
Optyka nieliniowa

Bezpieczeństwo pracy z laserami

DR HAB. INŻ. BEATA BROŻEK-PŁUSKA, PROFESOR UCZELNI

OPTYKA NIELINIOWA

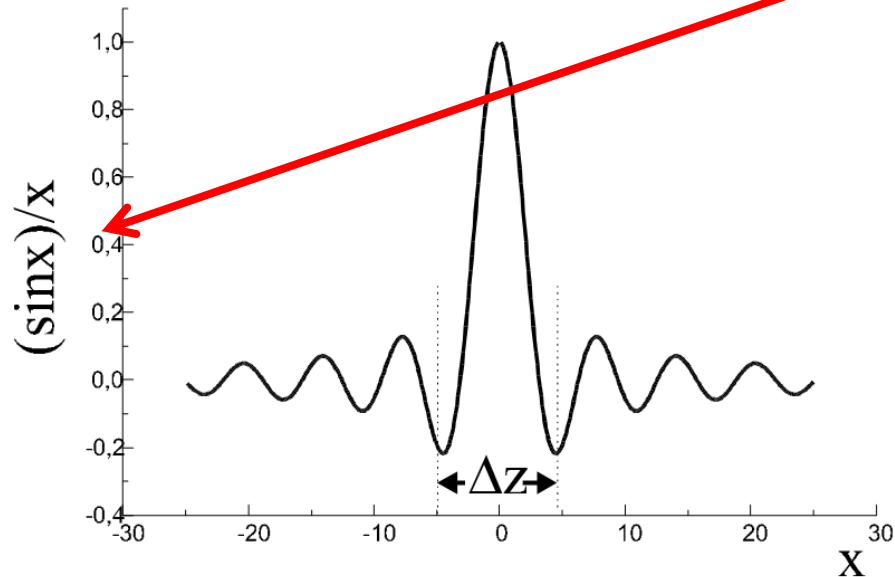
Ważnym parametrem dla krótkich impulsów jest tzw. **opóźnienie grupowe** (ang. *group delay*).

Prędkość fazowa wyraża się opisuje prędkość rozchodzenia się czoła płaskiej fali monochromatycznej.

$$v_f = \frac{\omega}{k} = \frac{c}{n(\omega)}$$

Amplituda

Impuls krótki nie jest monochromatyczny!!!



Oznacza to, że im większa monochromatyczność wiązki ($k \rightarrow 0$), tym większa rozciągłość przestrzenna pakietu ($\Delta z \rightarrow \infty$, czyli fala staje się płaska).

OPTYKA NIELINIOWA

Z upływem czasu środkowy punkt pakietu fal odpowiadający maksymalnej amplitudzie przemieszcza się w przestrzeni z prędkością

$$v_g = \left(\frac{d\omega}{dk} \right)_0$$

którą nazywamy *prędkością grupową*

Założmy, że w kryształ o długości l generujemy drugą harmoniczną za pomocą impulsów o czasie trwania wiązki podstawowej t_p

Niech będzie spełniony warunek dopasowania fazowego w kryształ, tzn. prędkości fazowe wiązki podstawowej i drugiej harmoniczej będą jednakowe

$$v_{ph}(\omega) = v_{ph}(2\omega)$$

Nie oznacza to jednak, że prędkości grupowe będą również jednakowe

OPTYKA NIELINIOWA

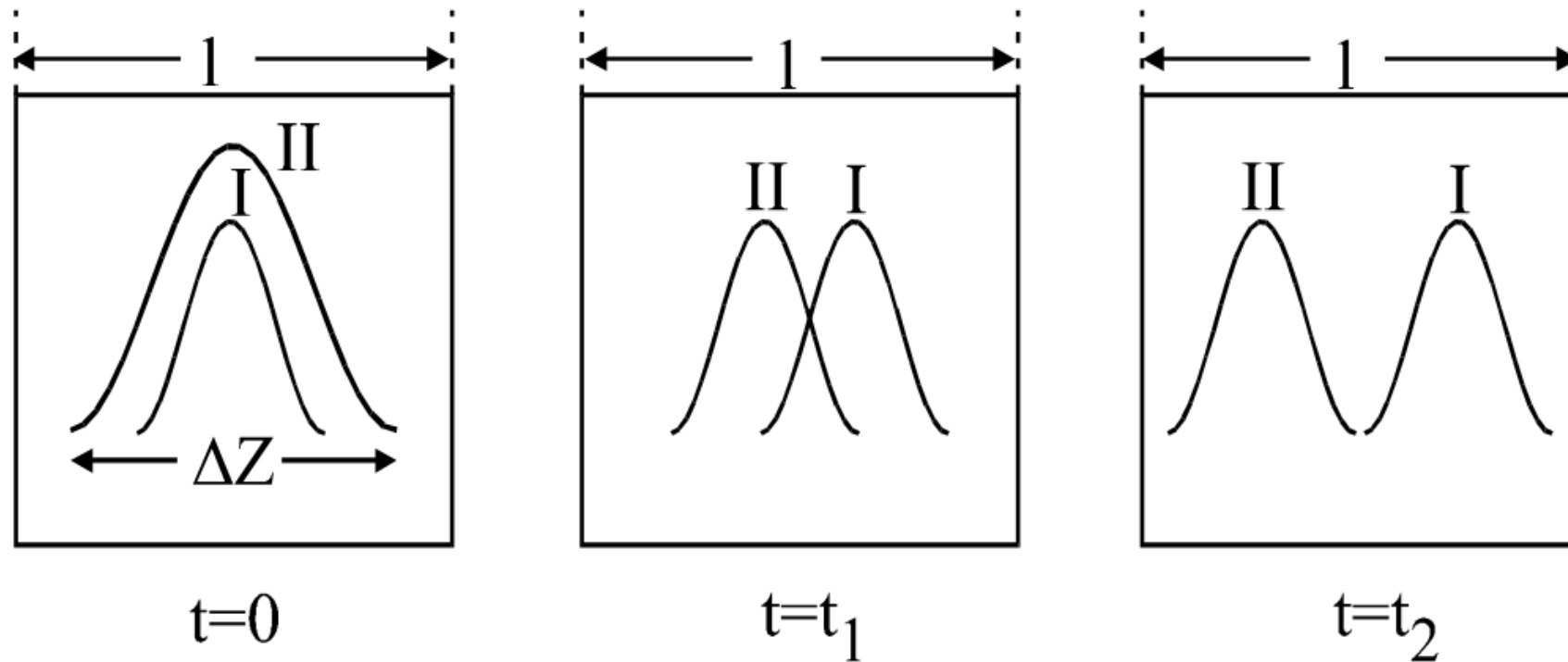
$$t_g^1 = \frac{l}{v_g^1} = l \left(\frac{dk}{d\omega_1} \right) = \frac{l}{c} \frac{d(n_1 \omega_1)}{d\omega_1} = \frac{l}{c} \left[\frac{dn_1}{d\omega_1} \omega_1 + n_1 \right] \quad \text{Wiązka podstawowa}$$

$$t_g^2 = \frac{l}{v_g^1} = l \left(\frac{dk}{d\omega_2} \right) = \frac{l}{c} \frac{d(n_2 \omega_2)}{d\omega_2} = \frac{l}{c} \left[\frac{dn_2}{d\omega_2} \omega_2 + n_2 \right] \quad \text{SHG}$$

opóźnienie paczki falowej drugiej harmoniczej w stosunku do składowej fundamentalnej wynosi

$$\Delta t = t_g^2 - t_g^1 = \frac{l}{c} \left[\frac{dn_1}{d\lambda_1} \lambda_1 - \frac{dn_2}{d\lambda_2} \lambda_2 \right]$$

OPTYKA NIELINIOWA



Schemat ilustrujący konsekwencje różnej prędkości grupowej dla wiązki fundamentalnej i II harmonicznej

Przykładowe wartości opóźnień grupowych t dla stosowanych kryształów są następujące: 6 ps/cm dla LiNbO₃; 0,7 ps/cm, dla LiIO₃; 0,08 ps/cm dla KDP.

$\Delta t \nearrow \text{SHG} \searrow$

OPTYKA NIELINIOWA, OPO, OPA, OPG

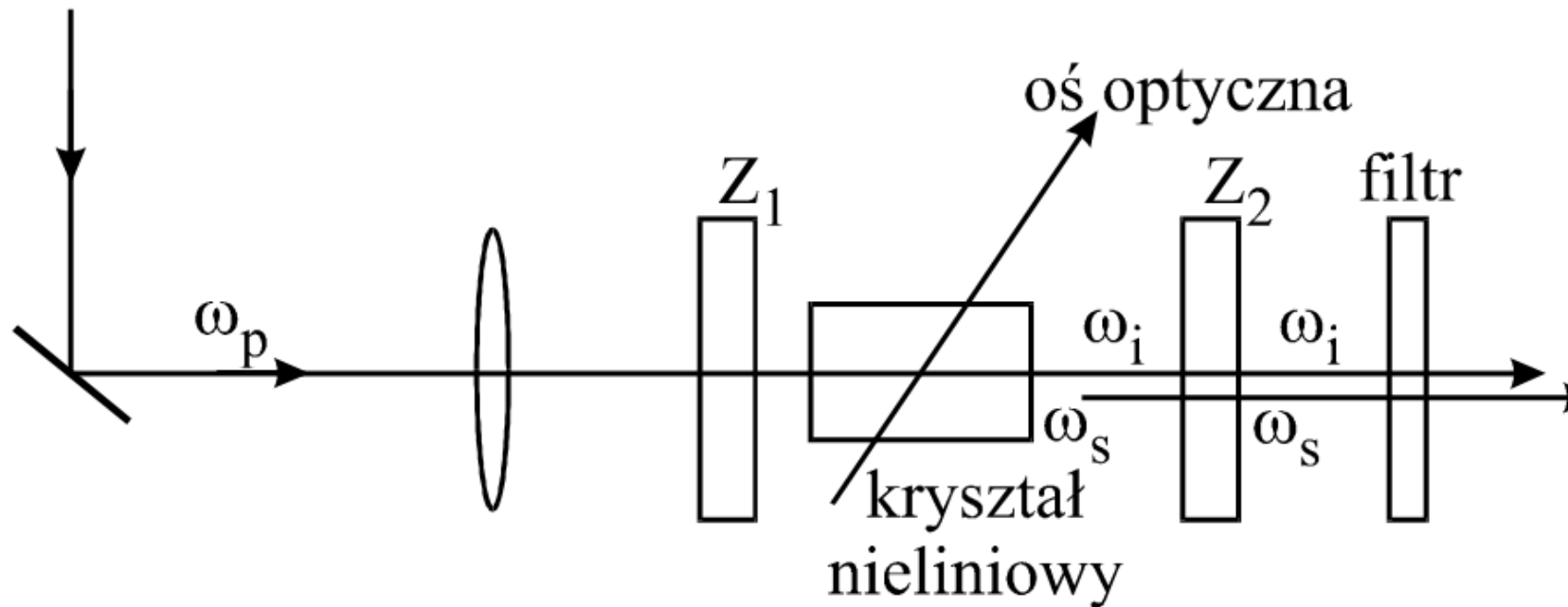
optical parametric oscillator - OPO

OPO

OPG - brak rezonatora

OPA - na kryształ padają dwie wiązki laserowe

wiązka pompująca
z lasera impulsowego



$$\omega_p = \omega_i + \omega_s$$

$$\mathbf{k}_p = \mathbf{k}_i + \mathbf{k}_s$$

$$\Delta k = \mathbf{k}_p - \mathbf{k}_i - \mathbf{k}_s = 0$$

$$n_p \omega_p = n_s \omega_s + n_i \omega_i$$

Zjawiska dyspersyjne mające wpływ na czas trwania impulsów pikosekundowych i femtosekundowych. Dyspersja prędkości grupowej (GVD)

Dla laserów femtosekundowych, szczególnie dla innych impulsów o długości trwania poniżej 100 fs, własności dyspersyjne ośrodka czynnego i elementów optycznych w rezonatorze **wpływają na czas trwania impulsu**. Ponadto wiązka wyemitowana z lasera przechodzi zazwyczaj przez dodatkowe elementy optyczne (lustra, pryzmaty, kryształy, płytki światłodzielące, filtry), zanim dotrze do detektora. Trzeba mieć świadomość, że elementy optyczne wpływają na czas trwania impulsu.

Rozróżniamy dwa główne mechanizmy powodujące zniekształcenie impulsu: **dyspersja prędkości grupowej** (ang. *group velocity dispersion* - GVD) oraz **automodulacja fazy** (self phase modulation - SPM) spowodowana nieliniowym współczynnikiem załamania.

GVD

Kiedy impuls przechodzi przez dyspersyjny ośrodek (np. filtr) lub odbija się od dyspersyjnej powierzchni (np. zwierciadło), różne składowe widmowe $E(\omega)$ impulsu poddane są różnej modyfikacji amplitudy $A(\omega)$ i fazy $\Phi(\omega)$.

$$\tau' = \tau \left(1 + \frac{1}{\omega_F^2 \tau^2} \right)^{1/2}$$

Widać, że impuls przechodzący przez filtr zostaje wydłużony. Im mniejsza szerokość widmowa filtra tym dłuższy impuls.

$$\tau' = \tau \sqrt{1 + \frac{\tau_c^4}{\tau^4}}$$

Dyspersja drugiego rzędu powoduje wydłużenie impulsu czasowego. Im krótszy impuls τ wchodzi do ośrodka dyspersyjnego, tym większe jest wydłużenie impulsu τ' po wyjściu z ośrodka.

GVD

Faza $\Phi(\omega)$ fali rozchodzącej się w ośrodku o współczynniku załamania $n(\omega)$ na drodze optycznej o długości L wyraża się wzorem

$$\Phi(\omega) = \frac{\omega n(\omega)}{c} L$$

Rozwińmy wyrażenie opisujące fazę w szereg wokół częstości centralnej ω_0

$$\Phi(\omega) = \Phi_0 + \frac{d\Phi}{d\omega} (\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \frac{d^2\Phi}{d\omega^2} (\omega - \omega_0)^2 + \dots$$



$$E'(t) = \int_{-\infty}^{\infty} E(\omega) A(\omega) e^{-i\Phi(\omega)} e^{i\omega t} d\omega$$

GVD

$$\Phi(\omega) = \Phi_0 + \frac{d\Phi}{d\omega}(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \frac{d^2\Phi}{d\omega^2}(\omega - \omega_0)^2 + \dots$$

1-szy przesunięcie fazowe

2-gi opóźnienie czasowe impulsu

$$\frac{d\Phi}{d\omega} = \frac{n}{c} \left(1 + \frac{\omega}{n} \frac{dn}{d\omega}\right) L = \frac{dk}{d\omega} L = \frac{L}{v_g} = t_g$$

oznacza czas przejścia t_g składowej widmowej impulsu czasowego o prędkości grupowej v_g przez ośrodek o długości L .

$$\frac{1}{2} \frac{d^2\Phi}{d\omega^2}(\omega - \omega_0)^2$$

wywiera wpływ na zmianę kształtu impulsu czasowego.

GVD

$$\delta = \frac{d^2\Phi}{d\omega^2} = \text{const} \longrightarrow E'(t) = \int_{-\infty}^{\infty} E(\omega)A(\omega)e^{-i\Phi(\omega)}e^{i\omega t}d\omega$$

$$E'(t) = \frac{E_0}{\sqrt{\tau^2 + i\delta}} e^{-t^2 / 2\tau'^2} e^{i\frac{\delta}{\tau^2} \frac{t^2}{2\tau'^2}}$$

$$\tau' = \tau \sqrt{1 + \frac{\tau^4}{\tau_c^4}}$$

H.A. Hausa, *Waves and Fields in Opto-electronics*, Prentice Hall, 1984

GVD

Ze wzoru

$$\tau' = \tau \sqrt{1 + \frac{\tau_c^4}{\tau^4}}$$

wynika, że dyspersja drugiego rzędu powoduje wydłużenie impulsu czasowego. Im krótszy impuls τ wchodzi do ośrodka dyspersyjnego, tym większe jest wydłużenie impulsu τ' po wyjściu z ośrodka.

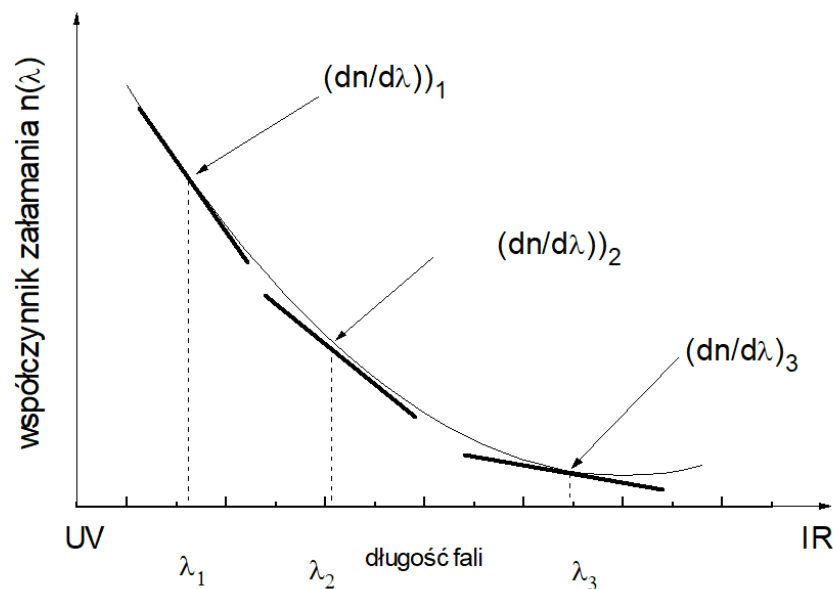
$$\Phi(\omega) = \frac{\omega n(\omega)}{c} L \qquad \frac{d^2 \Phi}{d\omega^2} = \left(\frac{2}{c} \frac{dn}{d\omega} + \frac{\omega}{c} \frac{d^2 n}{d\omega^2} \right) L = \frac{d^2 k}{d\omega^2} L$$

$$\frac{d^2 n}{d\omega^2} \neq 0$$

GVD

$$\frac{d^2 \Phi}{d\omega^2}$$

dla długości fali 800 nm dla kryształu szafiru 580 fs²/cm; 360 fs²/cm dla stopionego krzemu i 1500 fs²/cm dla szkła SF10.



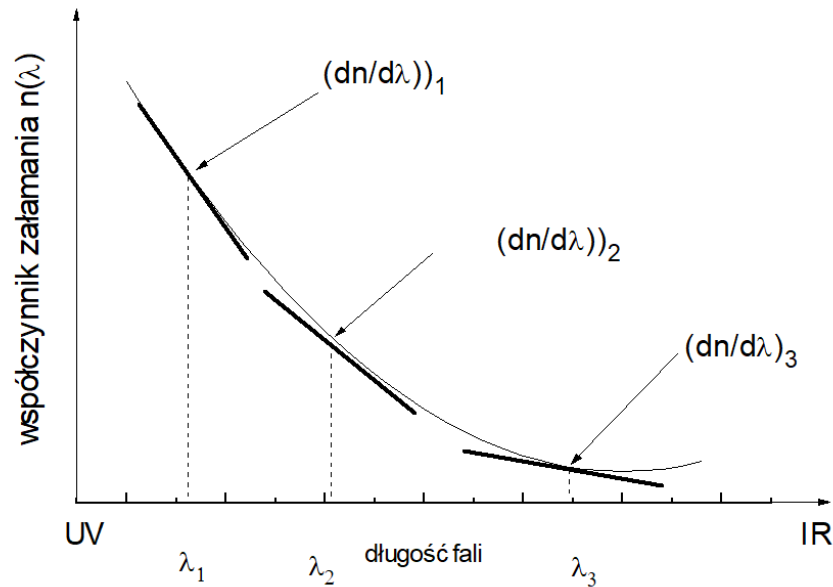
Zależność współczynnika załamania $n(\lambda)$ od długości fali λ .

GVD

Podsumujmy wpływ GVD na kształt i czas trwania impulsów emitowanych przez laser. Wpływ GVD na kształt i czas trwania impulsu jest tym większy, im krótszy jest impuls. Intuicyjnie łatwo to zrozumieć, gdyż im impuls jest krótszy, tym szerszy zakres widmowy obejmuje. Ponieważ współczynnik załamania $n(\omega)$ każdego materiału zależy nieliniowo od częstości promieniowania, każda częstość w impulsie czasowym rozchodzi się z trochę inną prędkością grupową v_g .

Im szerszy zakres widmowy, tym większe różnice (dyspersja) prędkości grupowej (GVD) między najdłuższymi i najkrótszymi długościami fali impulsu laserowego.

GVD



Zależność współczynnika załamania $n(\lambda)$ od długości fali λ .

Dla danej długości fali współczynnik załamania $n(\lambda)$ określa prędkość fazową poprzez relację.

$\frac{dn(\lambda)}{d\lambda}$ określa prędkość grupową.

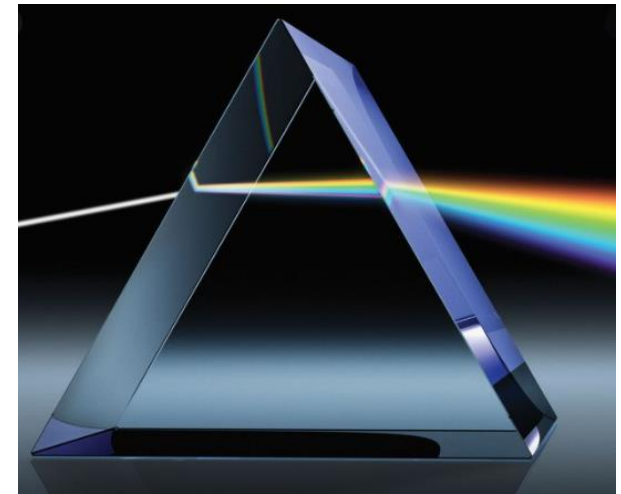
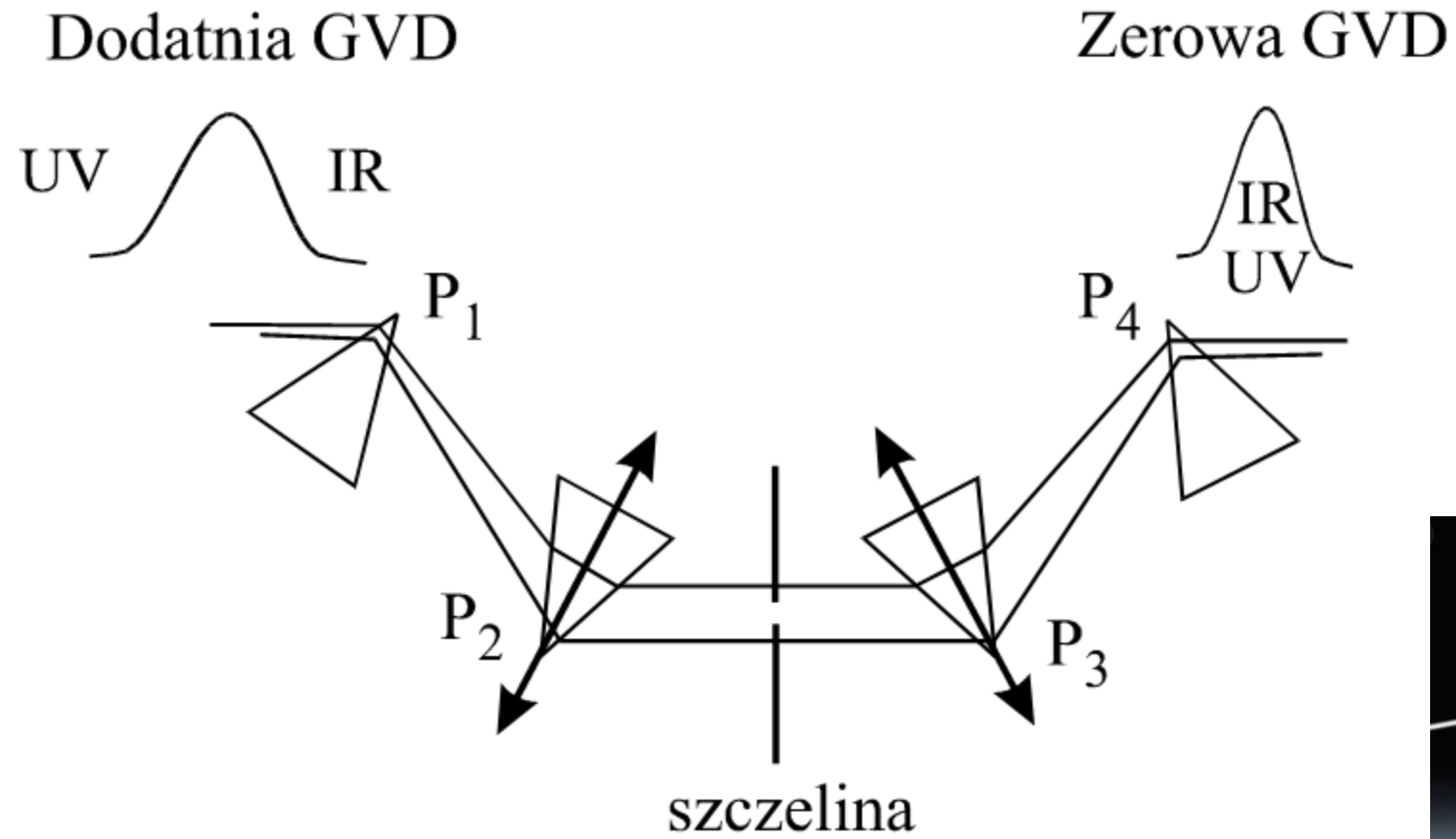
$$v_g = c / n(\lambda) + \lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

dla paczki falowej

$$\frac{d^2 n}{d\lambda^2}$$

decyduje o wartości GVD materiału. Gdy składowe o większych długościach fali przemieszczają się szybciej niż składowe o niższych długościach, mówimy że materiał wykazuje dodatni efekt GVD, gdy zaś odwrotnie - ujemny efekt GVD. Im większa dyspersja prędkości grupowej GVD, tym większe zmiany kształtu impulsu czasowego oraz zmiany długości trwania impulsu. Mówimy, że impuls jest dodatnio modulowany (ang. *positively chirped*), gdy fale dłuższe poruszają się w ośrodku szybciej niż fale krótkie. Aby impuls wychodzący z lasera był krótki, stabilny i powtarzalny, należy zlikwidować efekt GVD

GVD



GVD

Innym efektem, który powoduje wydłużenie impulsu czasowego, jest automodulacja fazy (SPM). Efekt ten wynika z faktu, że współczynnik załamania $n(\omega)$ w zakresie optyki nieliniowej zależy od natężenia promieniowania I

$$n(\omega) = n_0(\omega) + n_2(\omega)I$$

Założmy, że impuls przemieszcza się przez kryształ tytanowo-szafirowy, który wykazuje dodatnią GVD. Oznacza to, że na początku impulsu znajdują się składowe o większej długości fali niż na końcu impulsu. Każda z tych składowych doznaje dodatkowej dyspersji prędkości grupowej pod wpływem członu $n_2(\omega)I$

Tak więc nieliniowy człon $n_2(\omega)I$ wprowadza dodatkową dodatnią dyspersję prędkości grupowej GVD, a konsekwencją tego efektu jest dodatkowe wydłużenie impulsu czasowego. Zjawisko to nosi nazwę *automodulacji fazy* (SPM).

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

Lasery stanowią zagrożenia, które mogą być sklasyfikowane jako:

- zagrożenia związane z promieniowaniem
- zagrożenia chemiczne
- zagrożenia elektryczne
- inne zagrożenia związane ze specyfiką układu laserowego

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

Normy bezpieczeństwa pracy z laserami zostały sklasyfikowane przez krajowe organizacje bezpieczeństwa pracy. Większość krajów europejskich zaadoptowała schematy klasyfikacyjne ANSI (American National Standards Institute, Z136.1, Safe Use of Lasers 1993).

Główne kryterium klasyfikacji jest oparte na potencjalnym zagrożeniu związanym z wykorzystaniem laserów. Polska norma bezpieczeństwa pracy z promieniowaniem emitowanym przez urządzenia laserowe została ustanowiona przez Polski Komitet Normalizacji Miar i Jakości (Dz. Norm. i Miar nr 10/1991, poz. 22), który zaadoptował normę IEC 825 (1984).

Główne kryterium klasyfikacji opiera się na potencjalnym zagrożeniu jakie niesie korzystanie z lasera. Posługując się pojęciem **granicy emisji dostępnej GED** (ang. AEL: Accessible Emission Limit) i pojęciem **maksymalnego poziomu dopuszczalnej ekspozycji MDE** (ang. MPE: Maximum Permissible Exposure) wyróżniono 4 klasy laserów; im wyższy numer klasyfikacyjny tym większe potencjalne zagrożenie. Wartości GED i MDE zostały tablicowane dla promieniowania o różnych długościach fali przy użyciu jednostek mocy (W) i gęstości mocy ($W\ m^{-2}$), dla laserów o pracy ciągłej oraz energii (J) i gęstości energii ($J\ m^{-2}$) dla laserów impulsowych.

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

KLASYFIKACJA laserów

klasa 1 - urządzenia całkowicie bezpieczne, maksymalny poziom dopuszczalnej ekspozycji MDE nie może być przekroczony w żadnych warunkach;

klasa 2 - urządzenia małej mocy (do 1 mW dla laserów pracy ciągłej), emitujące promieniowanie o długościach fal z zakresu widzialnego 400 - 700 nm; dla laserów impulsowych energia wyjściowa jest ograniczona do GED klasy 1 dla czasów trwania ekspozycji 0,25s.

klasa 3A - lasery o mocy wyjściowej do 5 mW przy pracy ciągłej lub GED pięciokrotnie większym niż dla klasy 2 dla laserów impulsowych. Natężenie napromienienia (gęstość mocy) nie może przekraczać 25 W m^{-2} dla zakresu widzialnego;

klasa 3B - moc laserów o pracy ciągłej nie może przekraczać 0,5 W, a natężenie napromienienia (gęstość energii) laserów impulsowych musi być mniejsze niż 10^5 J m^{-2} .

klasa 4 - lasery o dużej mocy o mocach wyjściowych przewyższających GED dla klasy 3B.

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

Procedury bezpieczeństwa

Zgodnie z procedurami bezpieczeństwa dla każdej klasy laserów proponowane są odpowiednie procedury bezpieczeństwa:

klasa 1: a) znak ostrzegający o pracy lasera powinien być umieszczony na panelu dostępu do pomieszczenia celem ostrzegania użytkownika, że może mieć do czynienia z niebezpiecznym promieniowaniem laserowym wewnątrz pomieszczenia.

klasa 2: a) koniecznym jest zastosowanie znaku ostrzegającego o pracy lasera , b) wymagany jest wskaźnik-lampka ostrzegawcza praca której jest skorelowana z emisją lasera, c) należy umieszczać ostrzeżenie by nie patrzeć bezpośrednio w wiązkę lasera, d) ostrzeżenie by nie kierować wiązki lasera bezpośrednio na inne osoby.

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

klasa 3:

a) nigdy nie wolno kierować wiązki w stronę oczu , b) konieczne jest stosowanie okularów bezpieczeństwa, c) znak ostrzegający o pracy lasera powinien być umieszczony poza obszarem pracy lasera, d) znak ostrzegający o pracy lasera powinien informować o NIEBEZPIECZEŃSTWIE, e) światło ostrzegawcze lub brzęczyk powinny być użyte celem informowania, że laser pracuje, f) jedynie doświadczony i przeszkolony personel powinien posiadać zezwolenie na pracę z laserem, g) powinien być zastosowany klucz elektroniczny jeśli istnieje prawdopodobieństwo że osoba niedoświadczona może uzyskać dostęp do lasera, h) powinny być zastosowane odpowiednie zabezpieczenia dróg wiązek laserowych, i) wiązki laserowe powinny być poprowadzone powyżej lub poniżej poziomu oczu, j) montaż lasera powinien być przeprowadzony przez serwis

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

klasa 4:

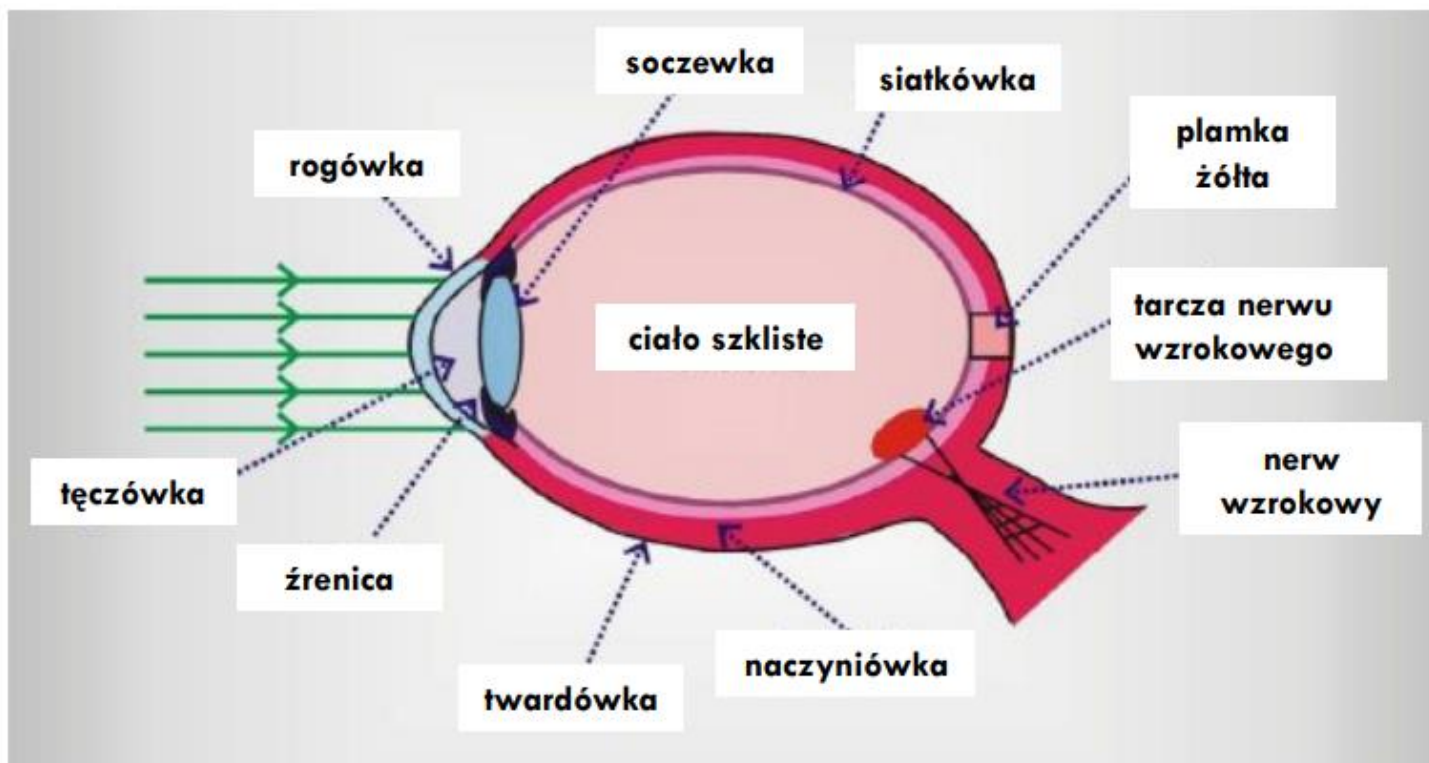
a) znak ostrzegający o pracy lasera powinien informować o NIEBEZPIECZEŃSTWIE, b) drzwi powinny być automatycznie zablokowane gdy laser emituje promieniowanie, c) konieczne jest stosowanie okularów bezpieczeństwa, d) w przypadku gdy praca lasera stwarza zagrożenia dla skóry lub zagrożenie pożarowe konieczne jest wprowadzanie odpowiednich zabezpieczeń w postaci osłon pomiędzy wiązką laserową i personelem, e) celem jest osłonięcie całej drogi wiązki laserowej, jeśli to możliwe, f) powinien być zastosowany klucz elektroniczny tak by tylko autoryzowany personel miał dostęp do pomieszczenia, g) powinny być zastosowane odpowiednie zabezpieczenia dróg wiązek laserowych z wykorzystaniem materiałów absorbujących o wysokiej ogniotrwałości.

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

Zagrożenia dla oczu

Lasery stwarzają największe zagrożenie dla oczu i skóry.

Światło z zakresu nadfioletu 180-315 nm jest absorbowane przez rogówkę i może spowodować zapalenie rogówki (photokeratitis). Światło z tego zakresu emitują lasery ekscimerowe ArF (193 nm), KrF (248 nm), XeCl (308 nm)) oraz czwarta harmoniczna fali promieniowania lasera Nd:YAG (266 nm).

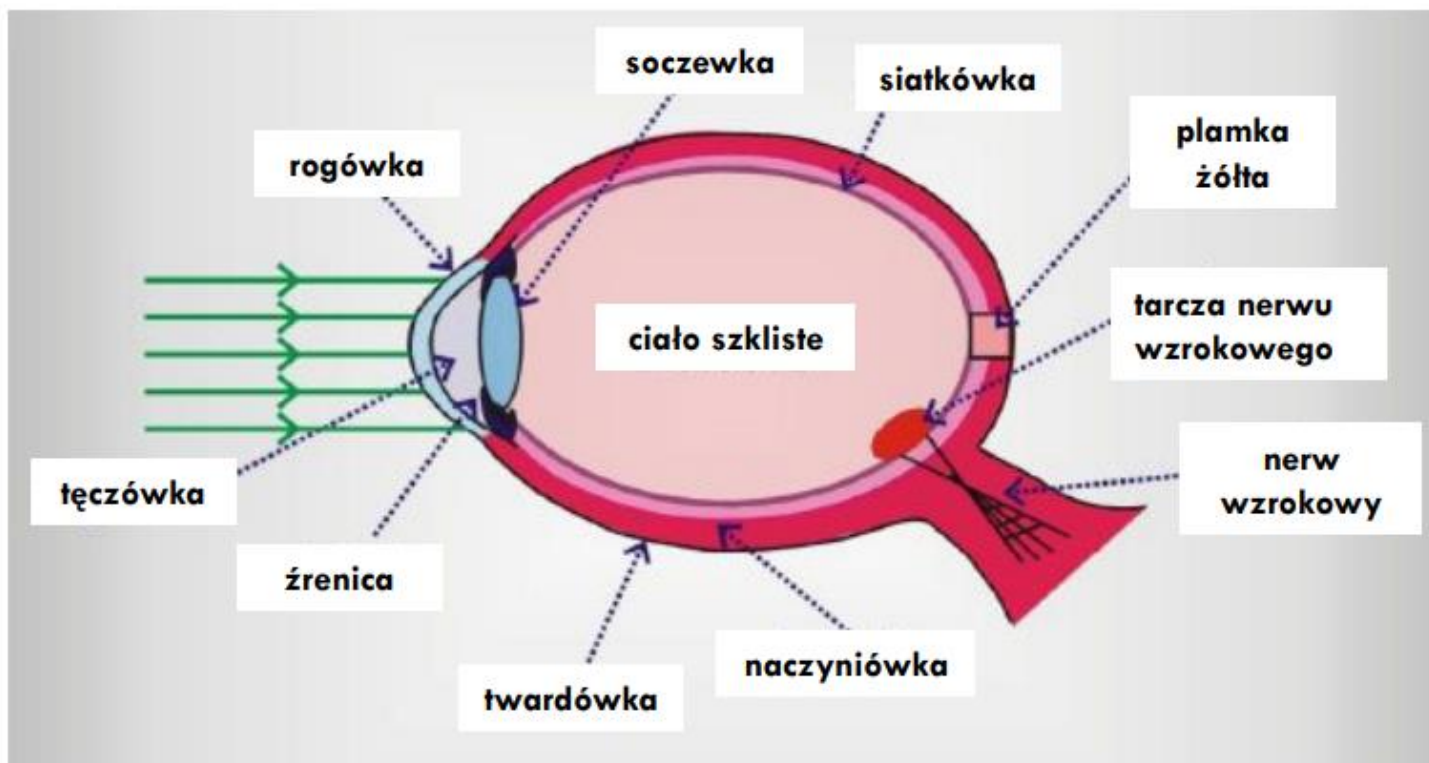


POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

Zagrożenia dla oczu

Lasery stwarzają największe zagrożenie dla oczu i skóry.

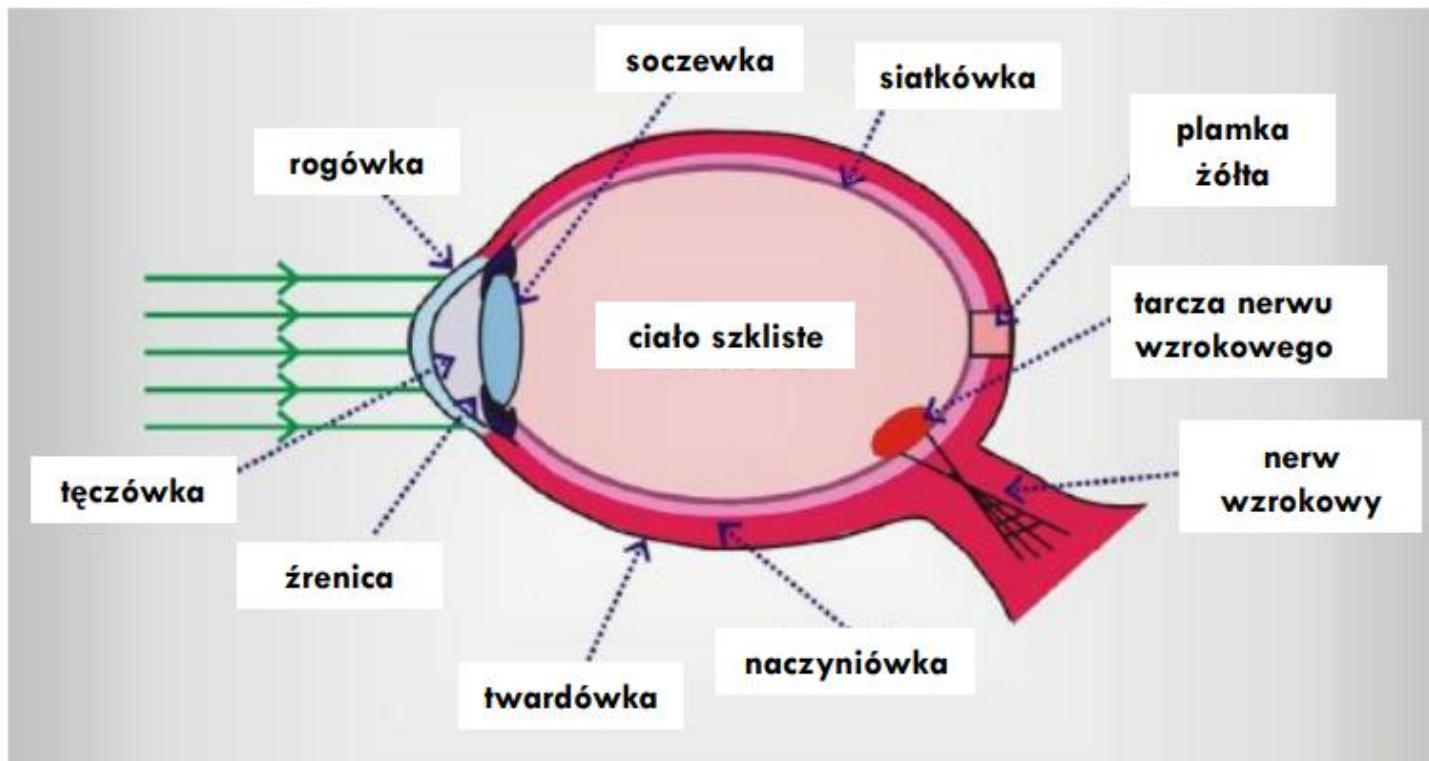
Światło z zakresu nadfioletu 180-315 nm jest absorbowane przez rogówkę i może spowodować zapalenie rogówki (photokeratitis). Światło z tego zakresu emitują lasery ekscimerowe ArF (193 nm), KrF (248 nm), XeCl (308 nm)) oraz czwarta harmoniczna fal promieniowania lasera Nd:YAG (266 nm).



POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

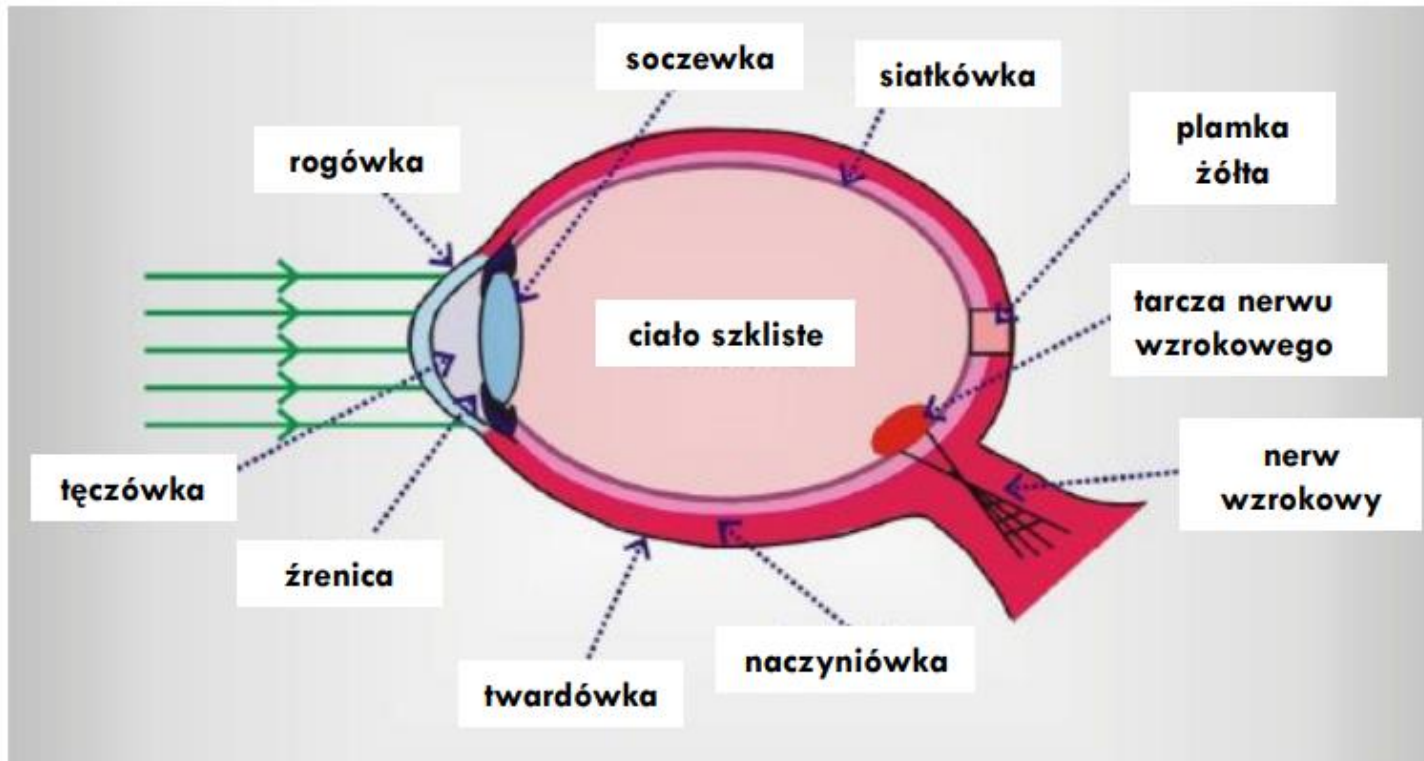
Światło o długościach fal z zakresu 315-400 nm jest absorbowane przez soczewkę i może wywoływać pewne formy katarakty.

Światło z tego zakresu wysyłane jest przez laser ekscimerowy XeF, laser azotowy (337 nm) oraz trzecią harmoniczną promieniowania lasera neodymowego (354 nm).



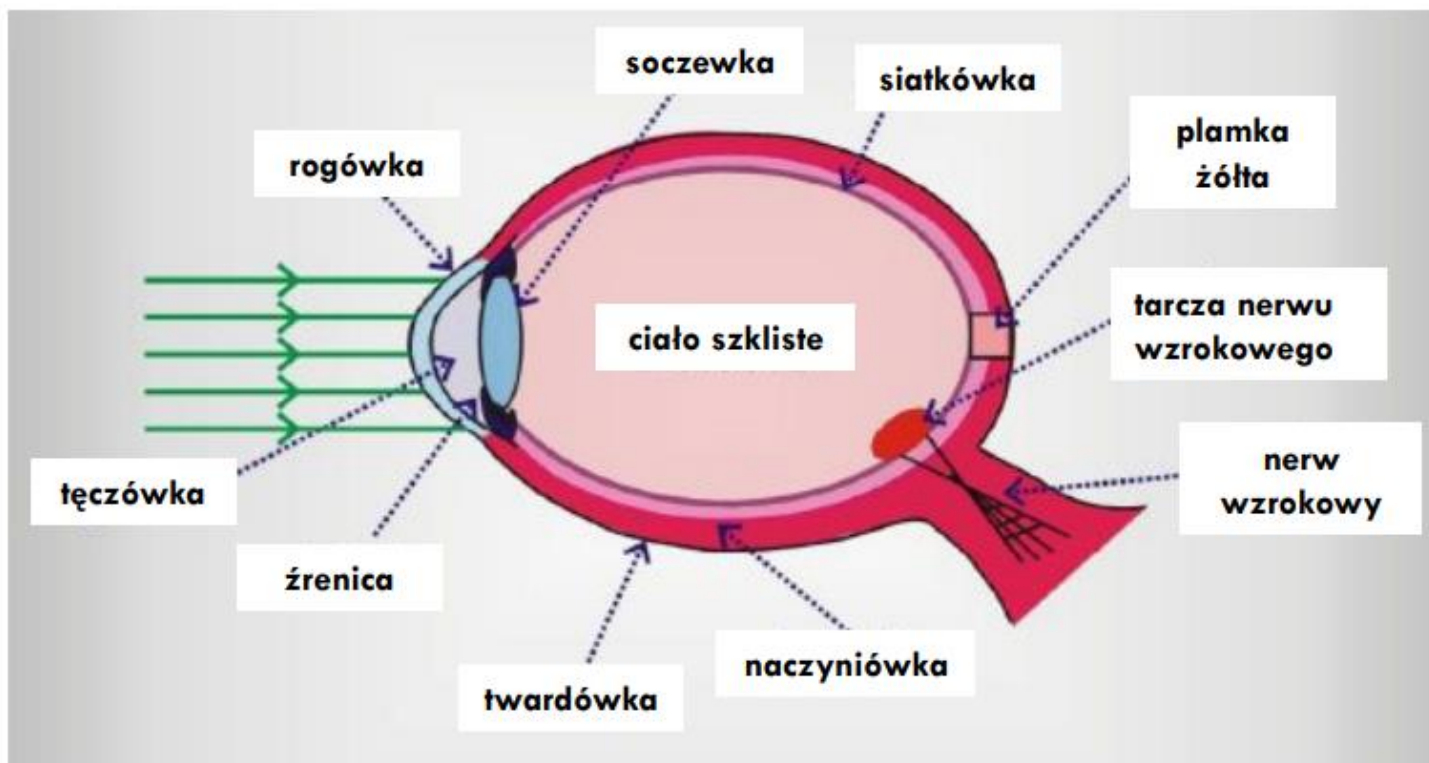
POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

Światło laserowe o długości fali z zakresu 400-1400 nm nie jest absorbowane przez zewnętrzne warstwy oka i przechodzi przez nie tylko nieznacznie osłabione. Jest to wyjątkowo niebezpieczne, światło bowiem przechodząc przez soczewkę jest silnie ogniskowane na siatkówce gdzie tworzy plamkę świetlną o rozmiarach 10 – 20 μm



POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

Zogniskowanie wiązki laserowej na małej powierzchni siatkówki powoduje, że gęstość energii [J/cm^2] wzrasta około 100 000 razy w porównaniu z gęstością energii padającej na oko. Szczególnie niebezpieczne jest promieniowanie o długościach fali z zakresu 400- 550 nm (druga harmoniczna częstotliwości emisji lasera Nd:YAG (532 nm), laser argonowy, laser kryptonowy, lasery barwnikowe). Należy więc unikać wiązek laserowych skierowanych wprost na oko lub odbitych od różnych powierzchni. Gdy zogniskowana wiązka padnie na tarczę nerwu wzrokowego najczęściej doprowadza do ślepoty.

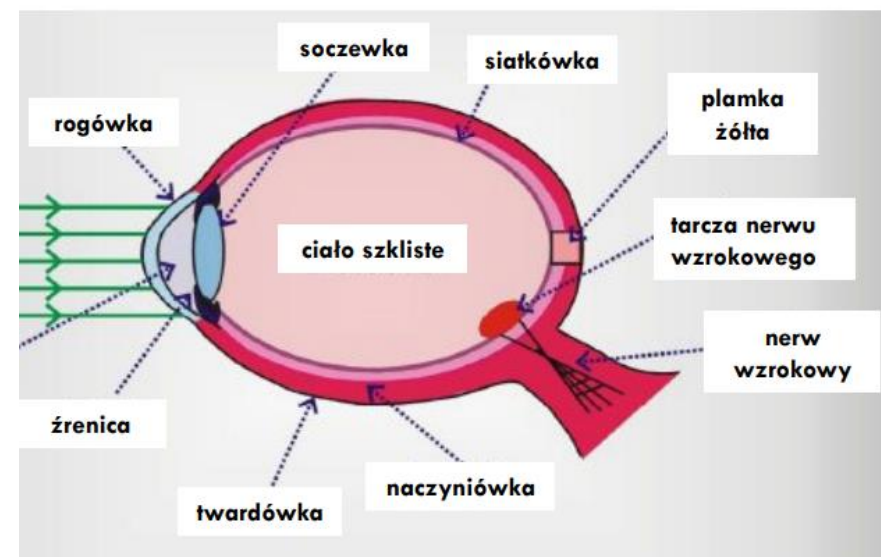


POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

Światło o długościach fal z zakresu średniej podczerwieni i dalekiej podczerwieni 1400 nm – 1 mm jest absorbowane na powierzchni oka – rogówce. Dla niektórych długości fal z zakresu 1,4 - 3 μm promieniowanie głębiej penetruje tkankę oka i może powodować kataraktę, podobnie jak promieniowanie o długościach fal z zakresu UV 315- 400 nm. W tym obszarze mieści się emisja laserów Nd:YAG (1064 nm), Ho:YAG (2120 nm), Er:YAG (2940 nm).

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

ZAKRES	EFEKT ABSORPCJI PROMIENIOWANIA
UV C (200-280 nm)	Zapalenie rogówki
UV B (280-315 nm)	Zapalenie rogówki
UVA (315-400 nm)	Katarakta
ViS (400-780 nm)	Fotochemiczne i termalne uszkodzenie tęczówki
IR A (780-1400 nm)	Katarakta, oparzenia tęczówki
IR B (1400-3000 nm)	Katarakta, oparzenia rogówki
IRC (3000-10000 nm)	Oparzenia rogówki



POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

Aby zapobiec wszystkim wymienionym wyżej zagrożeniom, należy stosować okulary ochronne. Należy upewnić się, że zastosowane w okularach filtry ochronne osłabiają promieniowanie z tego zakresu, którego aktualnie używamy. W jaki sposób należy wybierać właściwe filtry ochronne i jaki parametr je charakteryzuje? Parametrem tym jest gęstość optyczna $OD(\lambda)$ dla danej długości promieniowania [?] wyrażona równaniem

$$OD(\lambda) = \log_{10} \frac{H_0}{MDE}$$

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

$$OD(\lambda) = \log_{10} \frac{H_0}{MDE}$$

w którym H_0 jest największą spodziewaną ekspozycją (wyrażoną w jednostkach W/cm^2 dla laserów ciągłych i J/cm^2 dla laserów impulsowych), MDE zaś oznacza maksymalną dopuszczalną ekspozycję, czyli taki poziom promieniowania, któremu mogą być poddane osoby bez doznawania skutków szkodliwych. Wartości MDE zależą od długości fali promieniowania, czasu trwania impulsu, czasu ekspozycji oraz rodzaju tkanki narażonej na obrażenia. Wartości MDE zostały sklasyfikowane dla istniejących na rynku laserów ciągłych i impulsowych przez krajowe organizacje zajmujące się bezpieczeństwem pracy. Większość organizacji europejskich zaadoptowała schemat klasyfikacyjny ANSI. W tabeli podano niektóre wartości MDE dla laserów stanowiących zagrożenie dla oczu.

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

Typ lasera	Długość fali promieniowania [nm]	Wartość MDE dla oczu
laser Nd:YAG	1064	5 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ dla laserów impulsowych od 1 ns do 50 μs , 9 $t^{3/4}$ mJ/cm ² od 50 μs do 1000 s, 1,6 mW/cm ² dla dłuższych czasów
laser jonowy argonowy	488/514	0,5 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ od 1 ns do 18 μs , 1,8 $t^{3/4}$ mJ/cm ² od 18 μs do 10 s, 10 mJ/cm ² od 10 s do 10 000 s, 1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ dla dłuższych impulsów

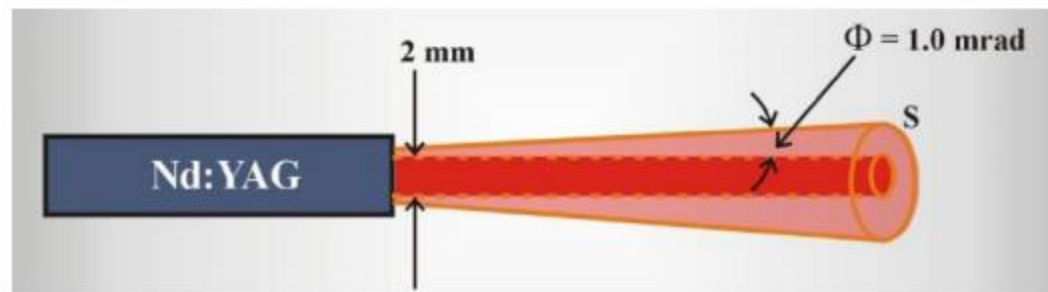
POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

Wyznamy OD(λ) dla lasera impulsowego Nd:YAG emitującego promieniowanie o długości 1064 nm. Niech energia impulsu wynosi 80 mJ, a czas trwania 15 ns. Zgodnie z tabelą MDE wynosi $5 \cdot 10^{-6} \text{ J/cm}^2$. Niech średnica wiązki wychodzącej z lasera wynosi $d = 2 \text{ mm}$, a rozbieżność wiązki $\phi = 1,0 \text{ mrad}$. W najgorszym przypadku, największa ekspozycja wynosi

$$H = \frac{80 \text{ mJ}}{\pi(0,1 \text{ cm})^2} = 2,55 \text{ J/cm}^2$$

Rozbieżność wiązki, która powoduje zwiększenie pola oświetlenia S , zmniejsza wartość H . Standardowe wartości MDE wyznaczane były dla większej średnicy wiązki wyjściowej - 7 mm. Dlatego należy wyznaczyć H_0 , które wynosi

$$H_0 = \frac{80 \text{ mJ}}{\pi(0,35 \text{ cm})^2} = 0,21 \text{ J/cm}^2$$

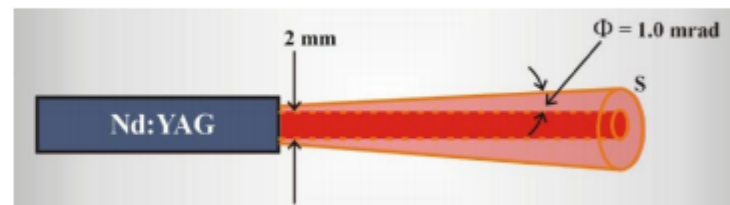


POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

Tak więc w tym wypadku wymagany filtr powinien charakteryzować się wartością gęstości optycznej $OD(\lambda)$

$$OD(\lambda) = \log_{10} \frac{0,21}{5 \cdot 10^{-6}} = 4,6$$

dla $\lambda = 1064 \text{ nm}$.



OBLICZ:

OD dla lasera jonowego argonowego emitującego ciągłe promieniowanie o długości fali 514 nm i o mocy 1 W

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

W większości zastosowań laserowych zagrożenie skóry jest mniejsze niż dla oczu.

Jednak rozszerzenie zakresu zastosowań do laserów emitujących w nadfiolecie oraz laserów o dużej mocy powoduje wzrost zagrożenia dla skóry.

Najbardziej niebezpieczny jest zakres 230 - 380 nm. Szczególnie niebezpieczny jest zakres UV - B (280 - 315 nm). Światło laserowe z tego zakresu może powodować poparzenie skóry, raka skóry i efekty starzenia. W zakresach 310 - 600 nm (UV/VIS) na skórze mogą zachodzić niekorzystne reakcje fotochemiczne, w zakresie 700 - 1000 nm (IR) światło laserowe może spowodować poparzenie skóry.

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

W większości zastosowań laserowych zagrożenie skóry jest mniejsze niż dla oczu.

Jednak rozszerzenie zakresu zastosowań do laserów emitujących w nadfiolecie oraz laserów o dużej mocy powoduje wzrost zagrożenia dla skóry.

Najbardziej niebezpieczny jest zakres 230 - 380 nm. Szczególnie niebezpieczny jest zakres UV - B (280 - 315 nm). Światło laserowe z tego zakresu może powodować poparzenie skóry, raka skóry i efekty starzenia. W zakresach 310 - 600 nm (UV/VIS) na skórze mogą zachodzić niekorzystne reakcje fotochemiczne, w zakresie 700 - 1000 nm (IR) światło laserowe może spowodować poparzenie skóry.

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

EFEKTY ABSORPCJI PROMIENIOWANIA PRZEZ SKÓRĘ

ZAKRES	EFEKT ABSORPCJI PROMIENIOWANIA
UV C (200-280 nm)	Poparzenia słoneczne
UV B (280-315 nm)	Przyspieszone starzenie się skóry, zwiększona pigmentacja
UVA (315-400 nm)	Przyciemnienie pigmentacji
ViS (400-780 nm)	Poparzenia skóry
IR A (780-1400 nm)	Poparzenia skóry
IR B (1400-3000 nm)	Poparzenia skóry
IRC (3000-10000 nm)	Poparzenia skóry

POTENCJALNE ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z NIEWŁAŚCIWEGO KORZYSTANIA Z LASERÓW

Niektóre lasery mogą wywoływać zagrożenia chemiczne. Należy pamiętać, że ośrodkiem czynnym w laserach ekscimerowych, barwnikowych i chemicznych są substancje toksyczne i mogą być one niebezpieczne dla zdrowia. Lasery gazowe, takie jak laser CO, czy CO₂ zawierają toksyczne gazy, które mogą wydzielać się przy przeciekach i uszkodzeniach rury laserowej. Ponadto, lasery indukują wiele reakcji, które mogą uwalniać niebezpieczne gazowe produkty.

Innym niebezpieczeństwem jest zagrożenie elektryczne. Dotyczy to szczególnie laserów o dużej mocy, których niewłaściwa konstrukcja, bądź usterki układów elektrycznych powstałe w wyniku eksploatacji, mogą mieć nawet śmiertelne skutki. W większości laserów są stosowane wysokie napięcia (> 1 kV), a lasery impulsowe są szczególnie niebezpieczne z powodu energii zgromadzonej w bateriach kondensatorów. Należy wymienić również zagrożenia promieniowaniem X emitowanym na skutek niewłaściwego osłonięcia podzespołów obwodów, takich jak lampy elektronowe, pracujących z napięciem anodowym wyższym niż 15 kV, eksplozją lamp pompujących i hałasem z laserów o dużej energii.