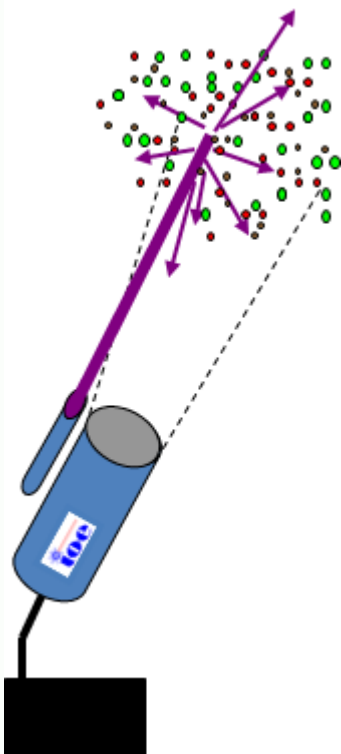




Wojskowa Akademia Techniczna Instytut Optoelektroniki



Seminarium dla uczczenia 110 rocznicy urodzin Pawła Jana Nowackiego



LIDAR czyli RADAR w paśmie optycznym - oczekiwania i możliwości

mjr dr inż. Jacek Wojtanowski

e-mail: jacek.wojtanowski@wat.edu.pl



Utworzenie WAT 1951

Pierwsi absolwenci 1953

Pierwsi doktorzy 1954

Pierwsze polskie lasery:

HeNe 1963

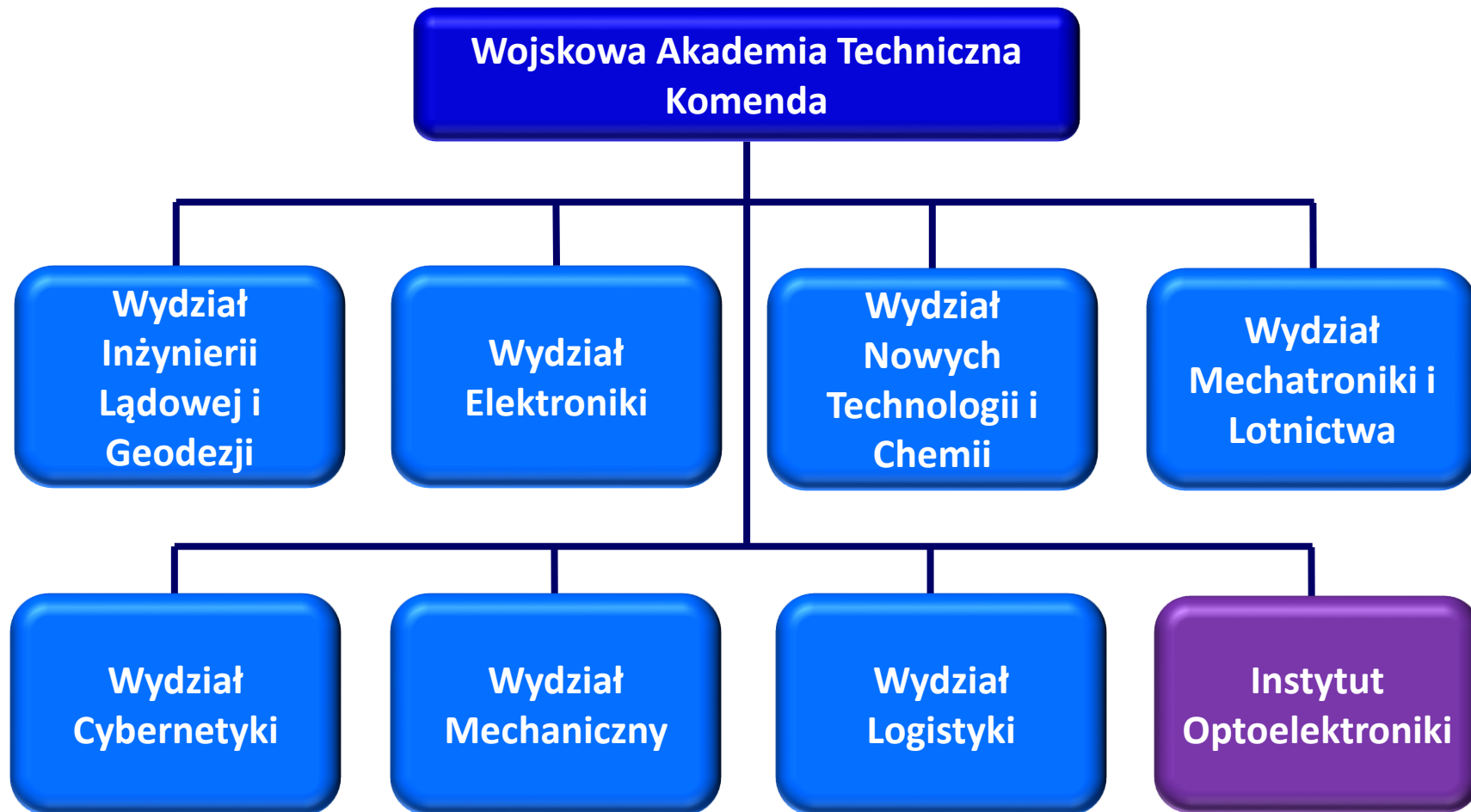
Al_2O_3 (rubinowy) 1965

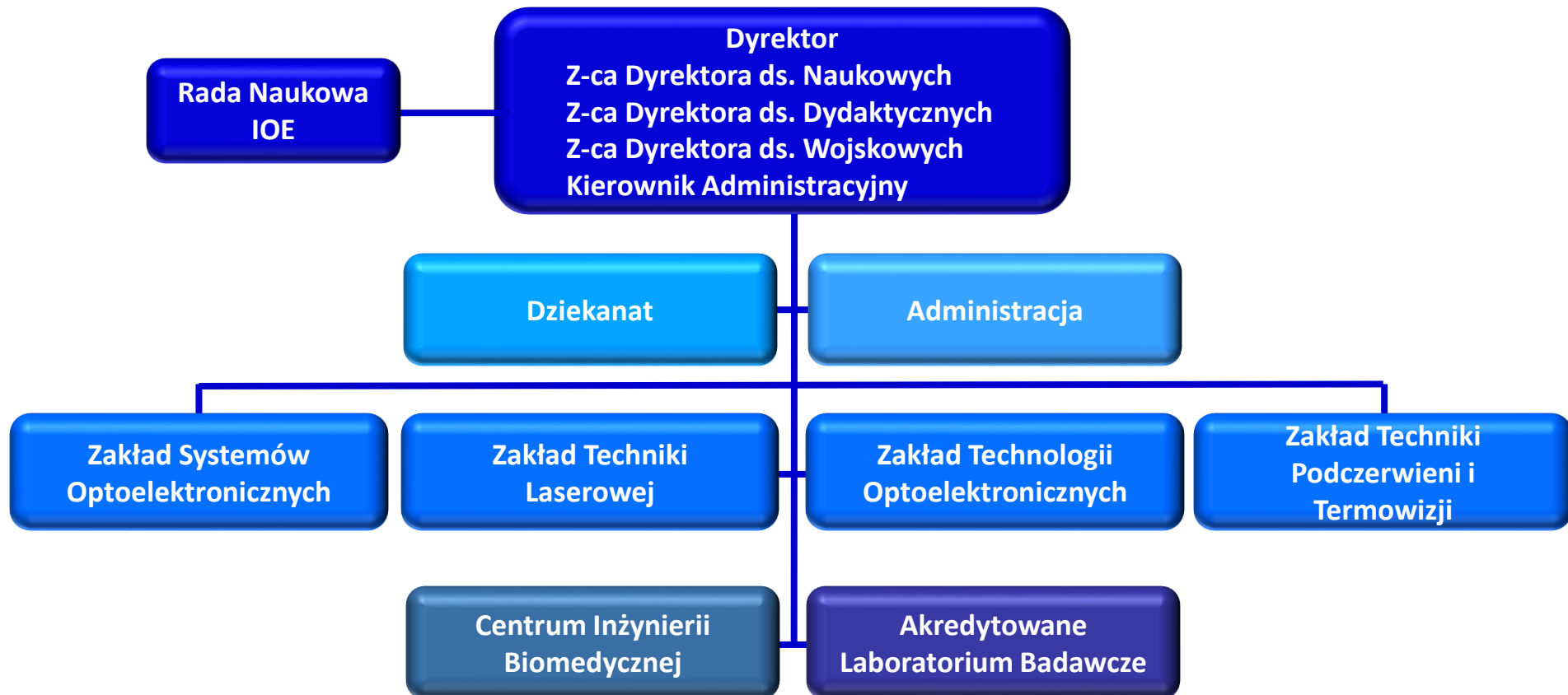
CO_2 1966

**Pierwszy okulistyczny laser
w Europie 1965**



- Uczelnia publiczna i jednostka wojskowa podlegająca Ministerstwu Obrony Narodowej i Ministerstwu Nauki i Szkolnictwa Wyższego.
 - **WAT** jest największą uczelnią wojskową w Polsce.
 - **WAT** jest głównym źródłem fachowej wiedzy eksperckiej w dziedzinie badań i rozwoju dla **Wojska Polskiego**.
- 
- Na **WAT** studiuje obecnie **9000** studentów w tym **~8000** cywilnych i **~1000** wojskowych.
 - **16** kierunków studiów obejmujących **70** specjalizacji.
 - Ponad **800** nauczycieli akademickich, w tym **96** Profesorów, **97** Dr. hab., **399** Dr., **213** Mgr. i około **200** osób personelu technicznego.
 - **~ 400** laboratoriów badawczych i dydaktycznych w tym wiele unikalnych i wysoce wyspecjalizowanych.
 - **155** sal wykładowych.







IOE jest uznawany za jedną z najlepszych instytucji badawczych w obszarze fotoniki na świecie!!!

Photonics Institutions Flourish Around the World

Every corner of the world, it seems, is involved with photonics-related research. Organizing all of the expertise is a daunting task, and no single academic or commercial entity even tries to be the bearer of *all* knowledge in the field.

Still, some institutions stand out for the breadth and depth of their offerings: disseminating hundreds of research papers, holding multiple patents and spinning off a multitude of new companies with significant new photonics technologies and techniques to share. This list presents some of the best examples of photonics institutions in the world, all of which have exhibited a steady stream of activity over the past decade.

Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (MBI)/Institute for Nonlinear Optics and Short-Time Spectroscopy
Berlin
www.mbi-berlin.de
Areas of expertise include: nonlinear optics; spectroscopy; ultrafast processes

National Institute of Standards and Technology (NIST) – Quantum Electronics and Photonics Division
Boulder, Colorado
www.nist.gov
Areas of expertise include: advanced materials; optical properties of materials; semiconductors; sensors

University of Rochester Institute of Optics
Rochester, New York
www.optics.rochester.edu
Areas of expertise include: biomedical optics; fibers and optical communication; image science and systems

CREOL | The College of Optics & Photonics at the University of Central Florida
Orlando, Florida
www.creol.ucf.edu
Areas of expertise include: lasers; fiber optics; semiconductor and integrated photonics; nonlinear and quantum optics; imaging; sensing; display

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT/Fraunhofer Institute for Laser Technology
Aachen, Germany
www.ilt.fraunhofer.de
Areas of expertise include: laser optics; materials processing; medical technology; biophotonics; metrology; extreme-ultraviolet technology

Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL)/Lyon Institute of Nanotechnology
Lyon, France
inl.cnrs.fr
Areas of expertise include: nanotechnology, including photonics and photovoltaics

Centro de Investigaciones en Óptica/Center for Optics Research
León, Mexico
www.cio.mx
Areas of expertise include: metrology; optical design; IR sensors; colorimetry

Institut de Ciències Fotòniques (ICFO)/Institute of Photonic Sciences
Castelldefels, Spain
www.icfo.es
Areas of expertise include: biophotonics; quantum optics; nonlinear optics; nano-optics

University of Arizona College of Optical Sciences
Tucson, Arizona
www.optics.arizona.edu
Areas of expertise include: fiber optics; remote sensing; optoelectronics; quantum optics; optical design; optical engineering and testing

Wojskowa Akademia Techniczna Instytut Optoelektroniki/Military University of Technology – Institute of Optoelectronics
Warsaw, Poland
www.ioe.wat.edu.pl
Areas of expertise include: laser physics; spectroscopy; laser-matter interactions

Lynn Savage
lynn.savage@photonics.com

Plan wykładu

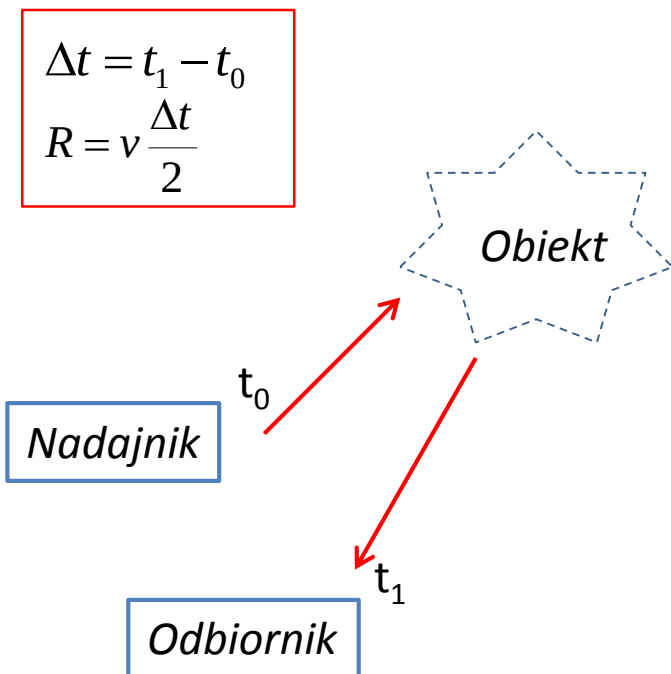
1. Wprowadzenie
2. Podstawowa konstrukcja systemu lidarowego
3. Rodzaje lidarów i ich zastosowania
4. Przygoda z lidarem biologicznym
5. Podsumowanie

1. Wprowadzenie
2. Podstawy działania lidarów
3. Rodzaje lidarów i ich zastosowania
4. Przygoda z lidarem biologicznym
5. Podsumowanie

Wprowadzenie

LIDAR (z j. ang. Light Detection And Ranging) jest zdalną i aktywną techniką pomiarową, w której wiązka promieniowania optycznego pełni rolę narzędzia badawczego.

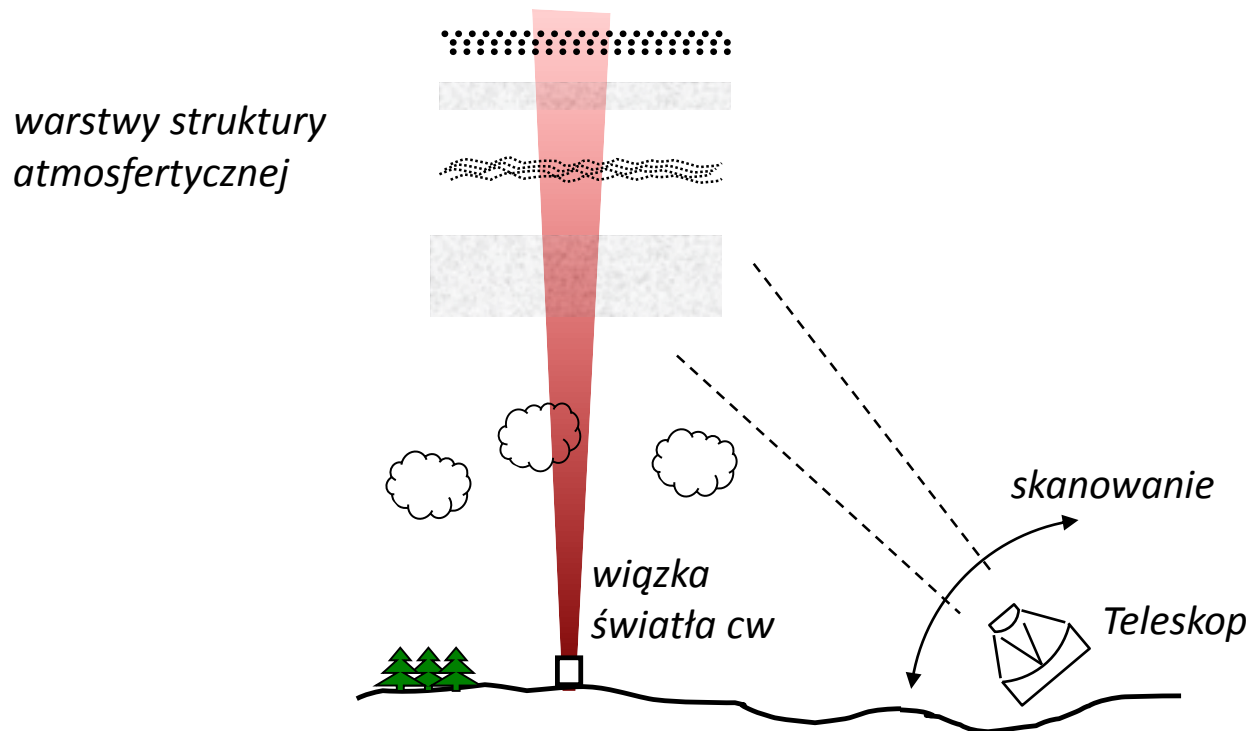
Działanie lidarów znajduje analogię do innych metod zdalnej detekcji, mianowicie do RADARów (z j. ang. Radiowave Detection And Ranging) oraz mniej znanych SODARów (z j. ang. Sound Detection And Ranging).



	SODAR	RADAR	LIDAR
Nadajnik	Głośnik	Antena nadawcza	Laser
Wysyłana energia	Fale akustyczne	Fale radiowe	Światło
Odbiornik	Mikrofon	Antena odbiorcza	Obiektyw (teleskop)

Wprowadzenie

Początki techniki lidarowej miały miejsce w latach 30-tych XX wieku, a więc na długo przed wynalezieniem laserów. Obserwowano wówczas z boku rozproszenie snopu światła skierowanego pionowo w górę w poszczególnych warstwach atmosfery, uzyskując w ten sposób informację na temat jej struktury.

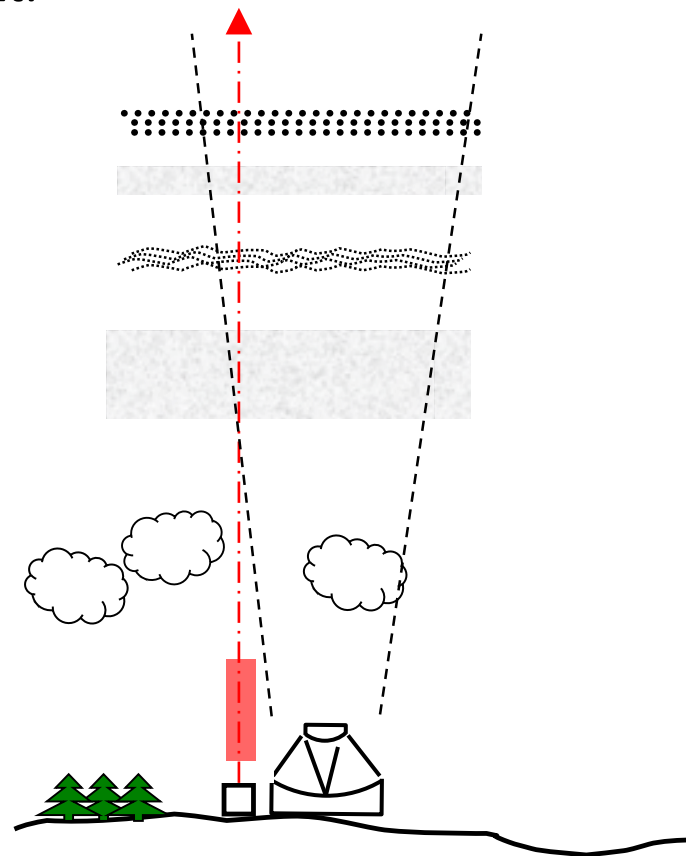


Wprowadzenie

Wynalezienie lamp błyskowych (1938) umożliwiło konstrukcję urządzeń lidarowych, w których teleskop odbiorczy znajdował się obok źródła światła (równoległość osi optycznych teleskopu i wiązki światła). Odległość z jakiej rejestrowano echo optyczne wynikała z czasu Δt .

Gwałtowny rozwój technik lidarowych nastąpił jednak po wynalezieniu laserów impulsowych dużej mocy (1962).

Współczesne lidary bazują na laserach z zakresu od UV do dalekiej podczerwieni, generujących impulsy o mocy szczytowej do kilkunastu MW i czasie trwania od kilku do kilkuset ns.



Wprowadzenie

Na przełomie lat 60-tych i 70-tych XX w. za pomocą lasera impulsowego mierzono z dokładnością kilku cm odległość do Księżyca. Pomiary polegały na rejestrowaniu optycznego sygnału echa, otrzymanego w wyniku odbicia wiązki lasera od retroreflektorów umieszczonych na powierzchni Księżyca przez astronautów misji Apollo.



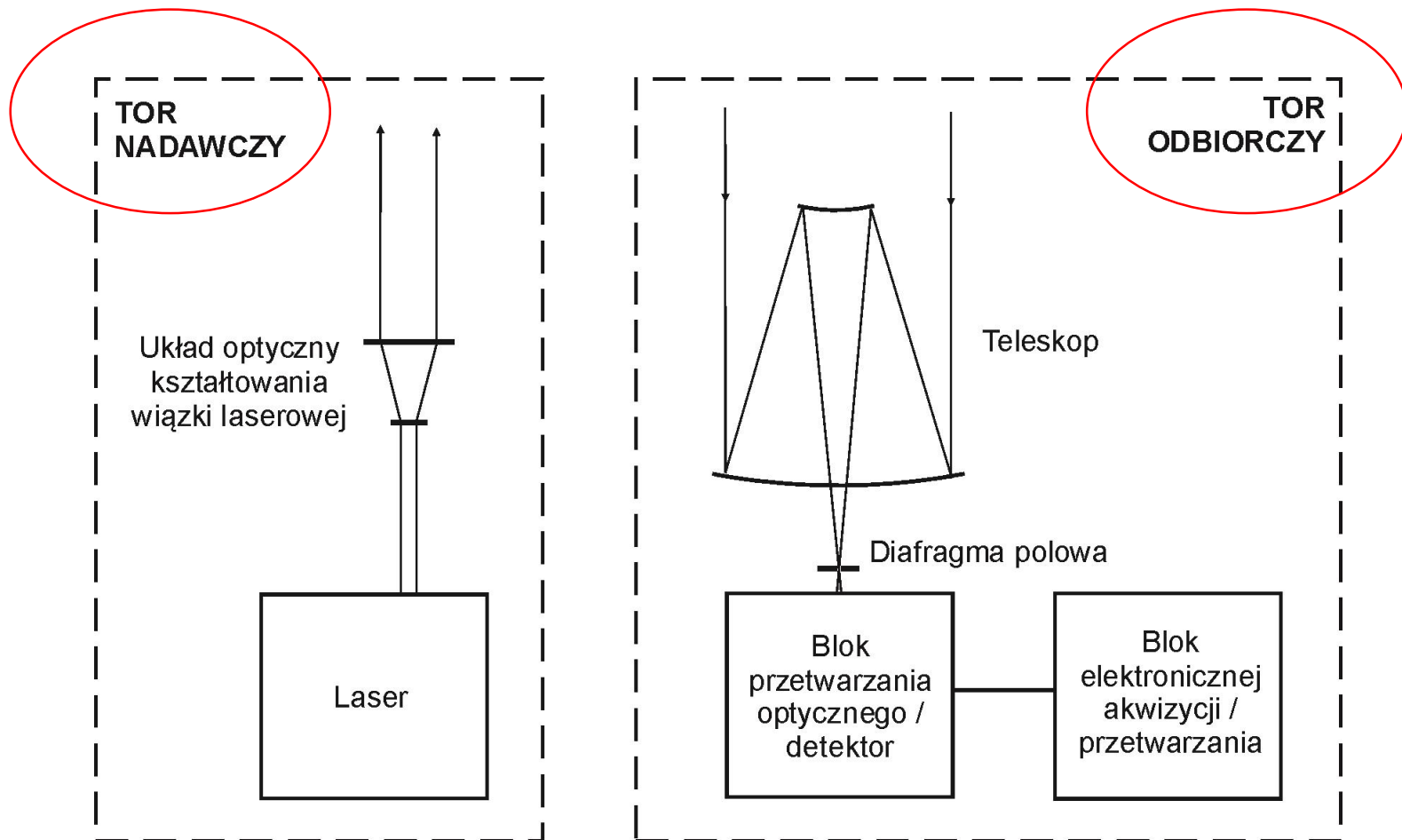
Plan wykładu

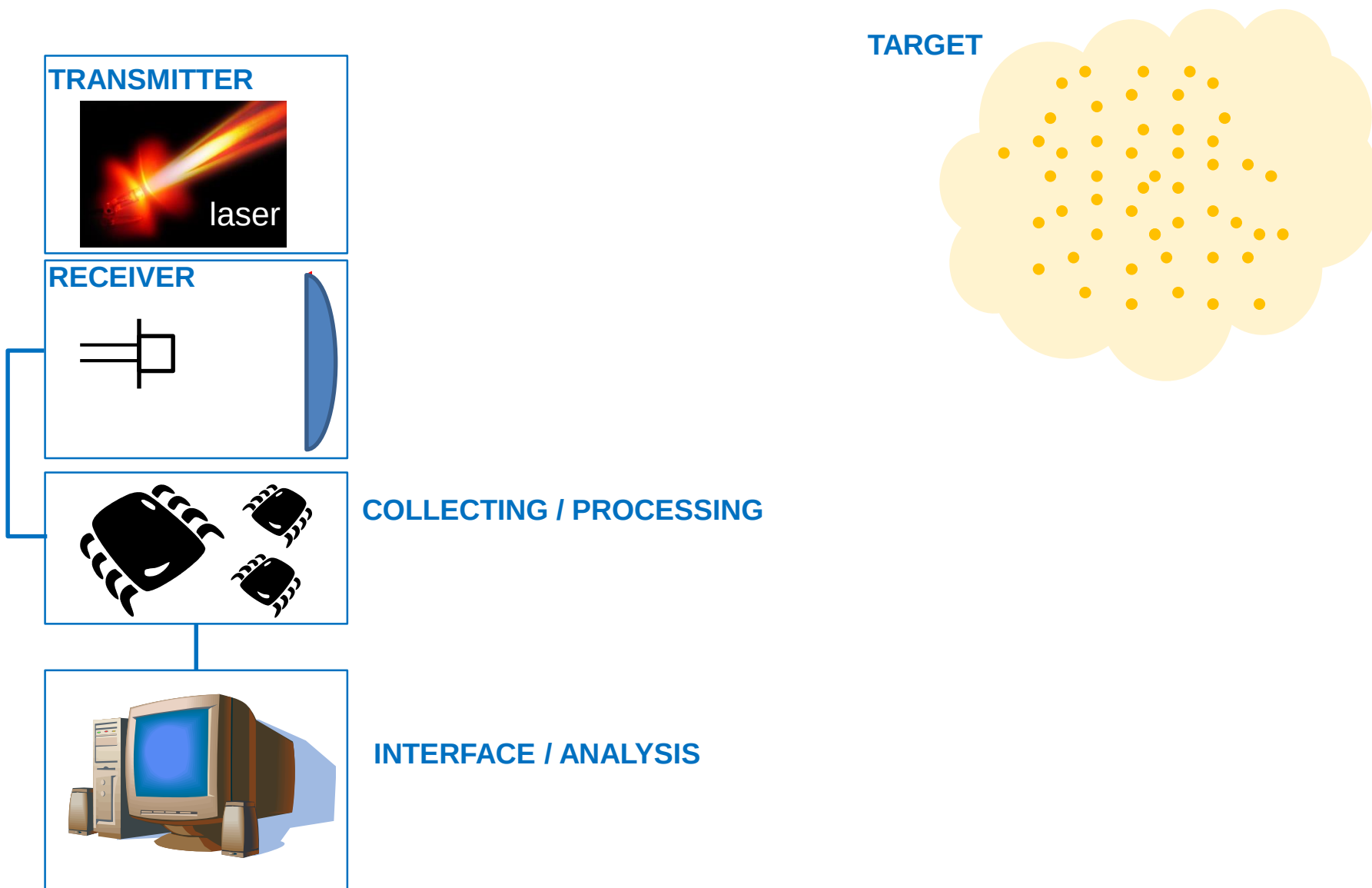
1. Wprowadzenie
2. Podstawy działania lidarów
3. Rodzaje lidarów i ich zastosowania
4. Przygoda z lidarem biologicznym
5. Podsumowanie

Podstawy działania lidarów

Każdy lidar posiada dwa podstawowe bloki funkcjonalne:

- tor nadawczy,
- tor odbiorczy.

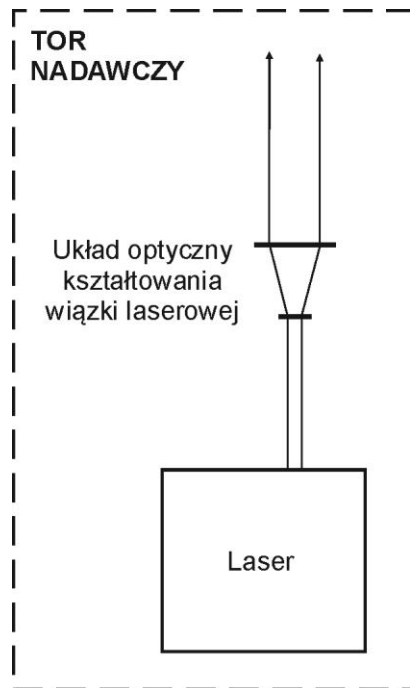




Podstawy działania lidarów

W torze nadawczym znajduje się:

- jeden, lub kilka laserów
- optyczny układ kształtowania wiązki
- moduł zasilania i sterowania



Emisja impulsów optycznych
o określonych: λ , P , τ .

Uformowanie wiązki
o określonych: θ , W_0 .

Dostarczenie energii
elektrycznej oraz synchronizacja
z układem detekcyjnym.

Podstawy działania lidarów

W torze odbiorczym znajduje się:

- obiektyw odbiorczy (teleskop)
- diafragma polowa i układ optyczny
- detektor
- układy elektroniczne

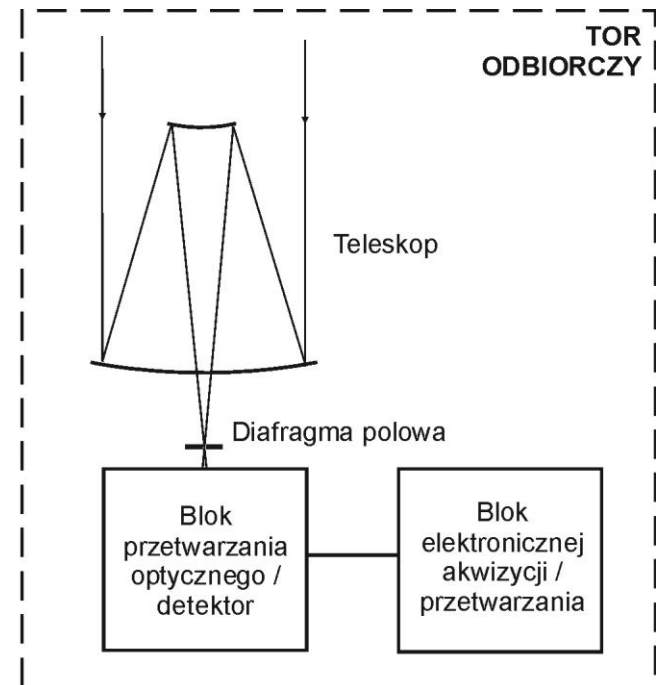
Zbieranie optycznego sygnału echa

Kształtowanie pola widzenia teleskopu

Dzielenie sygnału, separowanie określonych pasm widmowych, depolaryzacja,

Konwersja sygnału optycznego na elektryczny

Wzmacnianie, konwersja A/C, obróbka,



Plan wykładu

1. Wprowadzenie
2. Podstawy działania lidarów
3. Rodzaje lidarów i ich zastosowania
4. Przygoda z lidarem biologicznym
5. Podsumowanie

Rodzaje lidarów i zastosowania

Systematyka podziału lidarów na poszczególne typy wynika z rodzaju mierzonego zjawiska towarzyszącego oddziaływaniu promieniowania laserowego z badanym obiektem.

Nazwa lidar	Zjawisko	Zastosowania
<i>Hard Target</i>	Odbicie	Pomiar odległości, prędkości dla obiektów makroskopowych
<i>Flash Ladar (Scanning)</i>		Tworzenie chmury punktów (3D)
Rozprośniowy	Rozpraszanie elastyczne	Stwierdzanie obecności i lokalizacji aerozoli
Rozprośniowy wielospektralny (DISC)	Rozpraszanie elastyczne	Określanie rozmiarów cząsteczek aerozoli
Depolaryzacyjny	Depolaryzacja przy rozpraszaniu	Określanie kształtu oraz fazy cząsteczek aerozoli
Absorpcji różnicowej (DIAL)	Absorpcja	Wykrywanie w powietrzu obecności określonego związku chemicznego
Fluorescencyjny	Fluorescencja wzbudzana laserowo	Wykrywanie aerozoli pochodzenia biologicznego, analiza roślinności i składu wód morskich
Ramanowski	Rozpraszanie Ramana	Pomiar ekstynkcji atmosferycznej, wykrywanie śladowych gazów
Dopplerowski	Przesunięcie dopplerowskie	Pomiar prędkości wiatru, ewolucji huraganów i turbulencji atmosferycznych

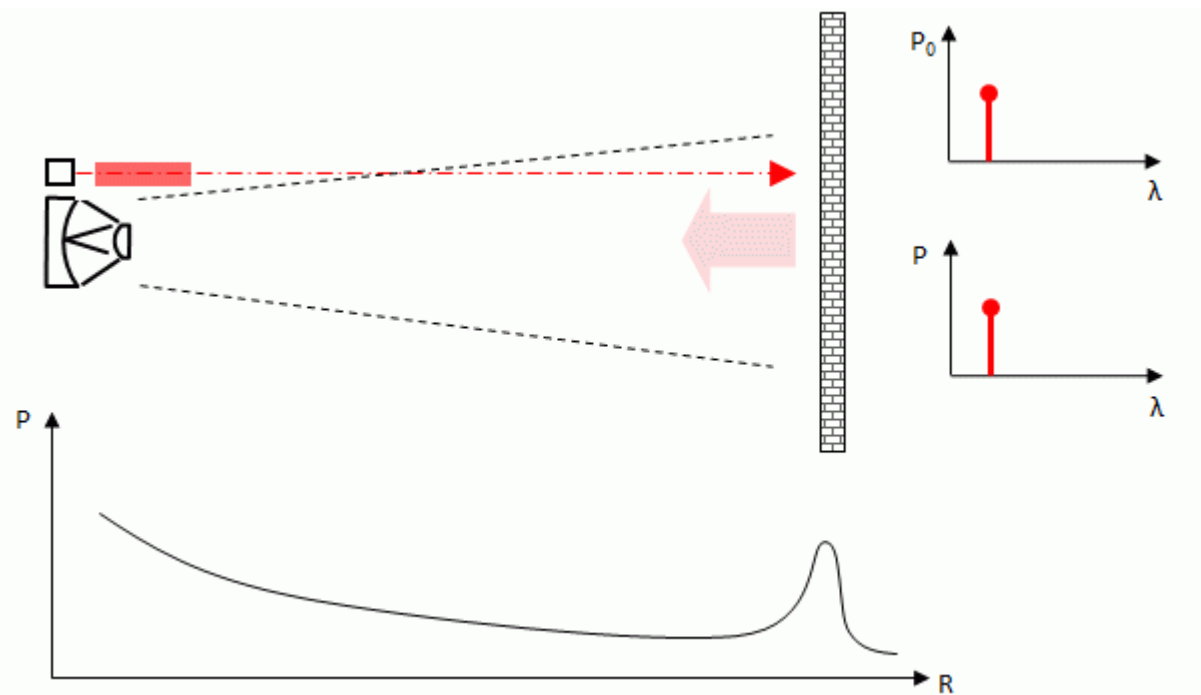
Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar typu *Hard Target* / *Flash Ladar*

Mierzone jest echo optyczne powstałe na skutek odbicia (rozproszenia) impulsu laserowego od powierzchni stałej (ściana, drzewo, samochód).

Cechy echa optycznego:

- linia widmowa identyczna jak w impulsie nadawanym (rozproszenie elastyczne),
- analogiczna dynamika czasowa (czas trwania) impulsów nadawanych i odbieranych.



Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar typu *Hard Target*

Podstawowe zastosowania:

- pomiar odległości (dalmierz laserowy),
- pomiar prędkości (prędkościomierz laserowy)

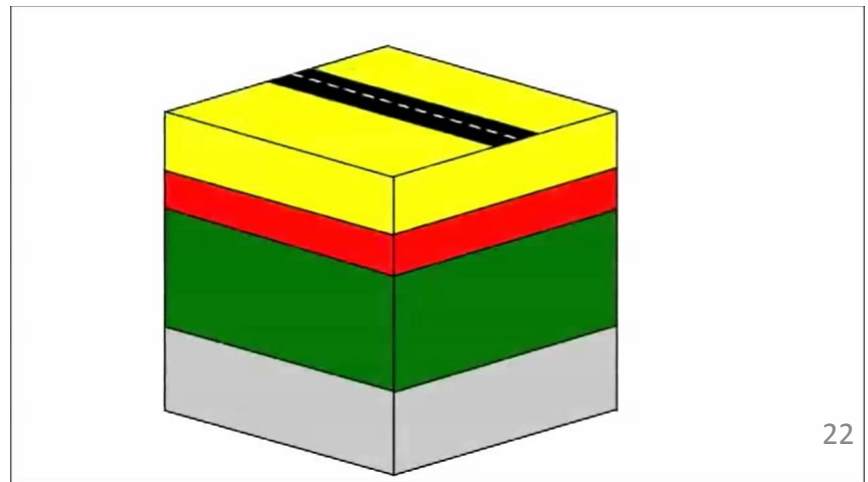
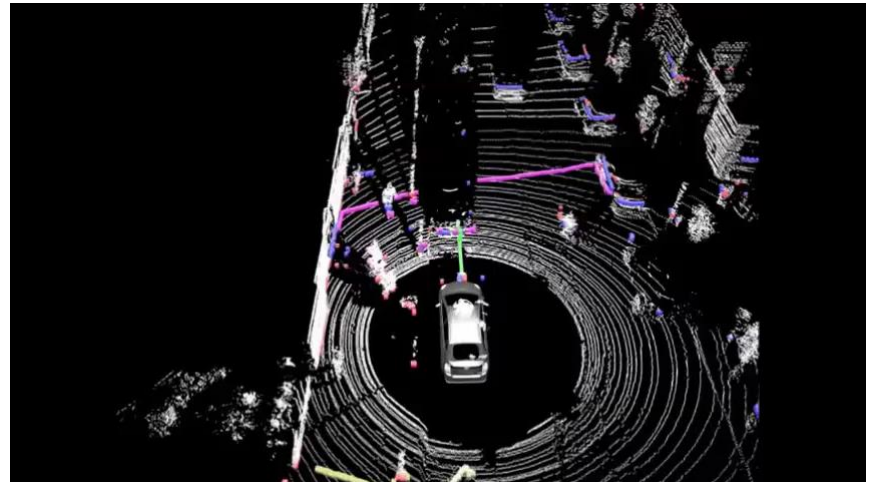


Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar typu *Flash Ladar* (skaner laserowy)

Podstawowe zastosowania:

- Tworzenie 3-wymiarowego obrazu



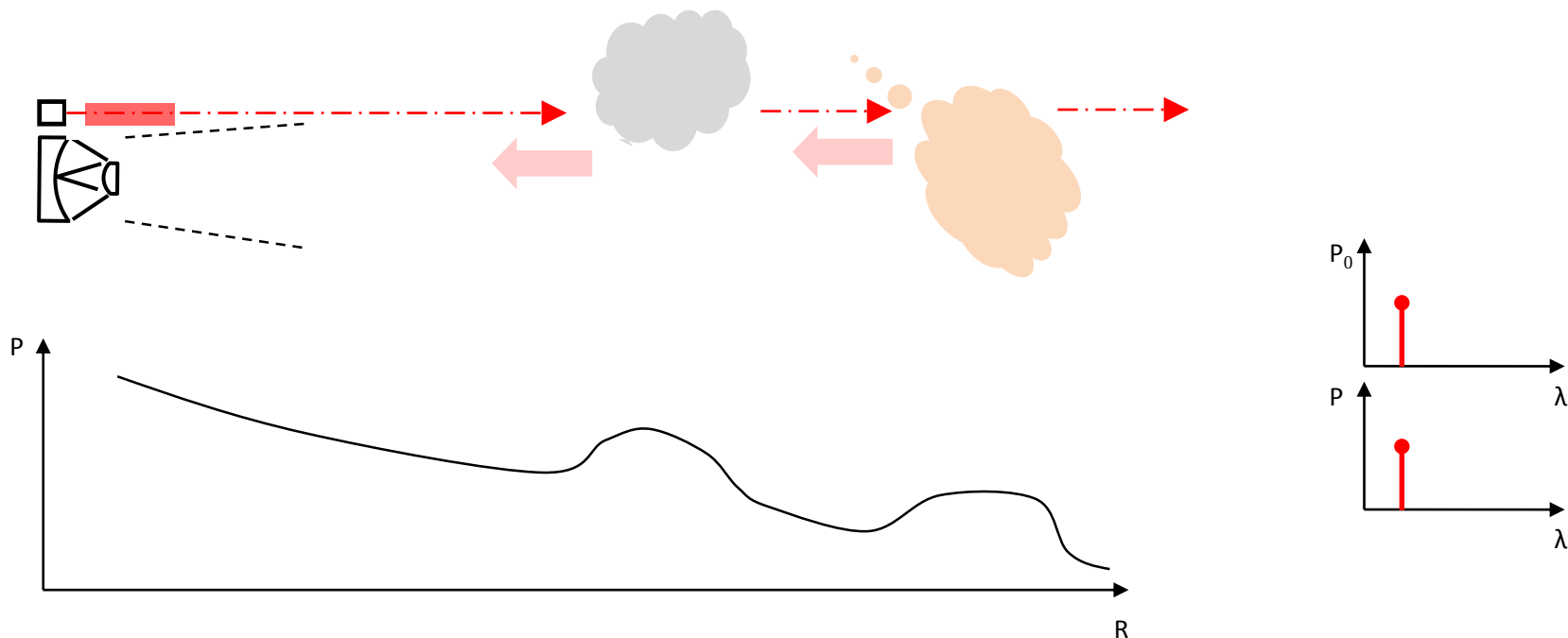
Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar rozproseniowy (klasyczny)

Mierzone jest echo optyczne powstałe na skutek rozproszenia elastycznego (Rayleigha, Mie) impulsu laserowego w aerozolu.

Cechy echa optycznego:

- linia widmowa identyczna jak w impulsie nadawanym (rozproszenie elastyczne),
- czas trwania impulsów echa dłuższy w porównaniu z czasem trwania impulsów laserowych ze względu na rozciągłość obiektu rozpraszającego.



Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar rozproszeniowy (klasyczny)

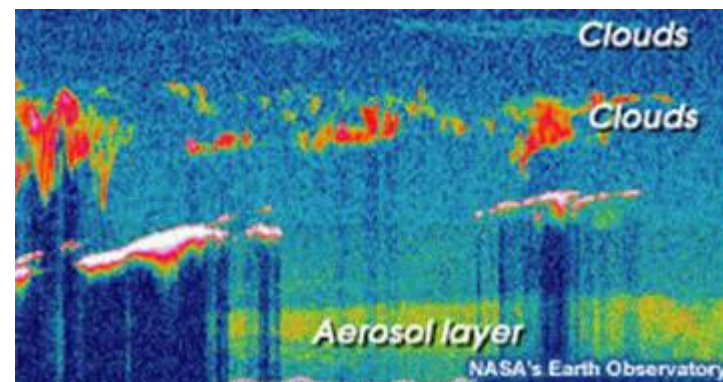
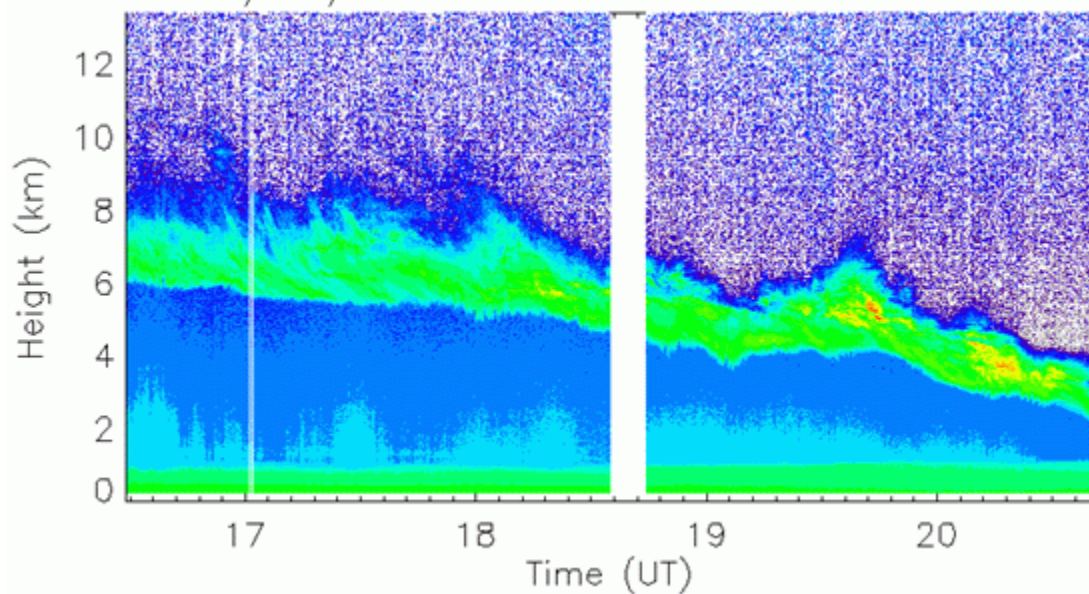
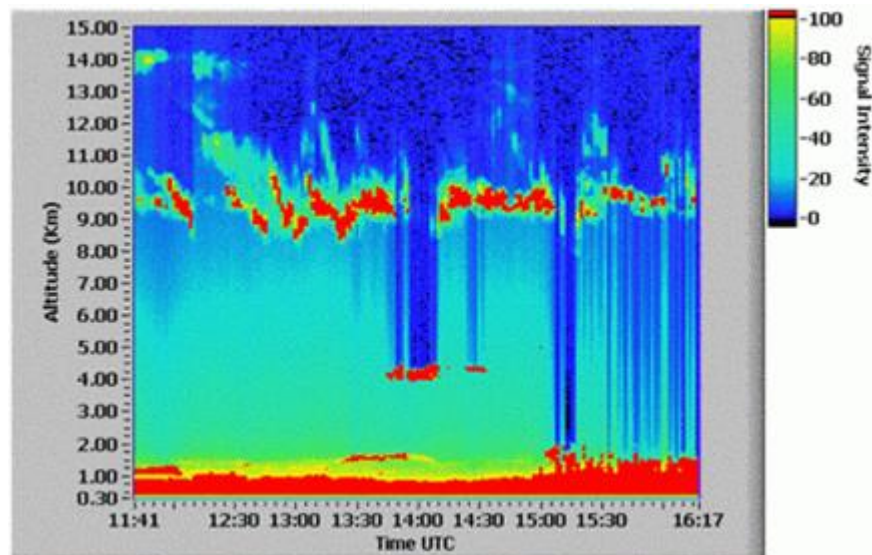
Podstawowe zastosowania:

- stwierdzanie występowania aerozoli w atmosferze,
- zdalna detekcja aerozoli pochodzenia sztucznego,
- określanie lokalizacji i dynamiki przemieszczania się aerozoli,
- pomiar wertykalnej struktury atmosferycznej,
- określanie wysokości pułapu chmur,



Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar rozproseniowy (klasyczny)



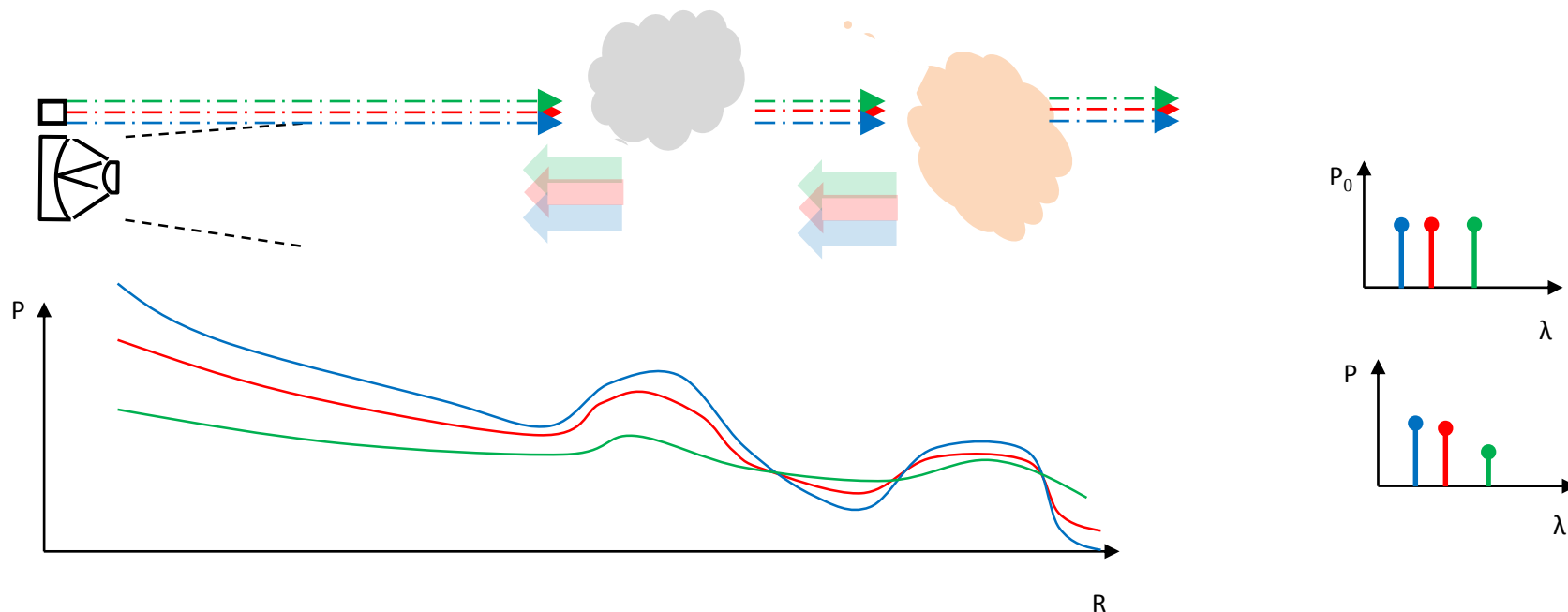
Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar rozproseniowy wielospektralny (DISC – z j. ang. Differential Scattering)

Mierzone jest echo optyczne powstałe na skutek rozproszenia elastycznego (Mie) impulsów laserowych o różnej długości fali w aerozolu.

Cechy echa optycznego (analogia do lidar klasycznego):

- linie widmowe identyczne jak w impulsach nadawanych (rozproszenie elastyczne),
- czas trwania impulsów echa dłuższy w porównaniu z czasem trwania impulsów laserowych ze względu na rozciągłość obiektu rozpraszającego.



Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar rozproszeniowy wielospektralny (DISC)

Podstawowe zastosowania:

- analogiczne jak dla lidara klasycznego,
- dodatkowo określenie funkcji rozkładu wielkości cząstek wchodzących w skład mierzonego aerozolu.



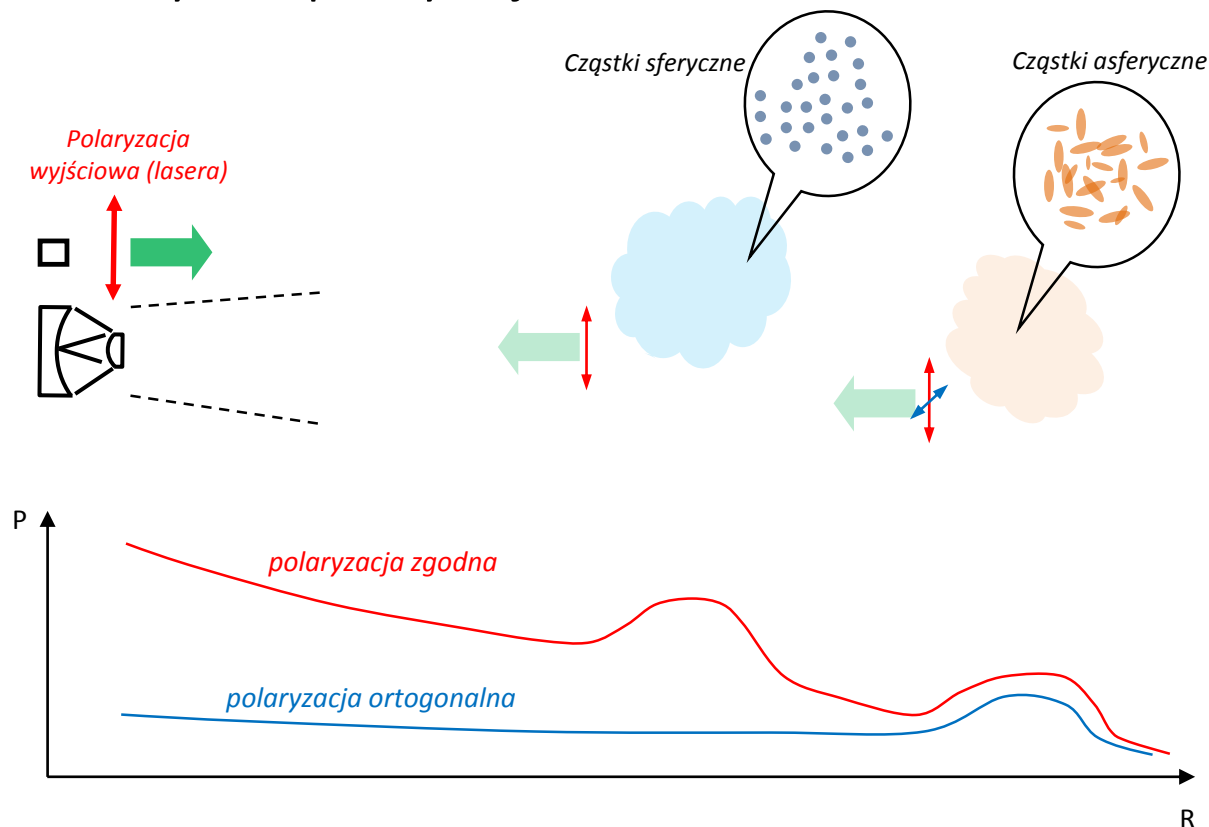
Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar depolaryzacyjny

Mierzony jest stopień depolaryzacji echa optycznego powstałego na skutek rozproszenia elastycznego (Mie) spolaryzowanych impulsów laserowych w aerozolu składającym się z cząstek asferycznych lub mikrokryształków fazy stałej.

Cechy echa optycznego analogiczne jak w lidarze klasycznym oraz:

- częściowo zmieniony stan polaryzacji.

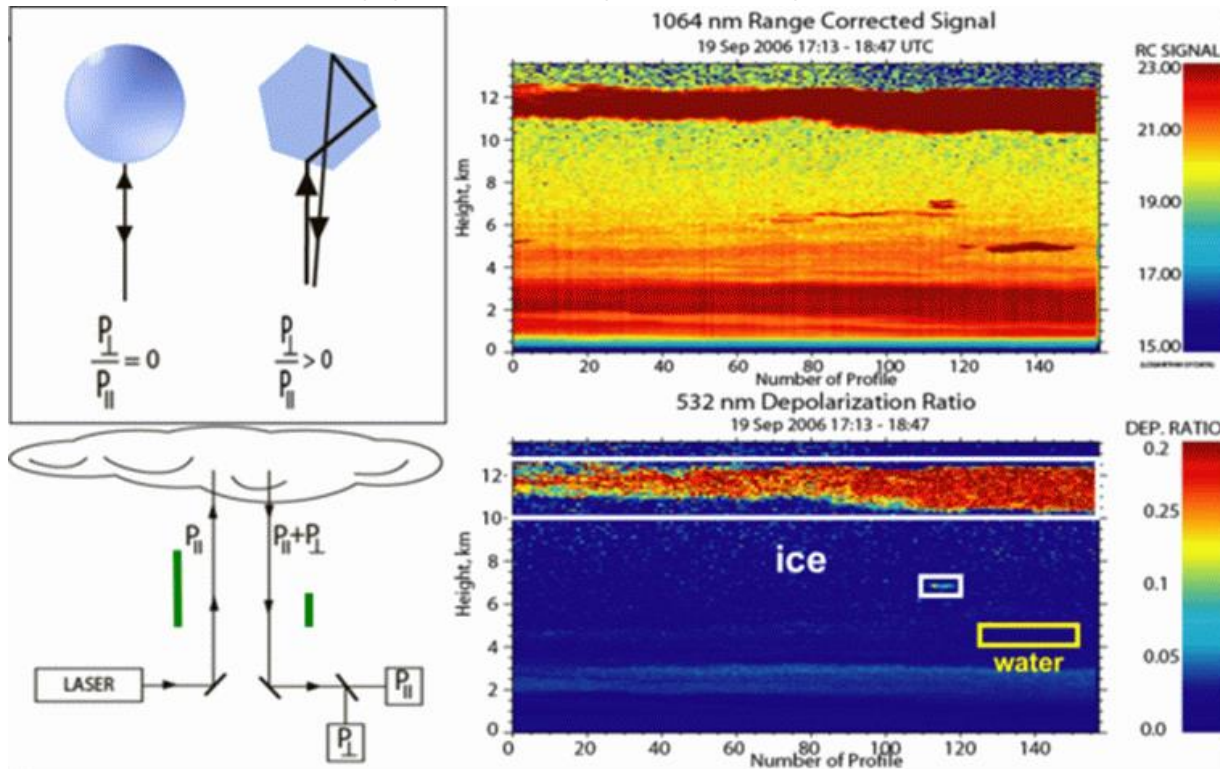


Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar depolaryzacyjny

Podstawowe zastosowania:

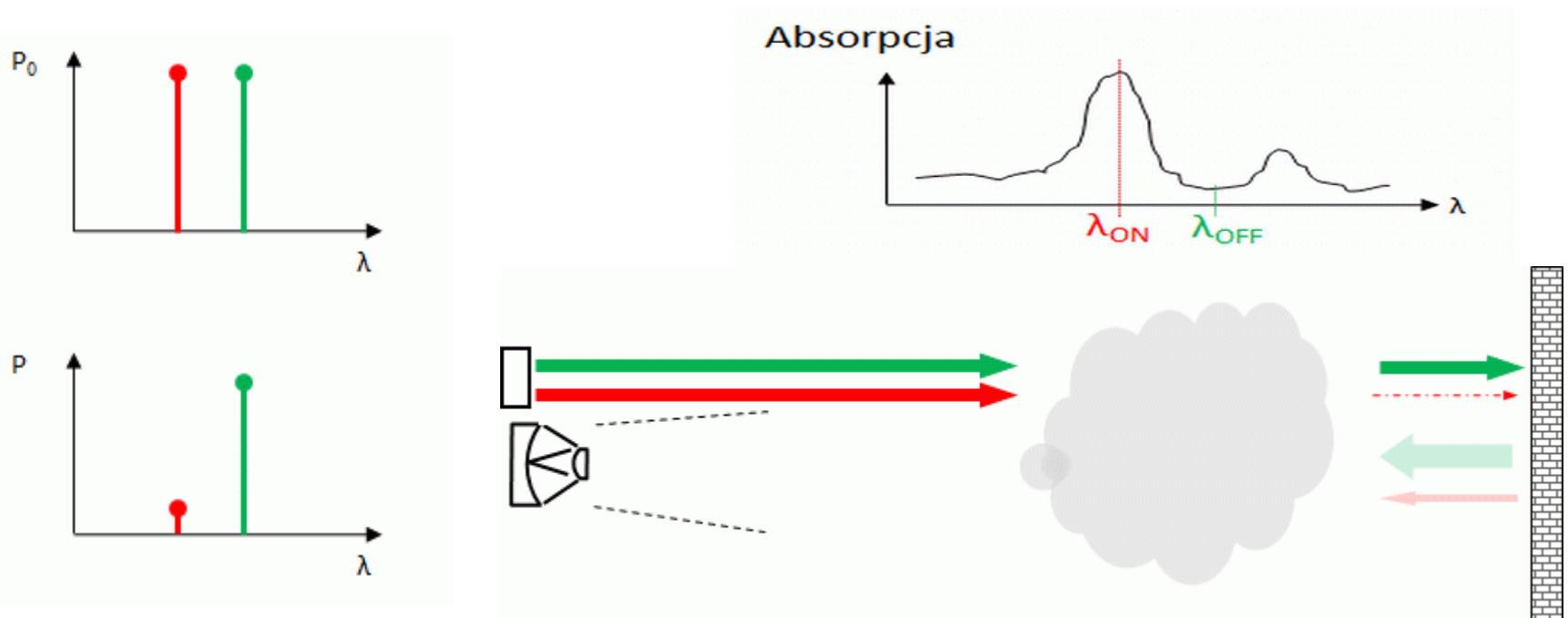
- analogiczne jak dla lidara klasycznego,
- określenie struktury i kształtu cząstek,
- wykrywanie bioaerozoli,
- wykrywanie chmur zawierających kryształki lodu,
- lokalizowanie i śledzenie popiołów wulkanicznych,
- lokalizowanie i śledzenie pyłów kontynentalnych.



Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar absorpcji różnicowej (DIAL – z j. ang. Differential Absorption Lidar)

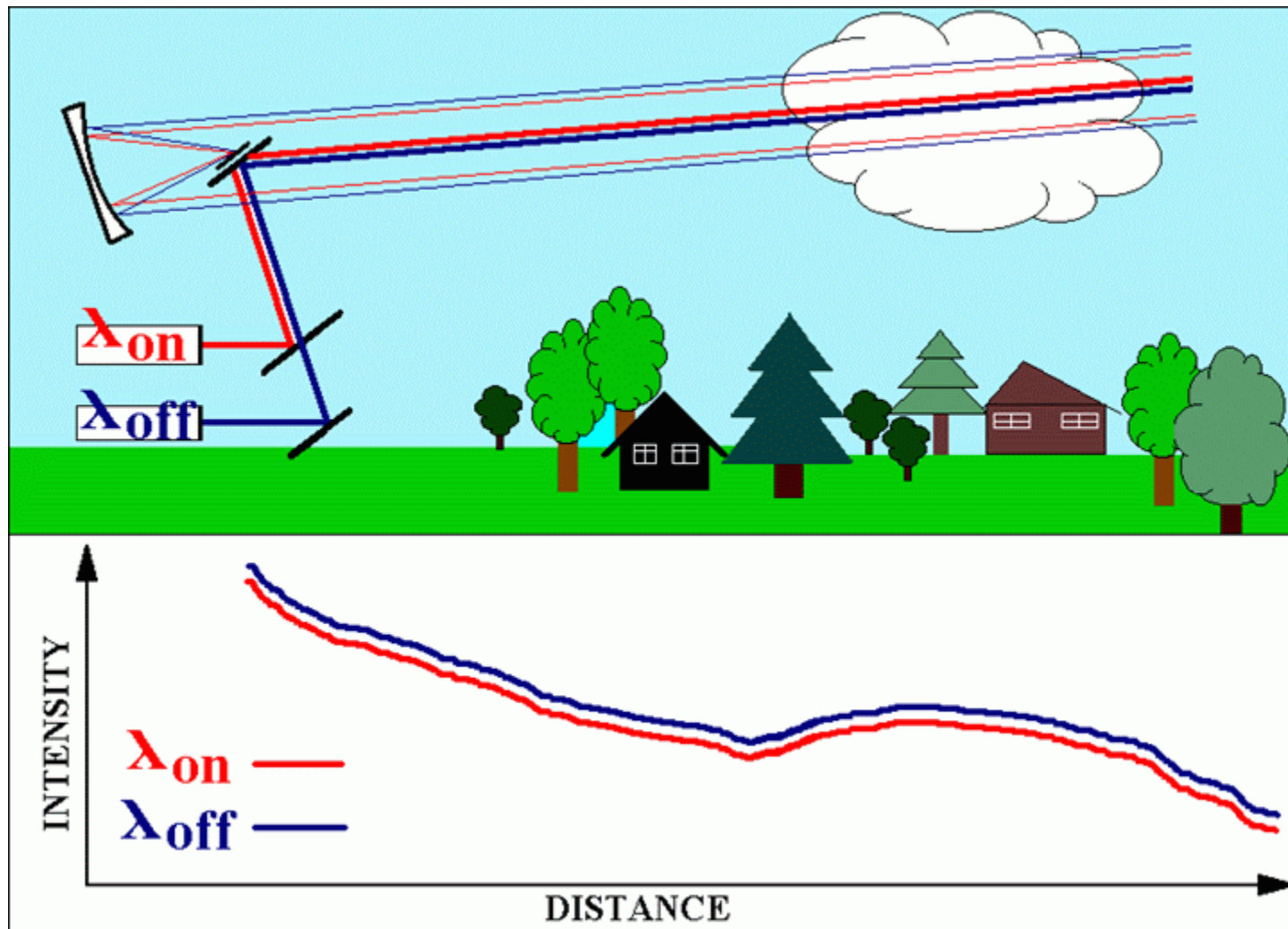
Mierzone i porównywane jest natężenie echa optycznego dla dwóch zbliżonych długości fali: λ_{ON} (w paśmie absorpcji poszukiwanego gazu) i λ_{OFF} (poza pasmem absorpcji poszukiwanego gazu). Stwierdzenie znacznej dysproporcji w osłabianiu się promieniowania po przejściu przez badany obszar dla obu długości fali stanowi o występowaniu w tym obszarze poszukiwanego gazu.



Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar absorpcji różnicowej (DIAL – z j. ang. Differential Absorption Lidar)

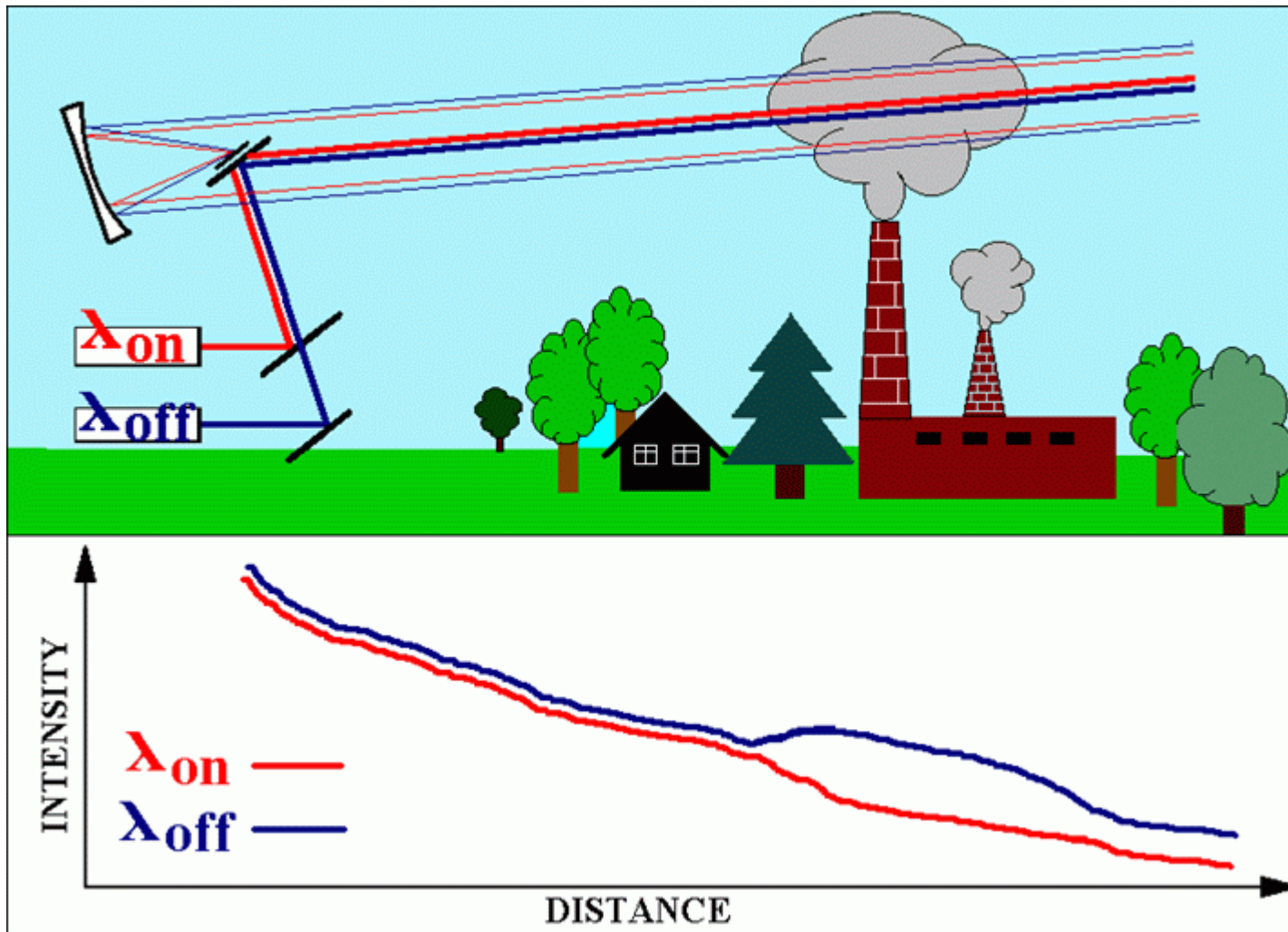
Lidar typu DIAL może również pracować w konfiguracji rozproszeniowej.



Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar absorpcji różnicowej (DIAL – z j. ang. Differential Absorption Lidar)

Lidar typu DIAL może również pracować w konfiguracji rozproszeniowej.



Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar absorpcji różnicowej (DIAL)

Podstawowe zastosowania:

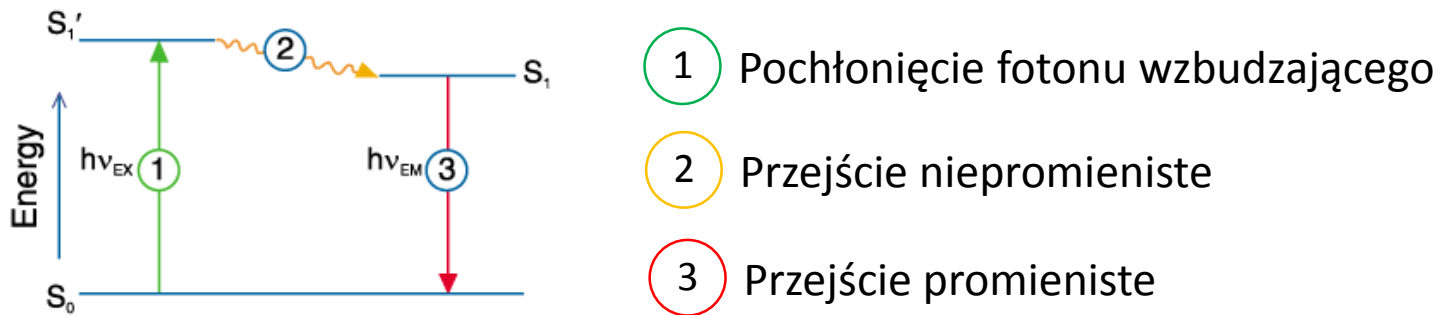
- selektywne wykrywanie określonych gazów, np. metanu,
- zdalna detekcja broni chemicznej.



Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar fluorescencyjny

Mierzone jest echo optyczne powstałe na skutek zjawiska fluorescencji cząstek aerozolu oświetlonych promieniowaniem laserowym (na ogół z zakresu UV). Fluorescencja jest procesem rozpraszania nieelastycznego, a więc fotony rozproszone charakteryzują się inną długością fali od fotonów padających.

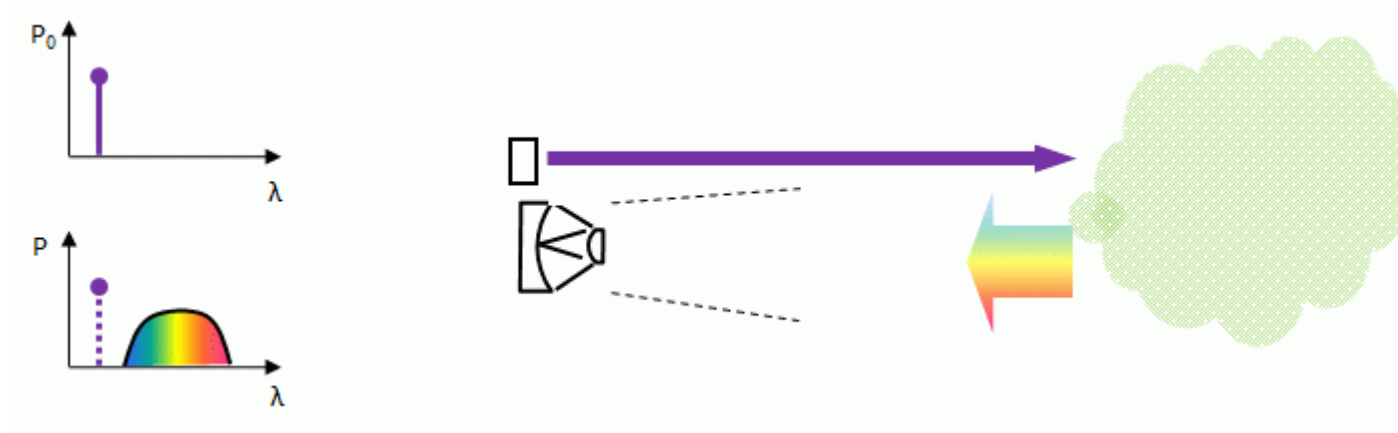


Cechy echa optycznego:

- szerokie widmo spektralne (do kilkuset nm),
- przesunięcie widma w stronę fal dłuższych względem położenia linii laserowej,
- czas trwania impulsów echa dłuższy w porównaniu z czasem trwania impulsów laserowych ze względu na rozciągłość obiektu rozpraszającego i dynamikę fluorescencji.

Rodzaje lidarów i zastosowania

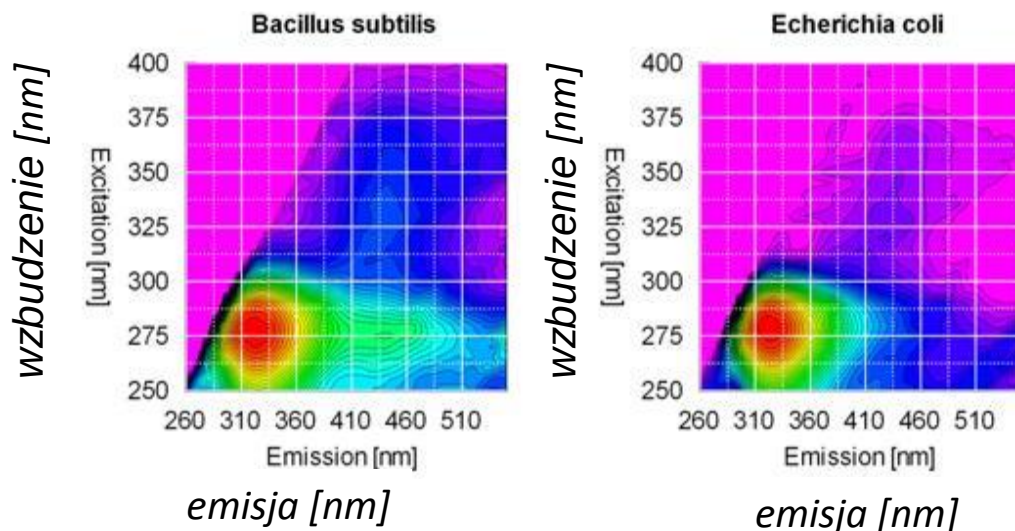
Lidar fluorescencyjny



Sygnatura spektralna fluorescencji każdego związku biologicznego jest jego unikatową cechą pozwalającą na identyfikację.

Samo stwierdzenie wystąpienia jakiejkolwiek fluorescencji świadczy o wykryciu aerozolu pochodzenia biologicznego.

Przykładowe sygnatury wzbudzeniowo-emisyjne fluorescencji dla dwóch bakterii



Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar fluorescencyjny

Podstawowe zastosowania:

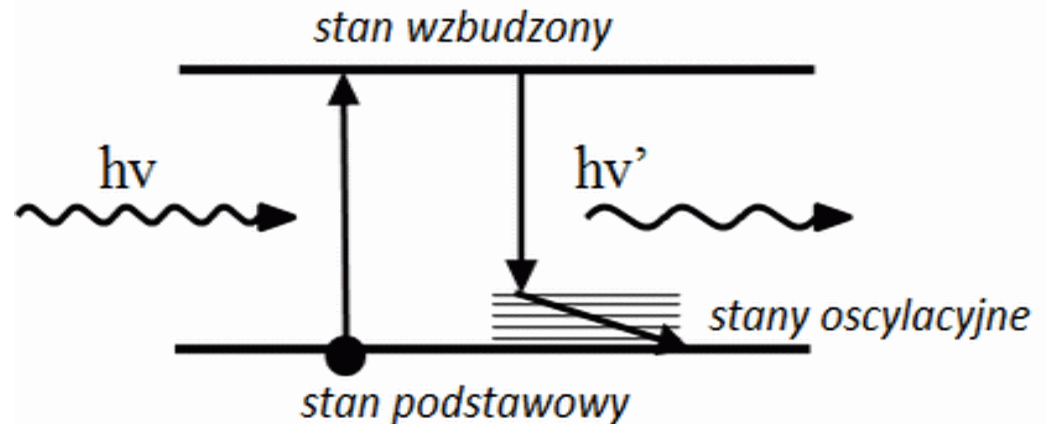
- wykrywanie aerozoli pochodzenia biologicznego,
- zdalna detekcja broni biologicznej,
- badania roślinności pod kątem przynależności gatunkowej, modyfikacji genetycznych i przebiegających procesów fizjologicznych,
- badania morskie pod kątem koncentracji i analizy fitoplanktonu morskiego,
- pomiar zanieczyszczenia akwenów olejami, ropą i substancjami ropopochodnymi,
- pomiar skażenia gleby pierwiastkami ciężkimi i substancjami toksycznymi



Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar ramanowski

Mierzone jest echo optyczne powstałe na skutek zjawiska rozpraszania Ramana (stokesowskiego) w atmosferze. Rozpraszanie Ramana, podobnie jak fluorescencja jest procesem rozpraszania nieelastycznego, jednakże promieniowanie rozproszone nie jest zawarte w szerokim paśmie spektralnym, lecz ma charakter wąskiego piku(ów).



Cechy echa optycznego:

- wąskie widmo spektralne (piki),
- niewielkie natężenie,
- przesunięcie widma w stronę fal dłuższych względem położenia linii laserowej,
- przesunięcie pików uzależnione od długości fali lasera i pierwiastka (związku) rozpraszającego.

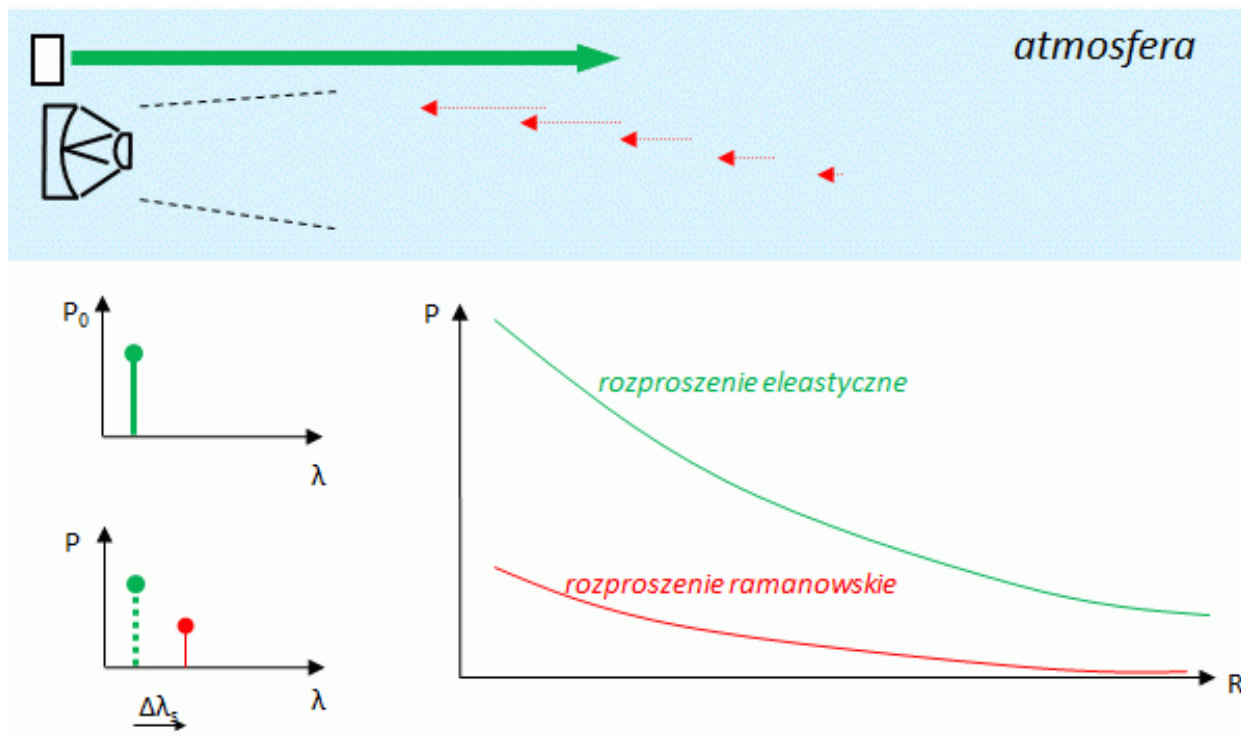
Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar ramanowski

Na podstawie:

- znajomości stężenia atmosferycznego pierwiastków N_2 i O_2 ,
- znajomości ich widma ramanowskiego,
- wartości przekroju czynnego na ten typ rozpraszania

poprzez pomiar natężenia sygnału lidarowego jesteśmy w stanie dokładnie określić poziom ekstynkcji atmosferycznej.



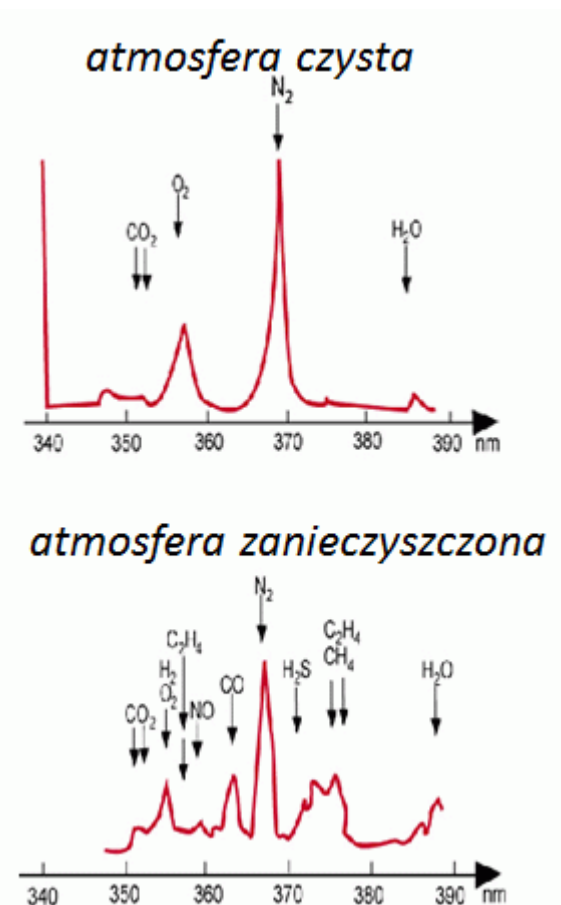
Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar ramanowski

Podstawowe zastosowania:

- określanie rzeczywistej ekstynkcji atmosferycznej,
- pomiar zawartości zanieczyszczeń atmosferycznych.

Związek	Długość fali promieniowania rozproszonego		
	Laser azotowy [0,3371 μm]	Laser argonowy [0,5145 μm]	Laser rubinowy [0,6943 μm]
NH ₃	0,3751	0,6029	0,8553
CH ₄	0,3702	0,5916	0,8348
H ₂ S	0,3668	0,5836	0,8202
CO	0,3615	0,5713	0,7977
NO	0,3584	0,5642	0,7848
N ₂ O	0,3518	0,5486	0,7565
SO ₂	0,3502	0,5450	0,7498



Rodzaje lidarów i zastosowania

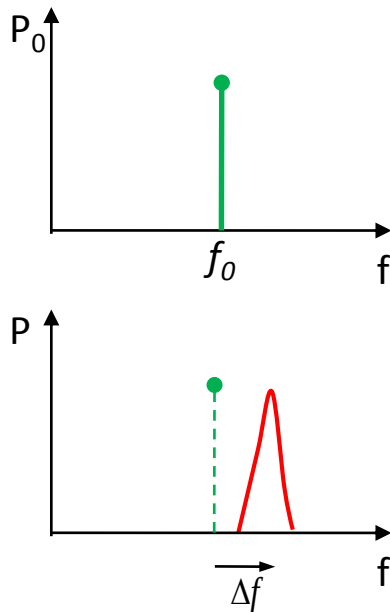
Lidar ramanowski



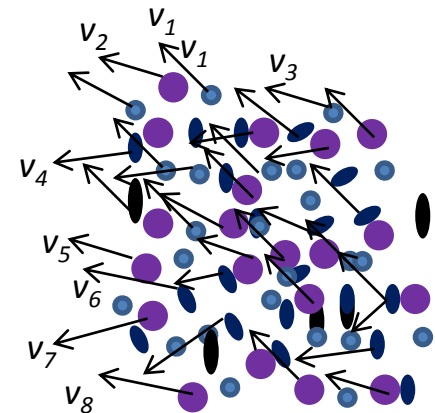
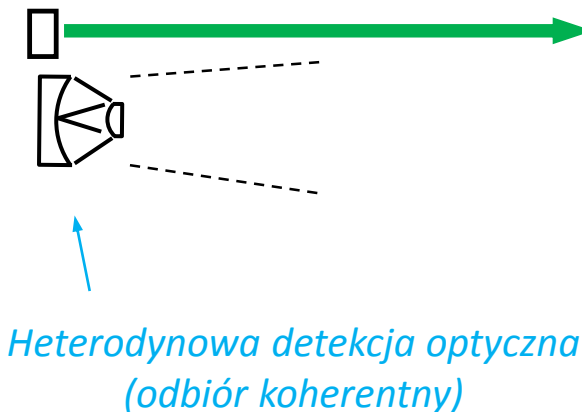
Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar dopplerowski

Mierzone jest przesunięcie dopplerowskie linii widmowej echa w stosunku do linii widmowej lasera emitowanego przez lidar. Efekt Dopplera polega na zmianie długości fali (częstotliwości) rejestrowanego promieniowania w zależności od względnej prędkości źródła i odbiorcy. Rozpraszanie promieniowania na cząstkach aerozolu będących w ruchu (wiatr, turbulencje) w rezultacie efektu Dopplera daje minimalne przesunięcie częstotliwościowe (Δf rzędu 10^8 Hz przy f_0 rzędu 10^{14} Hz !).



$$\bar{v} = \frac{c}{f_0} \Delta f$$

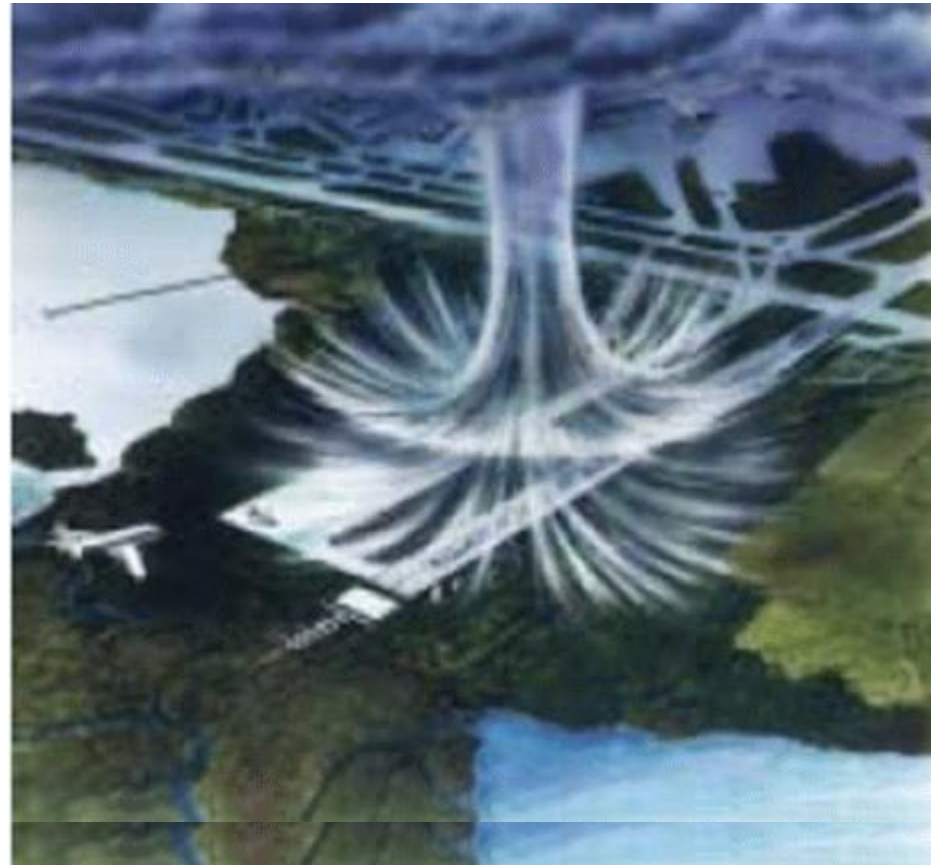
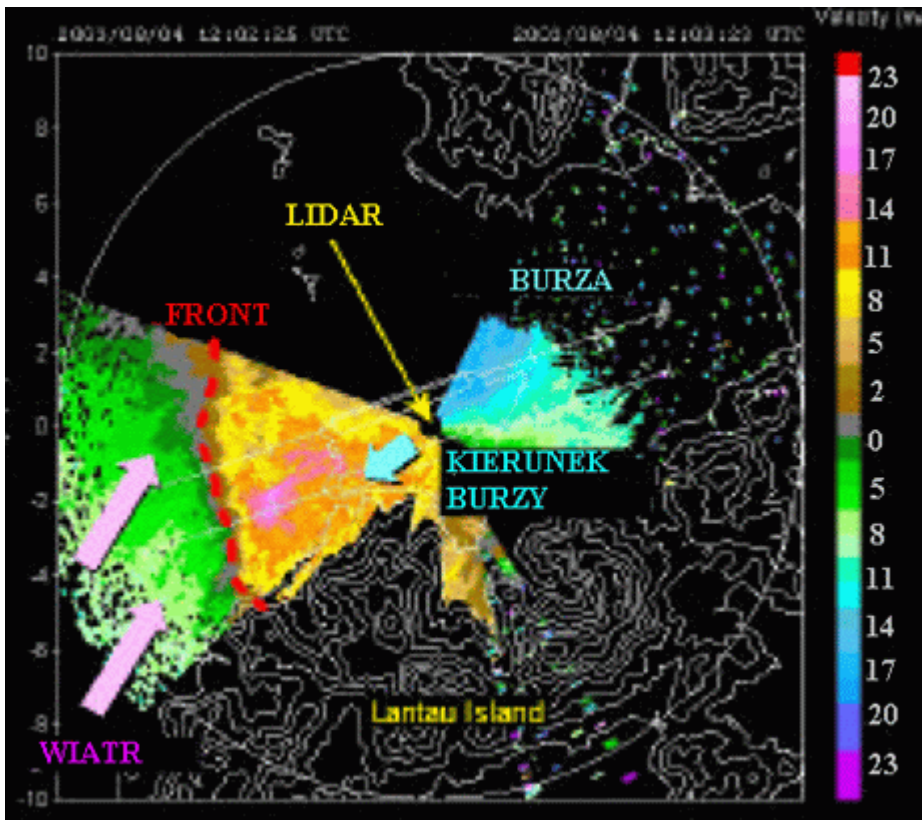


Rodzaje lidarów i zastosowania

Lidar dopplerowski

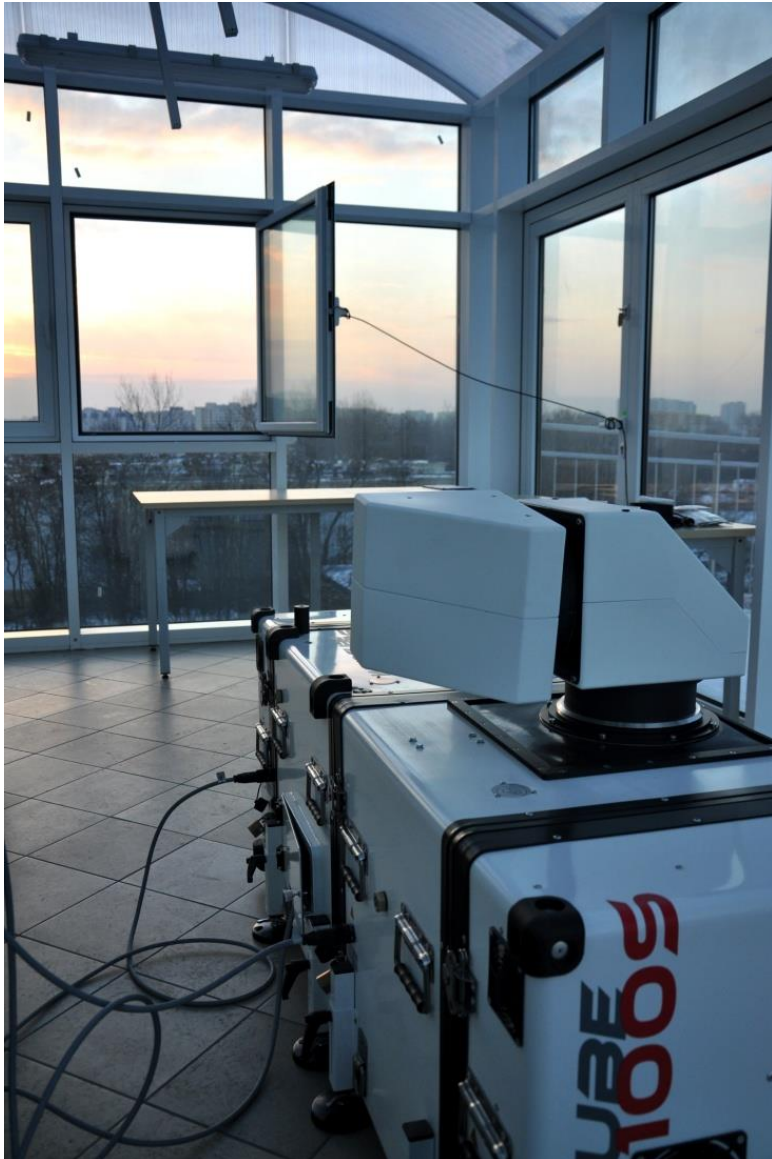
Podstawowe zastosowania:

- pomiar prędkości wiatru,
- pomiar turbulencji atmosferycznych,
- pomiar dynamiki przemieszczania mas pyłów w burzach piaskowych,
- pomiar ewolucji huraganów.



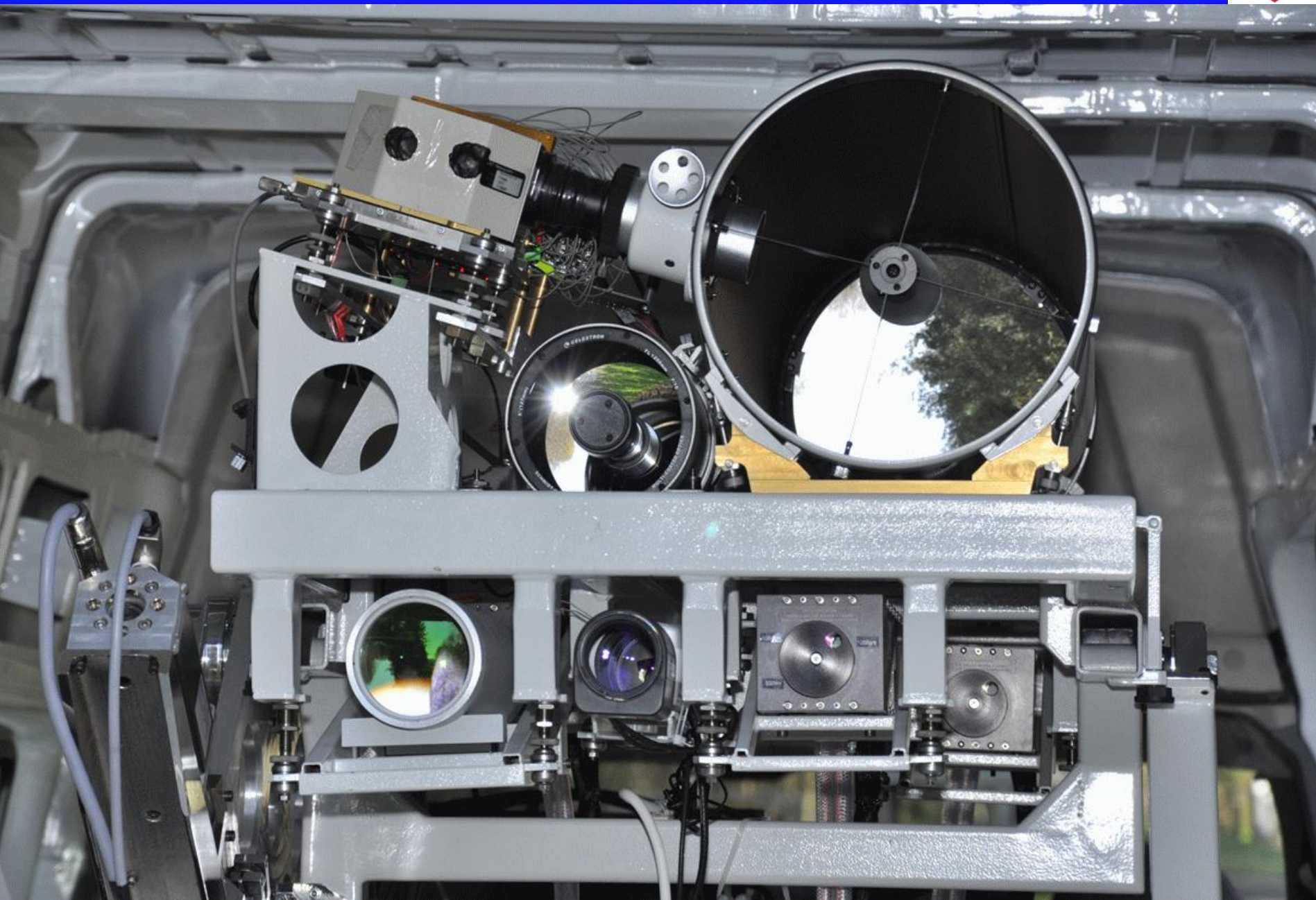
Rodzaje lidarów i zastosowania

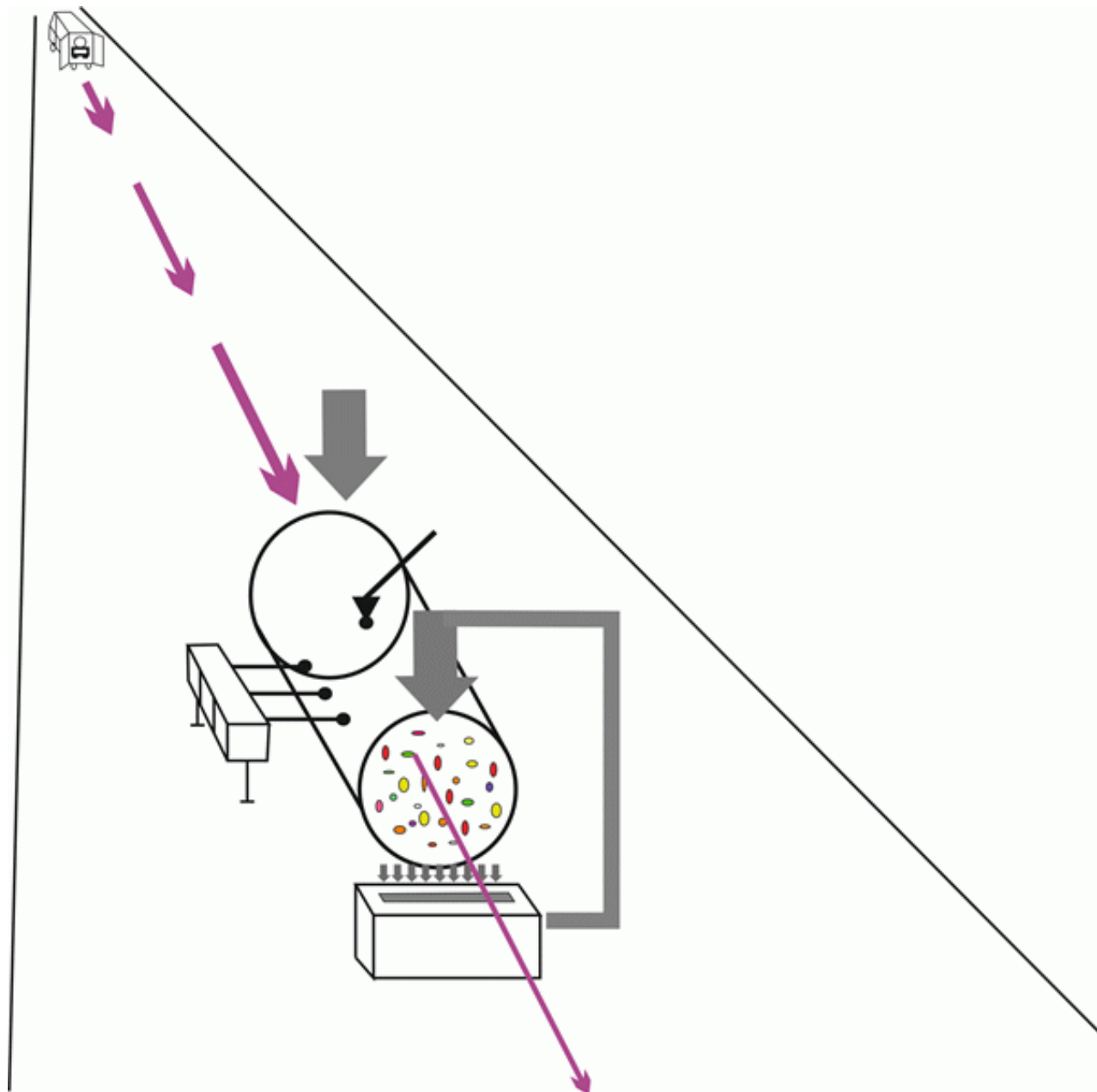
Lidar dopplerowski



Plan wykładu

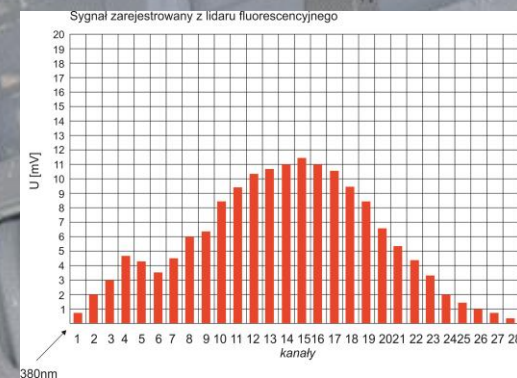
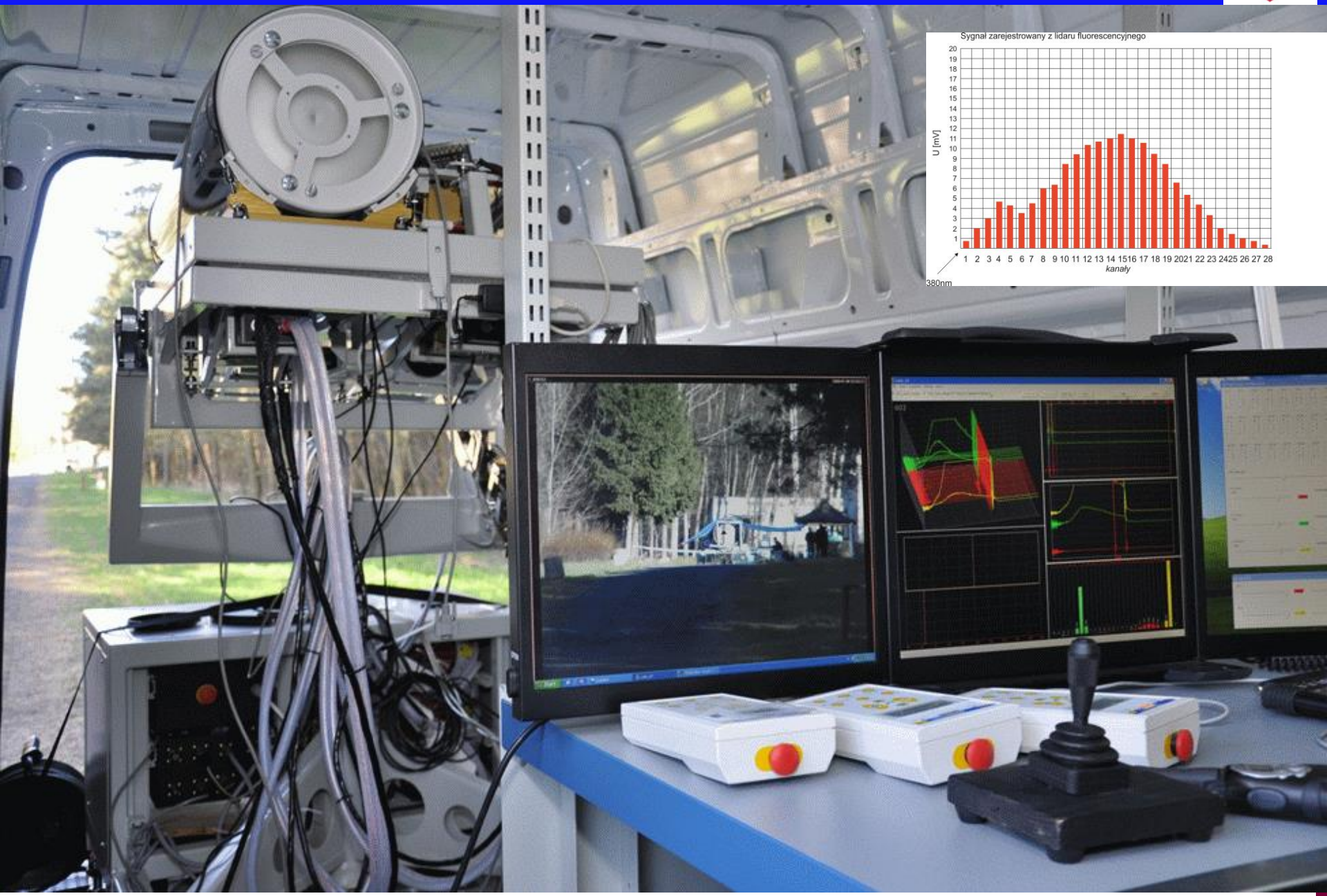
1. Wprowadzenie
2. Podstawy działania lidarów
3. Rodzaje lidarów i ich zastosowania
4. Przygoda z lidarem biologicznym
5. Podsumowanie

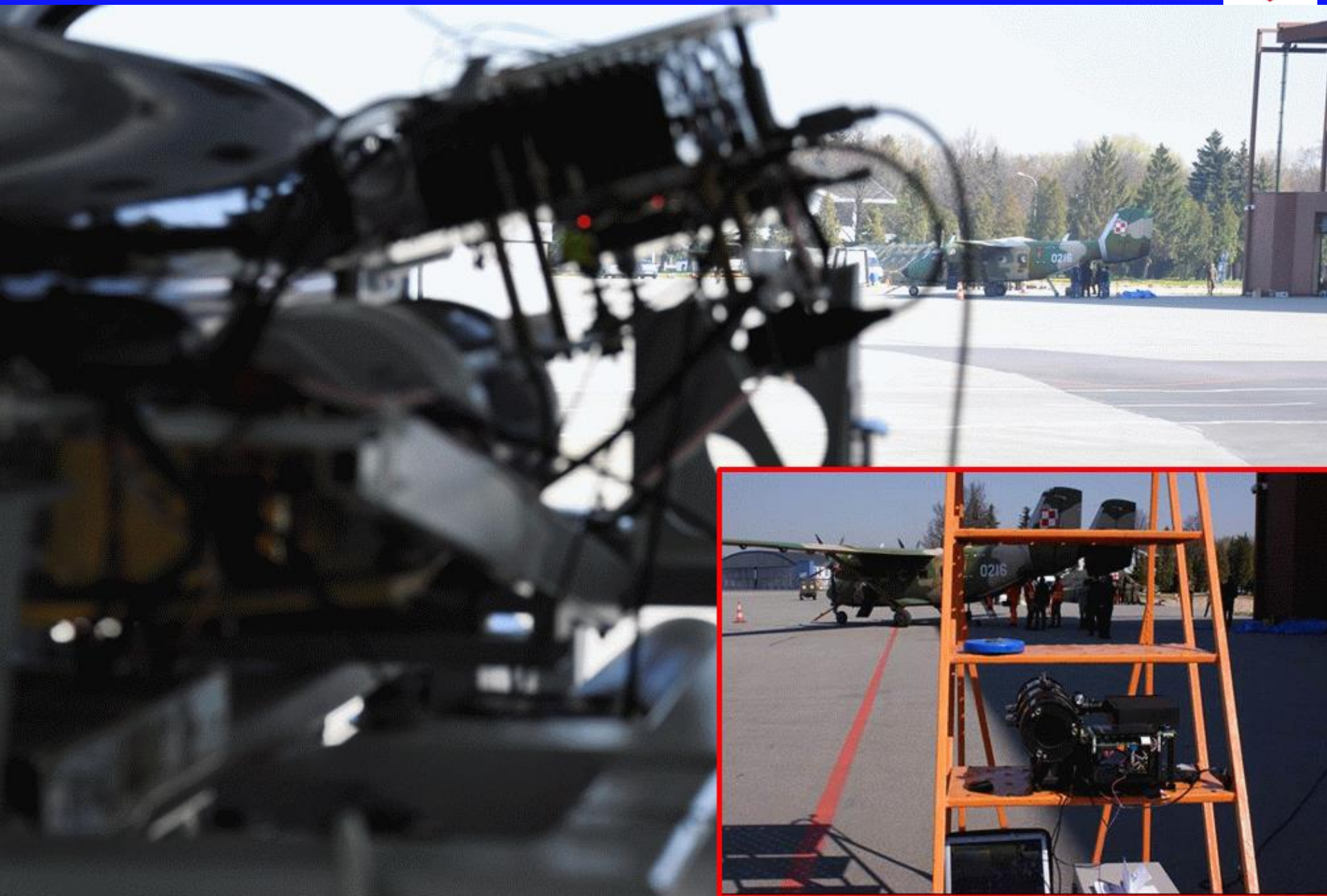








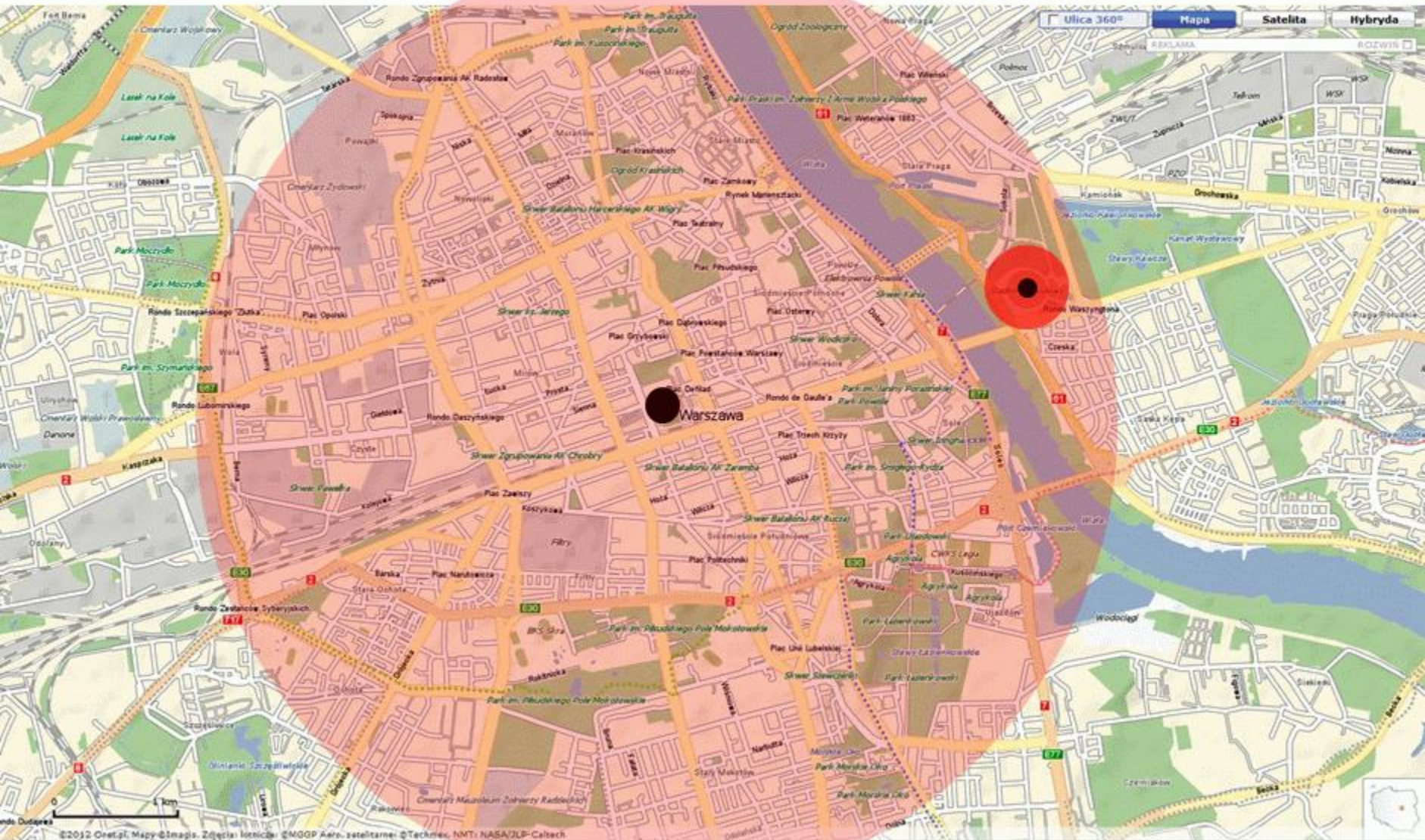












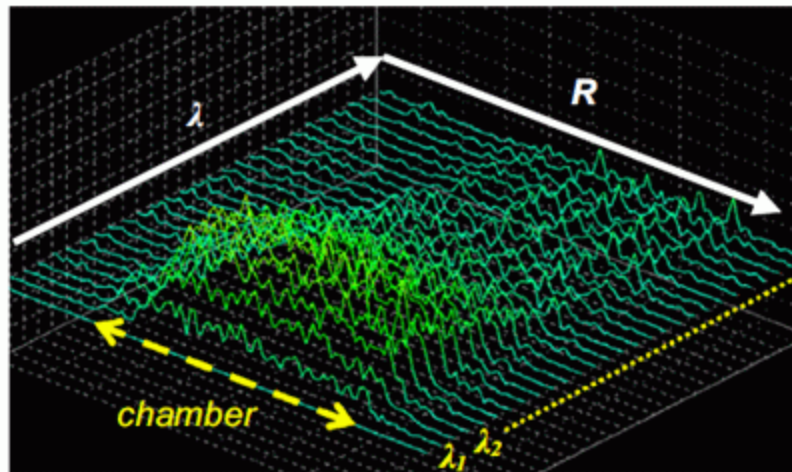




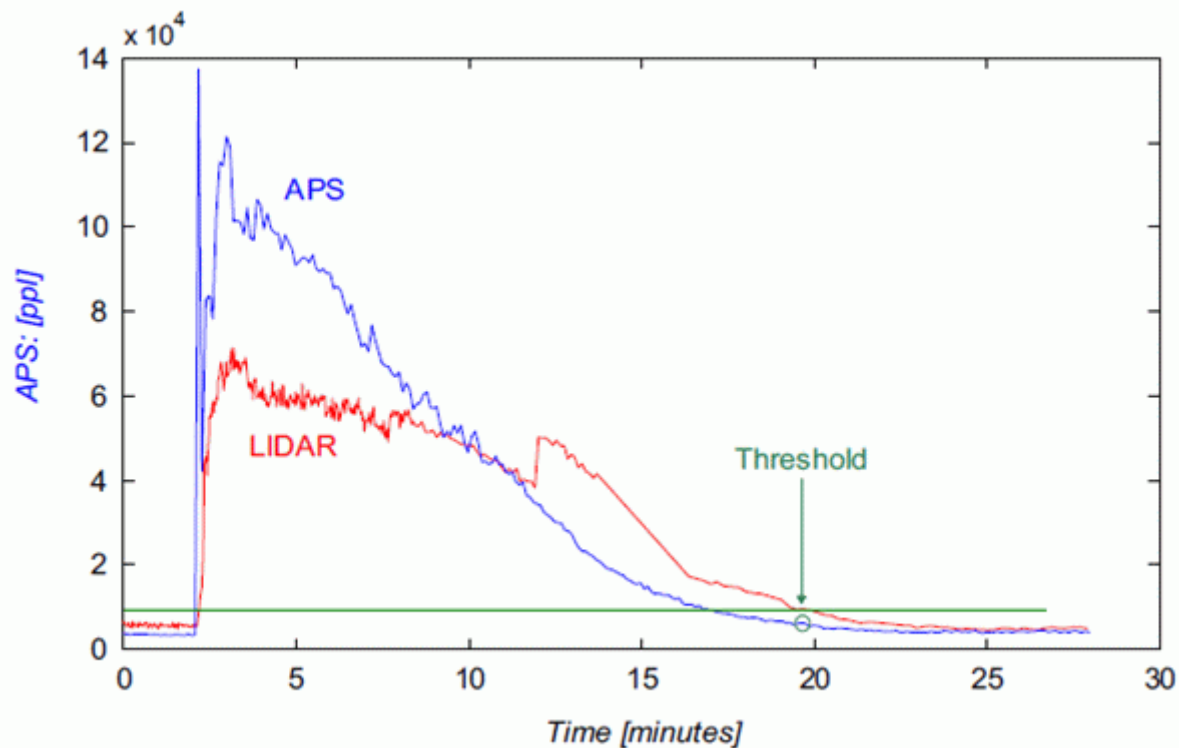


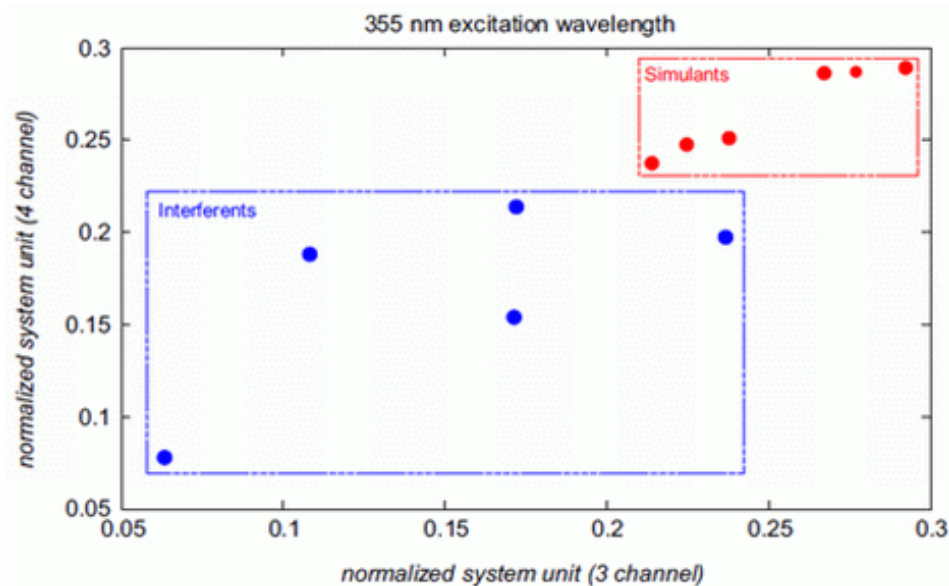
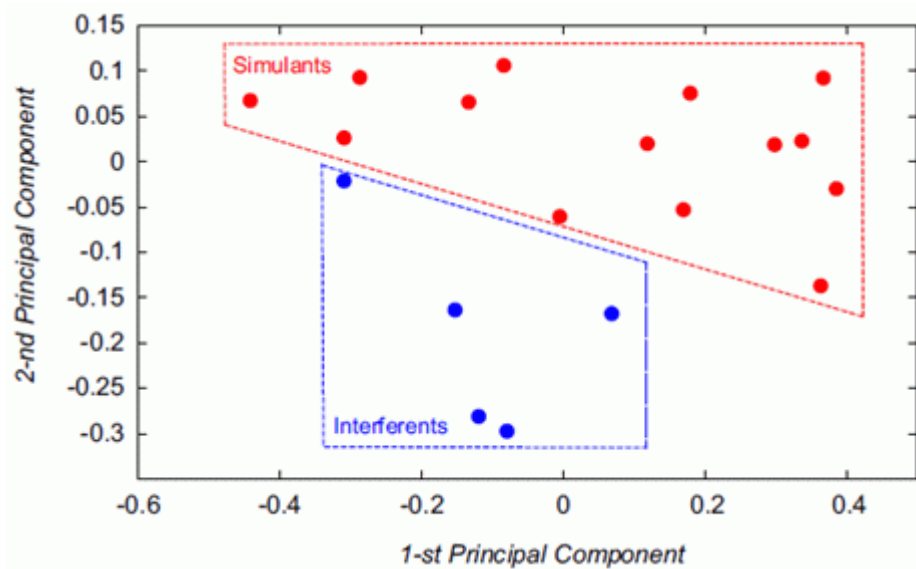
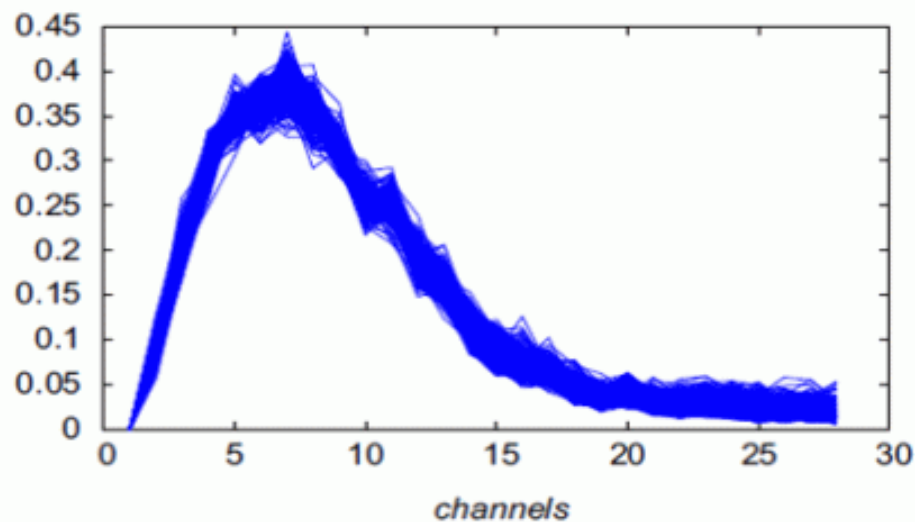
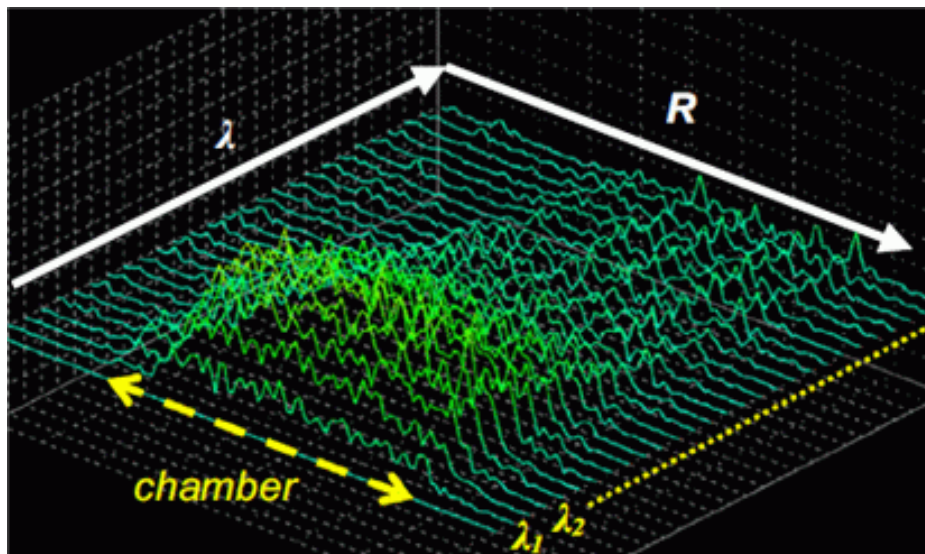






$\sum_{channels}$
--->





Czułość?



~ 1 km




Plan wykładu

1. Wprowadzenie
2. Podstawy działania lidarów
3. Rodzaje lidarów i ich zastosowania
4. Przygoda z lidarem biologicznym
5. Podsumowanie

Podsumowanie

Lidary stanowią użyteczne narzędzie do zdalnego badania środowiska oraz wykrywania substancji niebezpiecznych. Metoda lidarowa należy do grupy aktywnych metod teledetekcji laserowej.

Zastosowanie lidarów w technice wojskowej wiąże się najczęściej ze zdalnym wykrywaniem broni chemicznej i biologicznej oraz z pomiarami odległości.

Zastosowania lidarów w obszarze cywilnym obejmują:

- wykrywanie zanieczyszczeń atmosfery, gleby i akwenów wodnych,
- pomiary prędkości wiatru,
- zdalną i nieinwazyjną analizę procesów fizykochemicznych roślin i mikroflory morskiej,
- aplikacje ochrony infrastruktury,
- Aplikacje ochrony obszarów przygranicznych,
- monitoring płyt tektonicznych pod kątem przewidywania trzęsień ziemi,
- automatykę i robotykę w przemyśle,
- techniki „samochodowe”,
- monitoring pyłów wulkanicznych (lotnictwo),
- nonitoring turbulencji (lotnictwo),
- określanie wysokości pułapu chmur,
- obszar nauki o atmosferze,
-



Wojskowa Akademia Techniczna Instytut Optoelektroniki



Seminarium dla uczczenia 110 rocznicy urodzin Pawła Jana Nowackiego

Dziękuję za uwagę

Warszawa, 20.05.2015.