

ZASTOSOWANIE LASERÓW W OCHRONIE ŚRODOWISKA

W tym przypadku lasery pozwalają na prowadzenie kontroli stanu sanitarnego

- powietrza,
- zbiorników wodnych,
- powierzchni i pokrycia terenu.

Stosowane rodzaje laserów

- o możliwie najmniejszej szerokości spektralnej generowanej linii (He-Ne),
- mogące pracować z dużą częstotliwością repetycji impulsów (Nd:YAG, He-Cd, CO₂, InSb, lasery azotowe i barwnikowe),
- pozwalające na generację na kilku długościach fali jednocześnie (np. Ar, He-Cd),
- o dużej niezawodności i możliwości pracy w terenie.

Wykorzystywane zjawiska	Rodzaje laserów	Kontrolowane cechy
Rozpraszanie wsteczne Mie i Rayleigha, luminescencja badanych obszarów.	Lasery na ciele stałym, barwnikowe, ekscymerowe.	Zdalna kontrola wielko-cząsteczkowych i fluk-tuacyjnych zmętnień powietrza i wód.
Rozpraszanie Ramana i rezonansowe rozpraszanie Ramana i Brillouina.	Lasery Nd:YAG z generacją wyż-szych harmo-nicznych, ekscymerowe.	Śledzenie skażeń gazowych, płynnych rozlewów organicznych, zrzutów ciepła, deformacji termicznych, skażeń radioaktywnych.
Metody holograficzne.	He-Ne, Ar, He-Cd.	Identyfikacja zanieczy-szczeń aerozolowych.

Zjawiska fizyczne wykorzystywane w badaniach środowiska laserami

Rozpraszanie Rayleigha

Zachodzi na cząsteczkach o rozmiarach nie przekraczających $0,1 \lambda$. Może być rozumiane jako rozpraszanie sprężyste, gdyż energia fotonu podczas rozpraszania nie zmienia się. Rayleigh obliczył, że natężenie światła rozpraszanego przez rozpraszacze dipolowe może być opisane wyrażeniem

$$I = I_0 \frac{8 \pi^4 N \alpha^2}{\lambda^4 R^2} (1 + \cos^2 \theta)$$

N - liczba rozpraszaczy, α - polaryzowalność ,

R - odległość obserwatora od rozpraszaczy

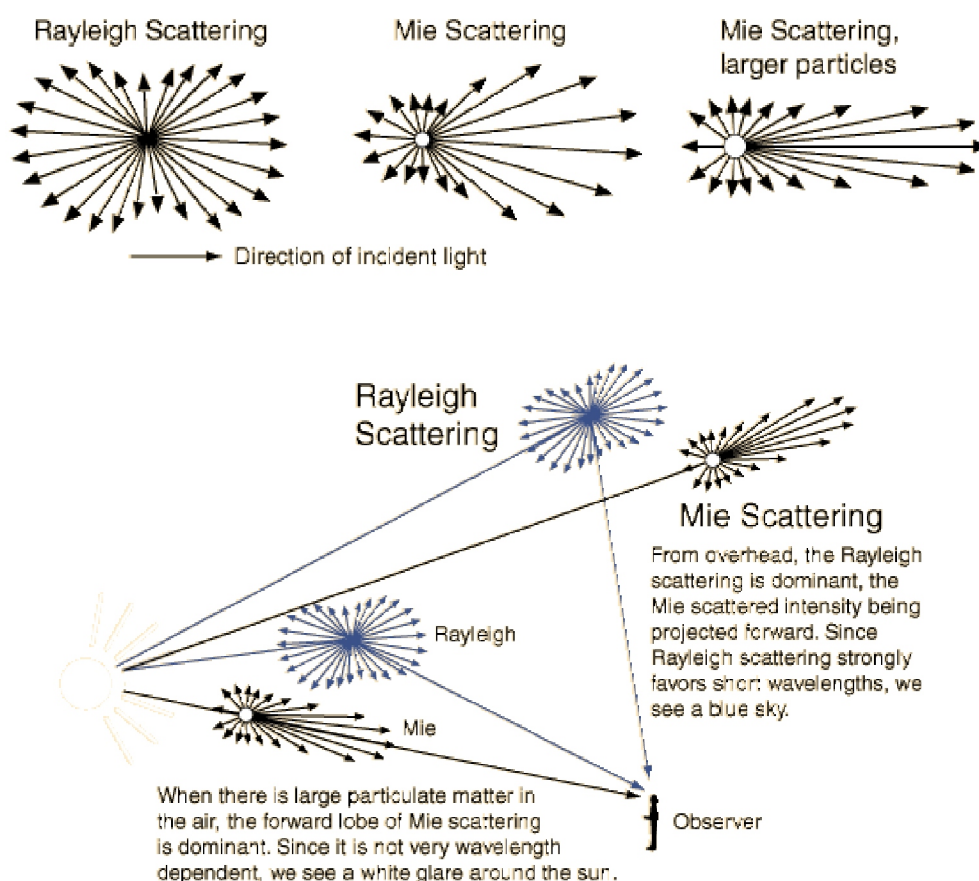
Rozpraszanie Rayleigha jest wykorzystywane w badaniach molekuł, turbulencji atmosfery, do pomiarów średniej objętościowej gęstości i temperatury oraz koncentracji zanieczyszczeń powietrza.

Rozpraszanie Mie (Gustaw Mie, 1908)

- Dominuje na cząsteczkach znacznie większych od molekuł, np. na chmurach, mgie, kurzu lub aerozolach, kiedy ich rozmiary są większe lub porównywalne z długością fali λ światła rozpraszanego.
- Długości fali promieniowania padającego i rozproszonego są takie same.
- Rozpraszanie Mie nie jest silnie zależne od długości fali.
- Rozpraszanie do tyłu ma tu mniejszą intensywność niż rozpraszanie do przodu.

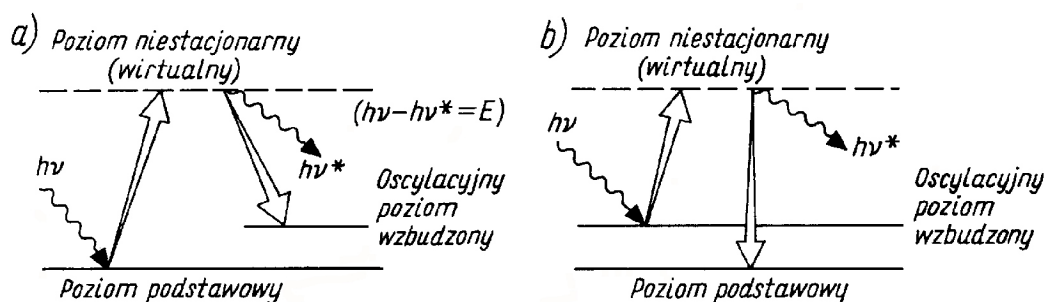
Rozpraszanie Mie jest wykorzystywane do określania rozmiarów, koncentracji (lub zmian koncentracji) i prędkości pyłów i aerozoli.

Rozpraszanie Rayleigha a rozpraszanie Mie



Rozpraszanie Ramana

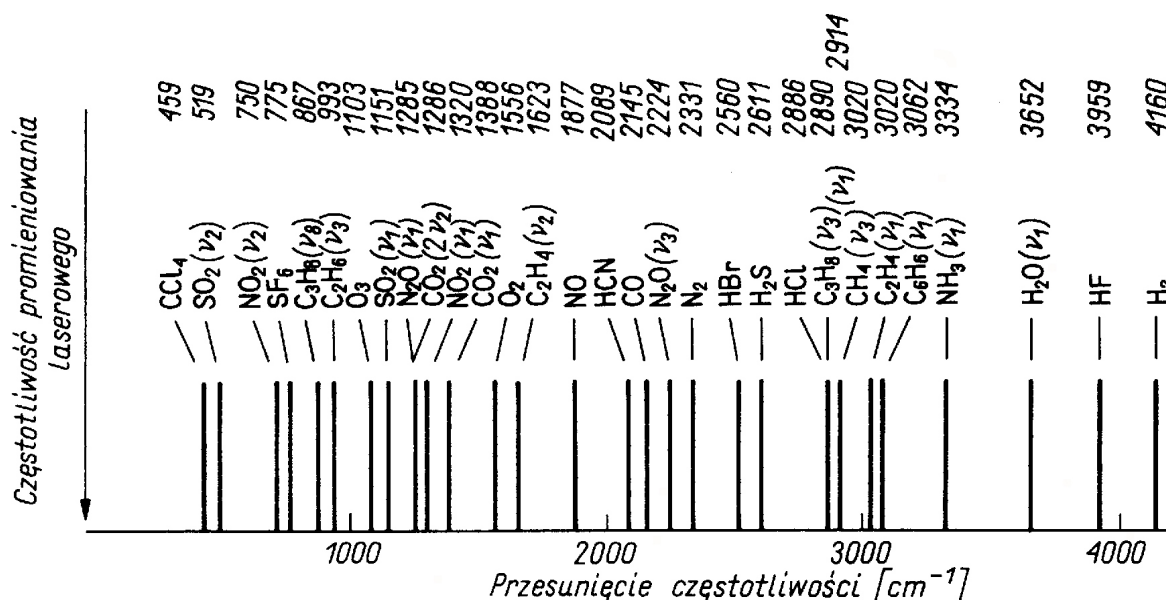
Powstaje w procesie oddziaływania padającego promieniowania z cząsteczką i prowadzi do dodawania się lub odejmowania (przesunięcia antystokesowskie i stokesowskie) częstości oscylacyjno-rotacyjnych cząsteczki i częstości promieniowania padającego.



Rozpraszanie Ramana: a) stokesowskie, b) antystokesowskie

Rozpraszanie Ramana, cd

Rozpraszanie ramanowskie umożliwia identyfikację i kontrolę zbioru pierwiastków chemicznych w atmosferze w czasie rzeczywistym i z dobrą rozdzielczością przestrzenną.



Przesunięcie linii widmowych rozpraszania ramanowskiego w stosunku do częstości promieniowania lasera wzbudzającego dla różnych cząsteczek (pasmo antystokesowskie) zawartych w atmosferze.

Rezonansowe rozpraszanie Ramana

Należy do rodziny nieliniowych efektów Ramana. Występuje, gdy poziom wirtualny w tym zjawisku jest jednym z poziomów własnych molekuly.

Badanie tego rozpraszania stało się możliwe dopiero po zbudowaniu laserów przestrzajalnych.

Przekrój czynny na Rezonansowe rozpraszanie Ramana jest o kilka rzędów wielkości większy niż na zwykłe rozpraszanie Ramana. To pozwala wykrywać nawet śladowe koncentracje składników w atmosferze.

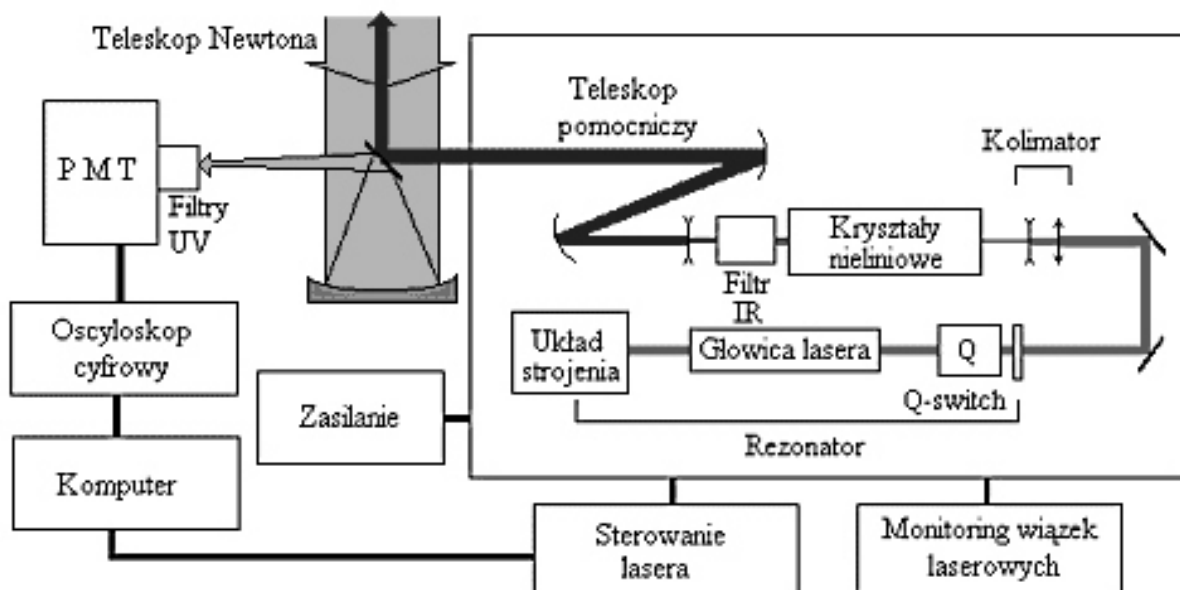
LIDAR

Jest to układ do badania rozpraszaniem światła do tyłu w stosunku do kierunku padania, przez ośrodek rozpraszający znajdujący się w powietrzu.

Słowo LIDAR jest akronimem angielskiej nazwy *Light Detection And Ranging* i jest oczywiście podobne do słowa RADAR będącego akronimem nazwy *Radio Detection And Ranging*. Podobieństwo dotyczy zresztą nie tylko nazw - obydwa urządzenia pracują na podobnej zasadzie.

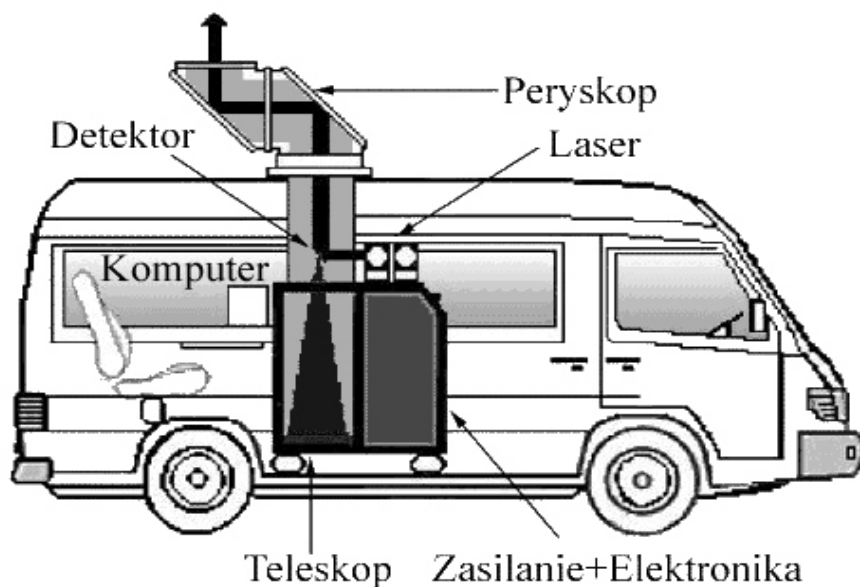
Lidar składa się z następujących elementów:

1. lasera impulsowego generującego krótkie i silne impulsy światła o wybranych długościach fali,
2. układu optycznego pozwalającego kierować światło lasera w wybranym kierunku,
3. teleskopu (Newtona) zbierającego światło laserowe rozproszone do tyłu,
4. detektora promieniowania rejestrującego natężenie światła rozproszonego,
5. układu elektronicznego synchronizującego pomiary,
6. komputera sterującego całością.



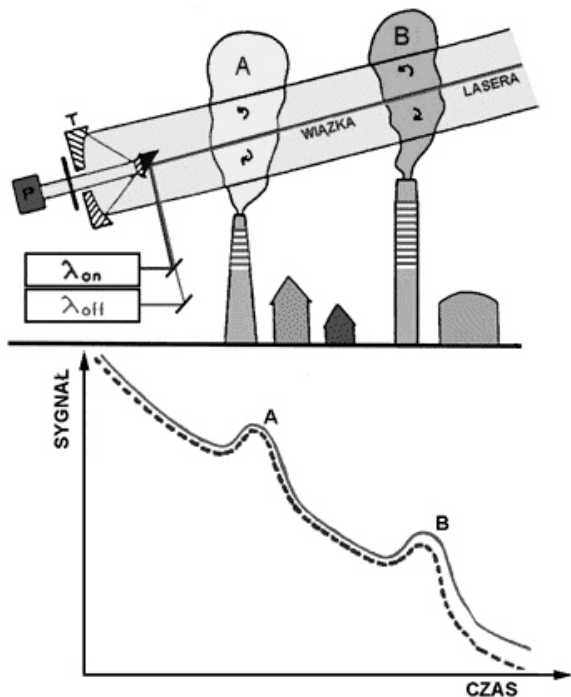
Budowa lidar, cd

- W lidarach stosowane są lasery impulsowe wytwarzające impulsy światła o czasie trwania około 10 ns. Są to więc "paczki" promieniowania o wymiarach pocisku artyleryjskiego pędzące wzdłuż linii prostej z prędkością światła.
- Z każdego miejsca wzdłuż drogi tego "pocisku świetlnego" część światła jest rozpraszana we wszystkie strony, a więc i do tyłu. Światło rozproszone do tyłu zbierane jest za pomocą teleskopu, a jego natężenie mierzy się używając odpowiedniego detektora promieniowania (fotopowielacz lub fotodioda).
- Pomiar czasu jaki upłynął od chwili wysłania impulsu laserowego do chwili zarejestrowania impulsu światła rozproszonego do tyłu (sygnału) pozwala wyznaczyć położenie źródła rozpraszającego światło laserowe w przestrzeni.
- Natężenie zmierzonego sygnału jest proporcjonalne do koncentracji czynnika powodującego rozpraszanie.



Schemat blokowy lidar zbudowanego w Instytucie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego.

DIAL - *Differential Absorption Lidar*



W technice DIAL mierzy się natężenie światła rozproszonego na zanieczyszczeniach powietrza wzdłuż drogi rozchodzenia się impulsu laserowego dla dwóch laserów - np. jednego o długości fali λ_{on} , a drugiego o długości fali λ_{off} .

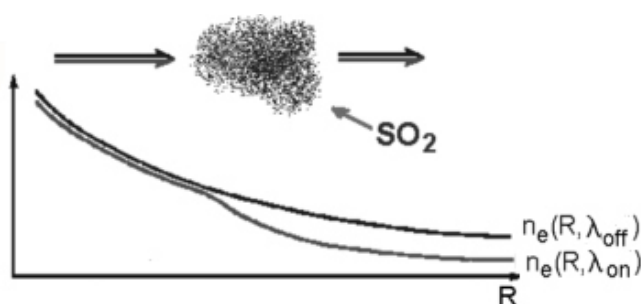
Smuga nad kominem B zawiera dodatkowo (w porównaniu ze smugą A) zanieczyszczenie (np. SO_2), którego molekuly absorbują rezonansowo fale o długości λ_{on} .

Długość fali pierwszego lasera λ_{on} jest tak dobrana aby energia fotonów odpowiadała energii oscylacji molekuly SO_2 . Ta wiązka laserowa będzie pochłaniana w tym obszarze przez te właśnie molekuly i rozpraszana przez pozostałe zanieczyszczenia. Długość fali drugiego lasera λ_{off} , niewiele różniąca się od λ_{on} , nie jest pochłaniana przez molekuly SO_2 , a przez pozostałe zanieczyszczenia jest rozpraszana tak samo jak λ_{on} . W obszarze B fotony o długości λ_{on} są częściowo absorbowane, nie mogą się więc pojawić w wiązce światła rozproszonego w kierunku detektora lidaru. Właśnie z tego powodu strumień światła o tej długości fali będzie miał w tym obszarze mniejsze natężenie.

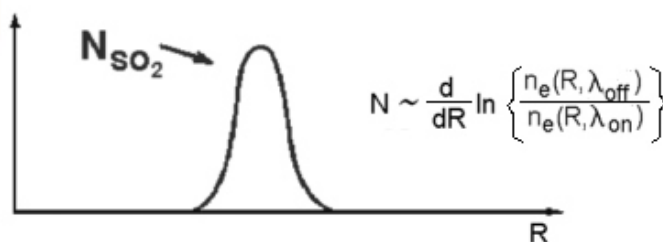
Pomiar lidarem z zastosowaniem techniki DIAL, cd

Podsumowując:

1. Wzrost sygnału świadczy zawsze o szczególnie dużej lokalnej koncentracji różnych zanieczyszczeń.
2. Względne obniżenie sygnału lasera λ_{on} w stosunku do λ_{off} , świadczy o rezonansowym oddziaływaniu fotonów lasera z molekułami zanieczyszczenia, którego koncentrację chcemy wyznaczyć.



Natężenie światła rozproszonego wstecz (sygnał) zarejestrowane przez lidar w funkcji odległości od detektora.



Rozkład gęstości SO₂ w obszarze dymu, otrzymany po komputerowej analizie.

Zalety lidarów

Można za ich pomocą zdalnie mierzyć koncentracje składników (w tym zanieczyszczeń) powietrza. Pozwalają one także prowadzić "lotne" kontrole składu dymów kominowych.

Wady i ograniczenia lidarów

Zasięg lidarów jest nieduży w stosunku do typowych potrzeb monitorowania stanu atmosfery. Stosowalność lidarów zależy w dużym stopniu od pogody, lidar nie może działać w czasie zbyt gęstej mgły lub deszczu.