem – w razie konieczności przypomnienia sobie jakiegoś pojęcia z optyki.