

Fizyczne podstawy systemów pomiarowych stosowanych w diagnostyce medycznej

Seminarium 1



Zagadnienia

1. Czujniki pomiarowe – podstawy fizyczne działania detektorów stosowanych w diagnostyce medycznej.
2. Detektory obrazu.
3. Przetwornik ADC i jego parametry.
4. Sygnał i jego widmo fourierowskie.
5. Zdolność rozdzielcza.



Co to jest diagnostyka?

Każde badanie diagnostyczne sprowadza się do fizycznego pomiaru / określenia pewnych parametrów charakteryzujących stan pacjenta.

Pomiarów takich dokonuje się przy użyciu przyrządów / urządzeń, które działają w oparciu o fizyczne oddziaływanie z ciałem pacjenta.



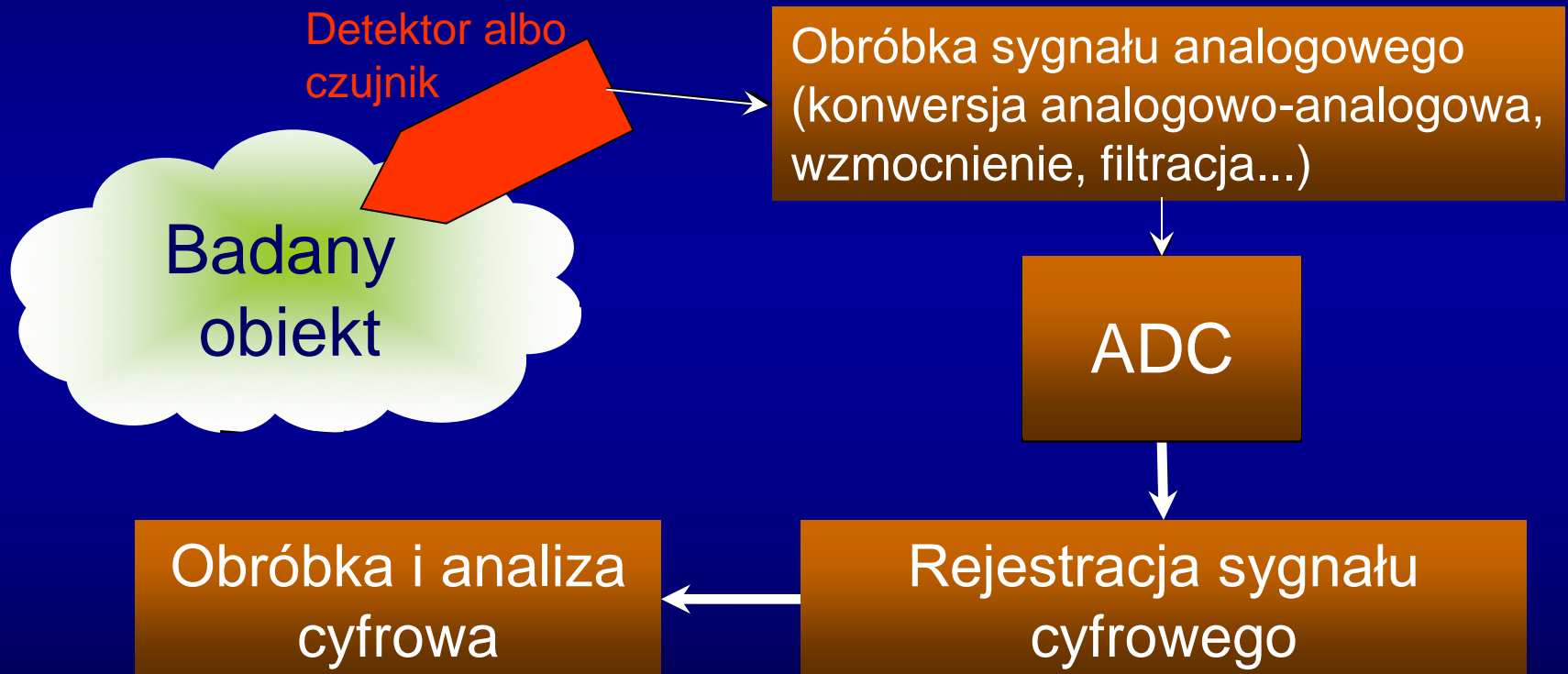
Współczesna diagnostyka

Obecnie najczęściej chcemy, aby badany parametr był mierzony automatycznie, a najlepiej cyfrowo.

Aby to było możliwe należy zmiany interesującego nas parametru przedstawić w postaci zmian sygnału elektrycznego, który następnie poddaje się obróbce.



Schemat współczesnej metody diagnostycznej



Detektor / czujnik

Urządzenie zamieniające badany parametr fizyczny, na formę możliwą do obserwacji, lub rejestracji.

Fizyczne narzędzie będące najczęściej elementem składowym większego układu. Jego zadaniem jest wychwytywanie sygnałów z otaczającego środowiska, rozpoznawanie i rejestrowanie ich.



Detektor / czujnik

W praktyce detektor / czujnik, to urządzenie zamieniające badany sygnał na sygnał elektryczny.



Sygnał

Sygnał to abstrakcyjny model dowolnej mierzalnej wielkości zmieniającej się w czasie, generowanej przez zjawiska fizyczne lub systemy pomiarowe.



Przykład 1:

Tomografia komputerowa

- rolę detektorów pełnią detektory półprzewodnikowe (dawniej komory jonizacyjne)
- wzmocnienie sygnałów analogowych z detektorów
- konwersja analogowo-cyfrowa (12 bitów)
- akwizycja “profilu” w pamięci komputera
- rekonstrukcja obrazu, wyświetlanie na konsoli, drukowanie
- akwizycja i dalsza obróbka danych



Przykład 2:

Pomiary temperatury

- termorezystor albo termopara jako detektor
- wzmacnienie sygnałów analogowych
- konwersja analogowo-cyfrowa
- wyświetlanie wyników
- (niekiedy) komputerowa rejestracja i przetwarzanie wyników pomiaru



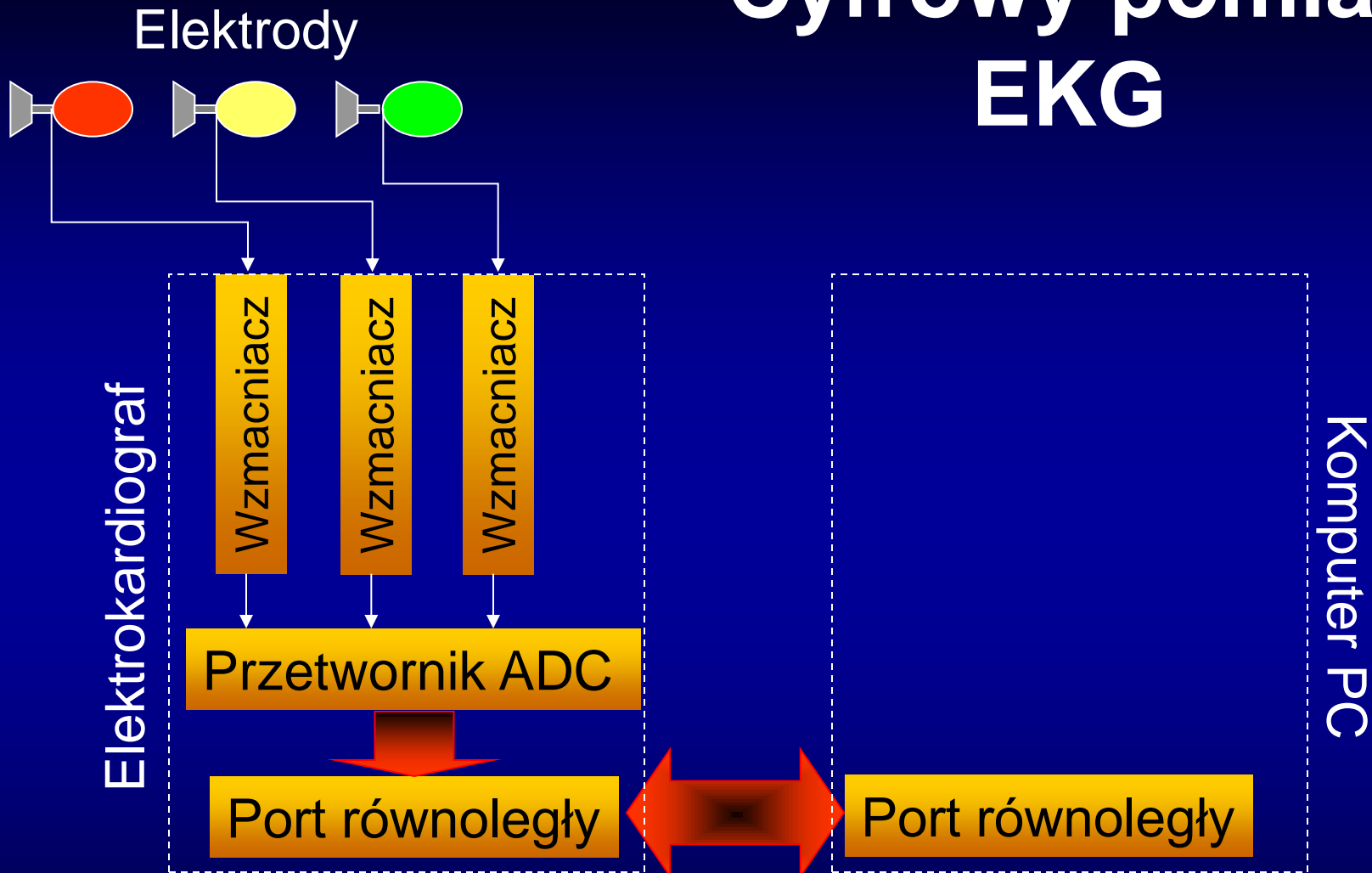
Przykład 3:

Rejestracja EKG

- rolę detektorów pełnią elektrody
- wzmacnienie sygnałów z elektrod
- drukowanie przebiegu analogowego
- konwersja analogowo-cyfrowa
- sygnał cyfrowy kierowany do równoległego portu I/O
- port I/O aparatu EKG połączony z portem I/O PC
- zapis danych do pamięci komputera i na dysk
- cyfrowa obróbka danych



Cyfrowy pomiar EKG



Detektory / czujniki

Parametr	Detektor	Zjawisko fizyczne
temperatura	<ul style="list-style-type: none">- termorezystor, dioda, tranzystor- termopara	<ul style="list-style-type: none">- zmiany oporu elektrycznego- efekt termoelektryczny
ciśnienie	<ul style="list-style-type: none">- element piezoelektryczny- mikrofon pojemnościowy	<ul style="list-style-type: none">- efekt piezoelektryczny- zmiana pojemności kondensatora
natężenie światła	<ul style="list-style-type: none">- złącze półprzewodnikowe- fotoogniwo	<ul style="list-style-type: none">- zmiany oporu elektrycznego- efekt fotoelektryczny
promieniowanie X	<ul style="list-style-type: none">- złącze półprzewodnikowe- komora jonizacyjna	<ul style="list-style-type: none">- jonizacja
obraz	<ul style="list-style-type: none">- błona RTG + ekran wzmacniany- CCD (Charge Coupled Device)	<ul style="list-style-type: none">- jonizacja + dejonizacja- jonizacja
przyśpieszenie	<ul style="list-style-type: none">- akcelerometr	<ul style="list-style-type: none">- efekt piezoelektryczny- zmiana pojemności kondensatora- układy mikromechaniczne



Zastosowanie detektorów promieniowania X w rentgenodiagnostyce:

- Dozymetria / ochrona radiologiczna
- Detekcja promieniowania i pomiar jego własności
- Pozyskiwanie obrazów diagnostycznych



Licznik Geigera-Müllera

Zasada działania:

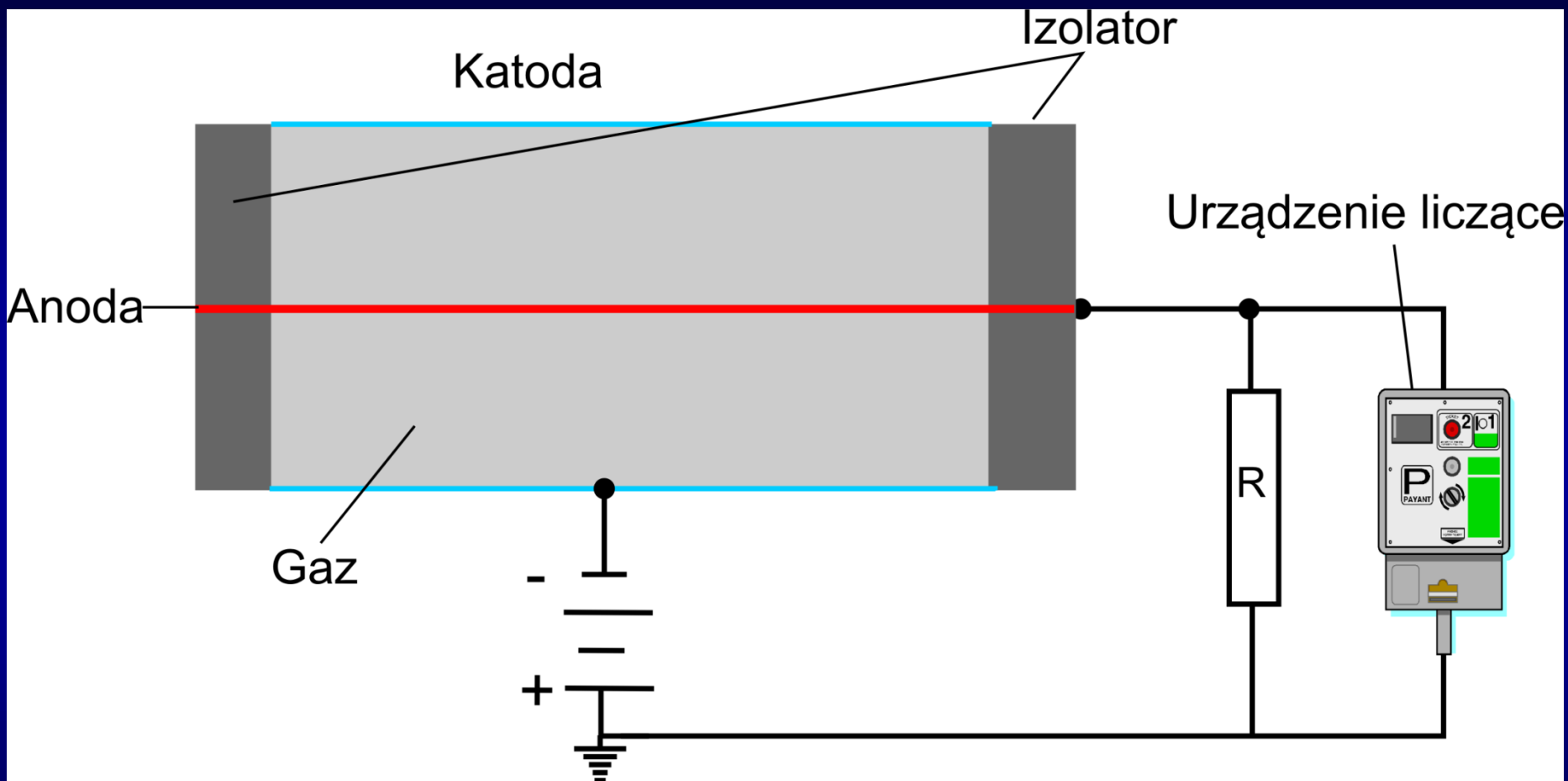
wykorzystuje się zjawisko lawinowej jonizacji w gazie w polu elektrycznym pod wpływem kwantów promieniowania jonizującego

Zastosowanie:

– ochrona radiologiczna



Licznik Geigera-Mullera



Komora jonizacyjna

Zasada działania:

mierzona jest liczba jonów powstających podczas przejścia kwantów promieniowania przez komorę wypełnioną gazem

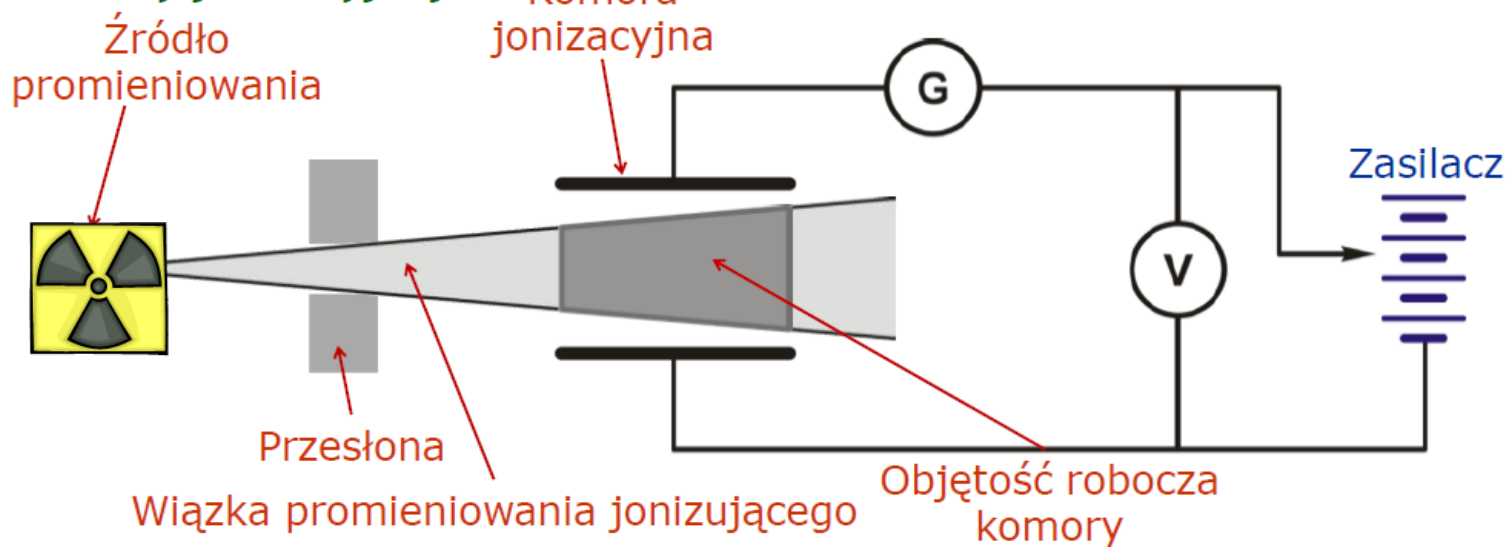
Zastosowanie:

- ochrona radiologiczna
- detektory promieniowania w starszych typach tomografów komputerowych
- stosowane w starszych typach aparatów rentgenowskich do automatycznej optymalizacji warunków ekspozycji



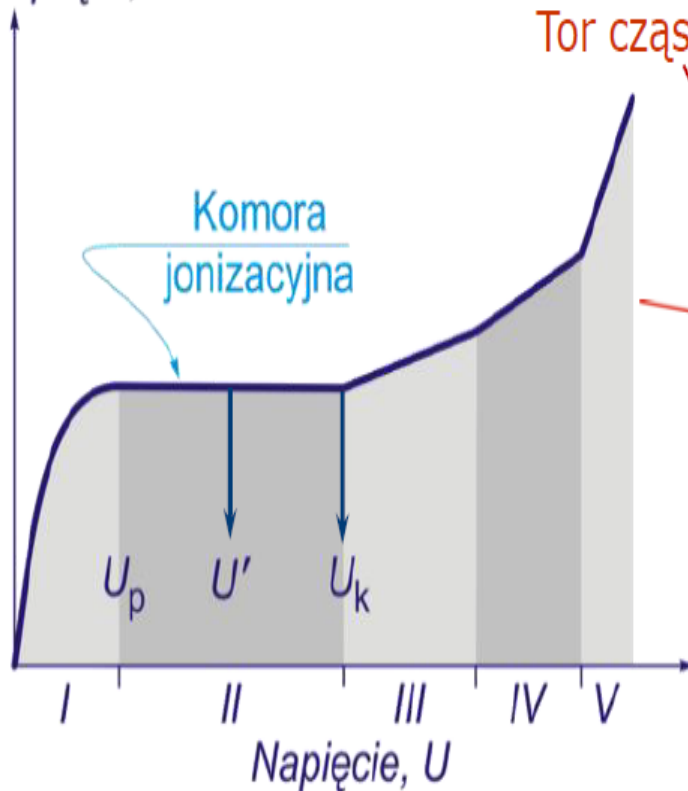
Komora jonizacyjna

Układ pomiarowy do wyznaczania charakterystyki prądowo-napięciowej komory jonizacyjnej.



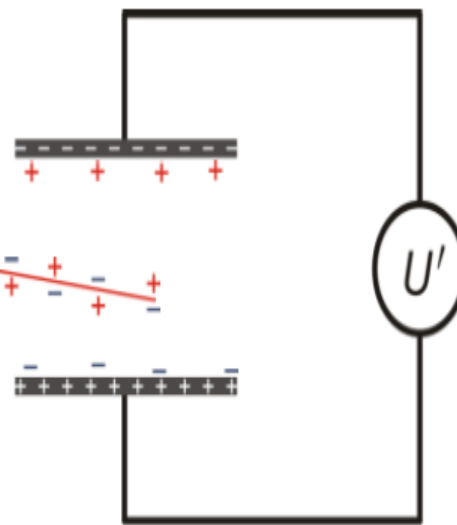
Charakterystyka prądowo-napięciowa komory jonizacyjnej

Natężenie prądu, I



Komora jonizacyjna

Tor cząstki jonizującej



$$Q_k = C \cdot U_k$$

$$Q' = C \cdot U'$$



Licznik scyntylicyjny

Zasada działania:

wykorzystuje się zjawisko scyntytacji, czyli powstawania kwantów światła widzialnego na skutek przejścia kwantów/cząstek promieniowania jonizującego w niektórych kryształach

Zastosowanie:

- ochrona radiologiczna
- gammakamery stosowane w PET i SPECT



Detektor półprzewodnikowy

Zasada działania:

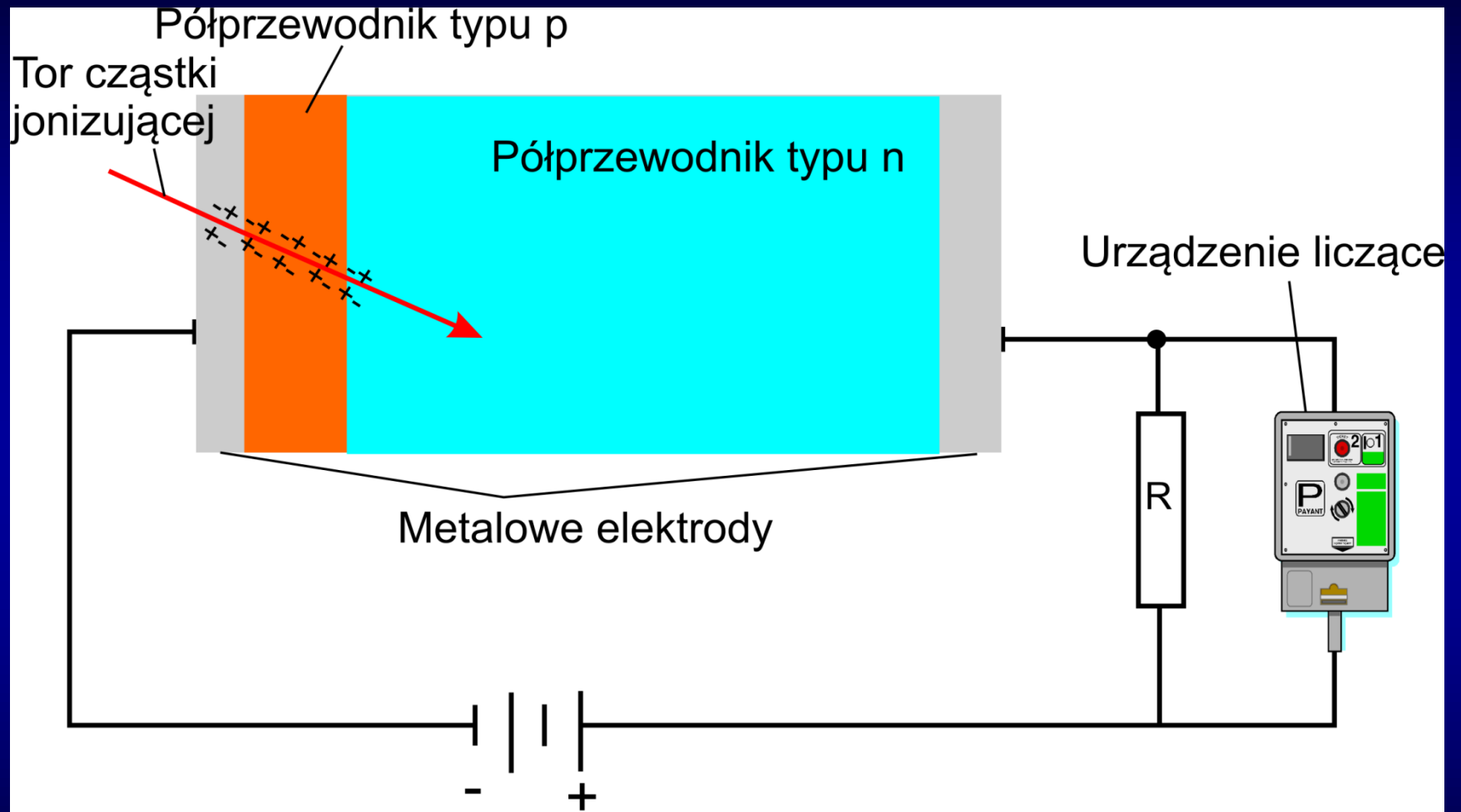
powstawanie nośników prądu w obszarze złącza półprzewodnikowego spolaryzowanego zaporowo, pojawia się przepływ prądu, który można mierzyć

Zastosowanie:

- detektory w stosowanych obecnie tomografach komputerowych
- detektory stosowane w densytometrach



Detektor półprzewodnikowy



Detektor termoluminescencyjny

Zasada działania:

wykorzystuje się własność pewnych związków chemicznych (termoluminoforów) polegającą na magazynowaniu energii pochłoniętej w trakcie ekspozycji na promieniowanie jonizujące, odczytuje się je wygrzewając w specjalnych komorach i mierząc ilość powstającego światła

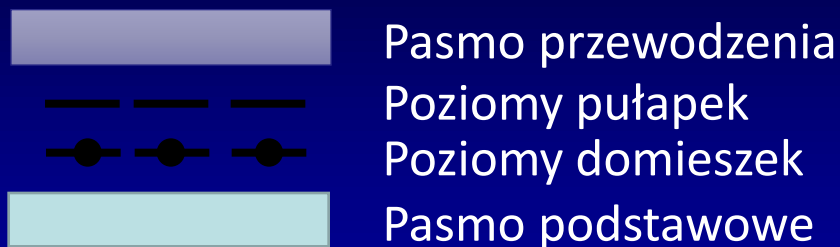
Zastosowanie:

- indywidualne dozymetry / ochrona radiologiczna

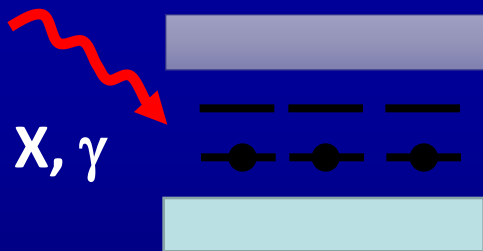


Dawkomierz termo(foto) luminescencyjny

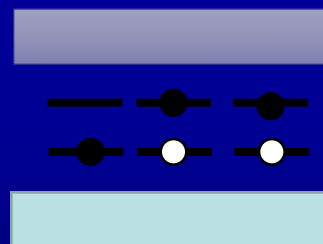
Poziomy energetyczne w dawkomierzu termo(foto)luminescencyjnym.



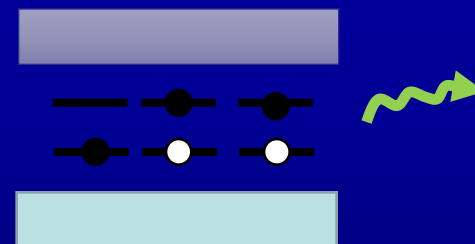
Przed



Po



$h \cdot \nu$



Natężenie światła emitowanego podczas termoluminescencji jest proporcjonalne do sumarycznej dawki pochłoniętej przez dany materiał od czasu ostatniego działania wysokiej temperatury.



Detektory obrazu

Nie ma uniwersalnych detektorów obrazu. Ich rodzaj zależy od metody obrazowania.

W ramach tych samych metod mogą być stosowane różne detektory.



Detektory obrazu

- **Metody rentgenograficzne**
- **Tomografia komputerowa**
- **Tomografia rezonansu magnetycznego**
- **Ultrasonografia**
- **Metody optyczne (np. endoskopia)**
- **Termografia**
- **Medycyna nuklearna**



Metody rentgenograficzne

- **Klasyczne RTG**
- **Cyfrowe RTG**
- **Angiografia**
- **Angiografia subtrakcyjna**
- **Koronarografia**
- **Densytometria**
- **Radiologia warstwowa/pantomografia**



Metoda	Detektory
Klasyczna radiologia	Błona rentgenowska + folia wzmacniająca
Radiologia naczyniowa	Tor wizyjny działający w oparciu o wzmacniacz obrazu
Tomografia komputerowa	Detektor półprzewodnikowy, dawniej komora jonizacyjna
Rezonans magnetyczny	Cewka
Ultrasonografia	Element piezoelektryczny
PET	Układ dwóch gammakamer zbudowanych z zestawu scyntylatorów z fotopowielaczami
SPECT	Gammakamera zbudowana z zestawu scyntylatorów z fotopowielaczami
Endoskopia	Wziernik ze światłowodem + CCD
Densytometria	Detektor półprzewodnikowy
Termografia	Bolometr, fotodioda działająca w zakresie IR



Detektory w metodach rentgenowskich

- **Błony rentgenowskie**
- **Detektory cyfrowe rejestrujące bezpośrednio promieniowanie X**
- **Detektory cyfrowe z konwersją promieniowania X na światło widzialne**
- **Detektory pozycyjne / bez zachowania informacji o pozycji**



Detektory cyfrowe

- **Systemy rejestracji bezpośredniej**
 - układ CCD lub CMOS czuły w zakresie VIS + konwerter promieniowania X na VIS
 - układ CCD lub CMOS czuły w zakresie X
- **Systemy rejestracji pośredniej**
 - płyta obrazująca (image plate) rejestrują obraz utajony odczytywany odpowiednimi skanerami laserowymi



Detektory cyfrowe

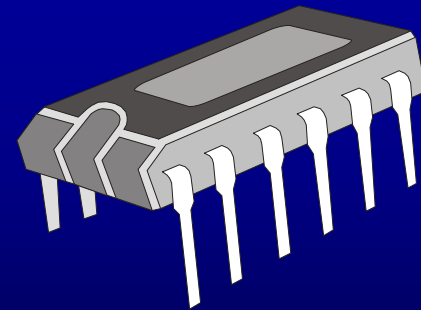
- Ze względu na dużą wydajność detekcji pozwalają zmniejszyć dawkę promieniowania otrzymywaną przez pacjenta w stosunku do dawki otrzymywanej z wykorzystaniem błony RTG
- Zdolność rozdzielcza układów cyfrowych jest nieco gorsza niż błony



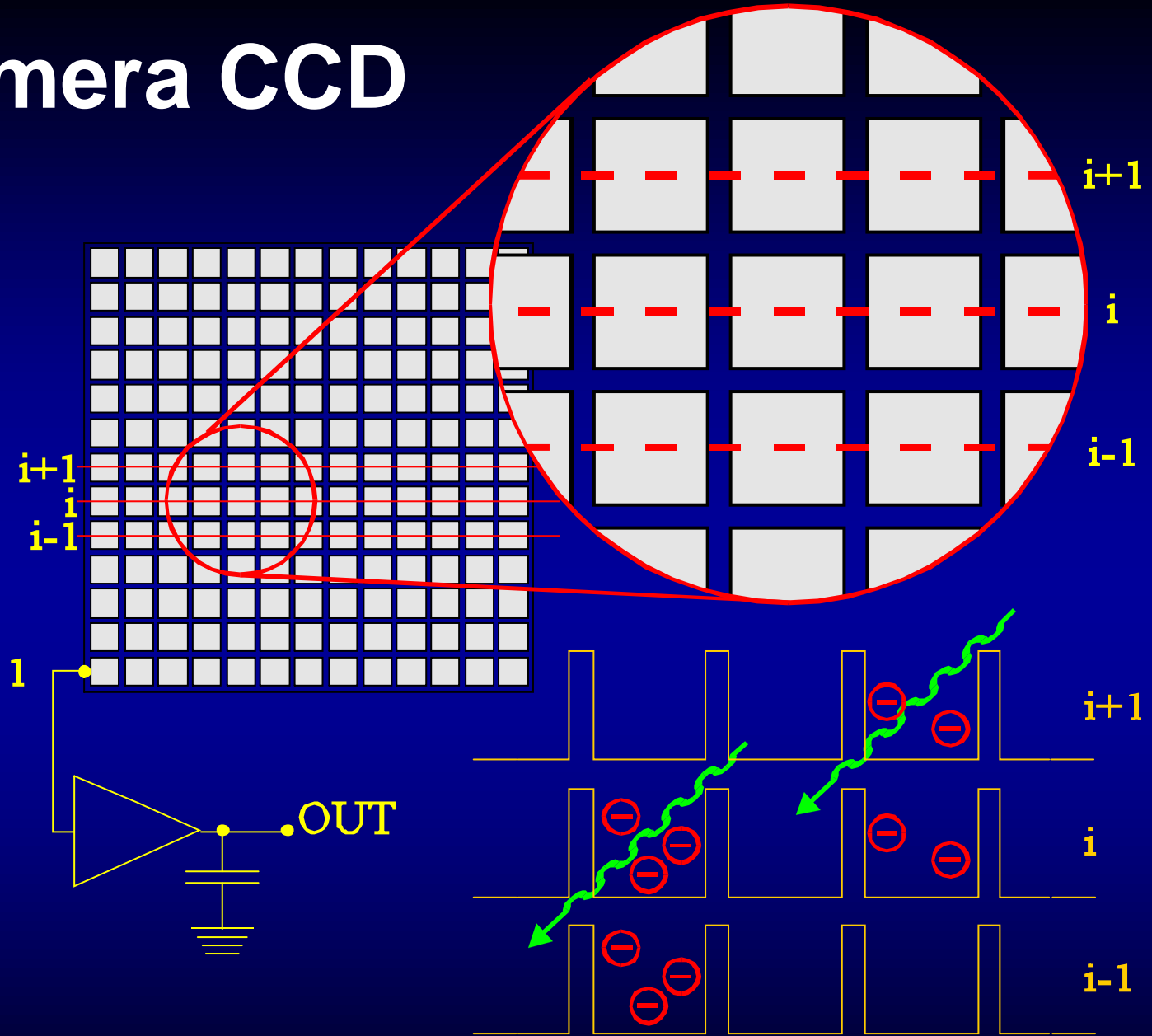
Kamera CCD

CCD (Charge Couple Device)

Jedno z podstawowych urządzeń wykorzystywanych obecnie do rejestracji obrazów. Zbudowane jako matryca półprzewodnikowa.



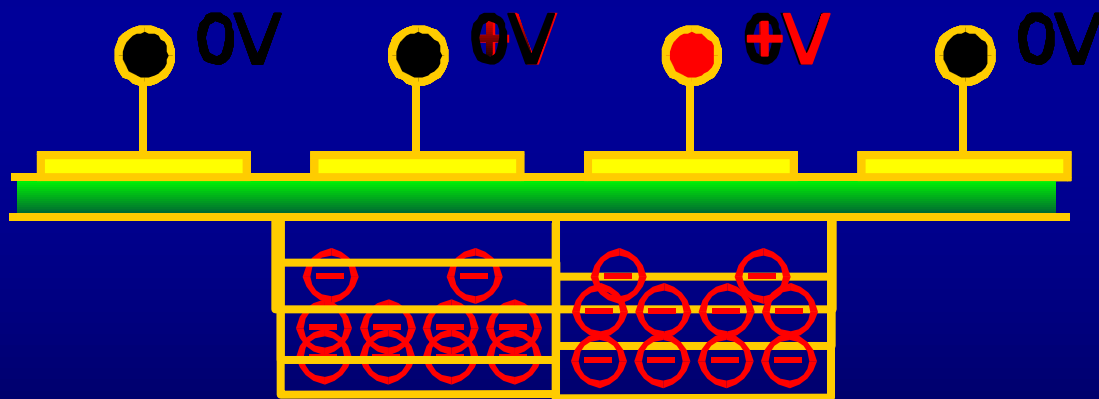
Kamera CCD



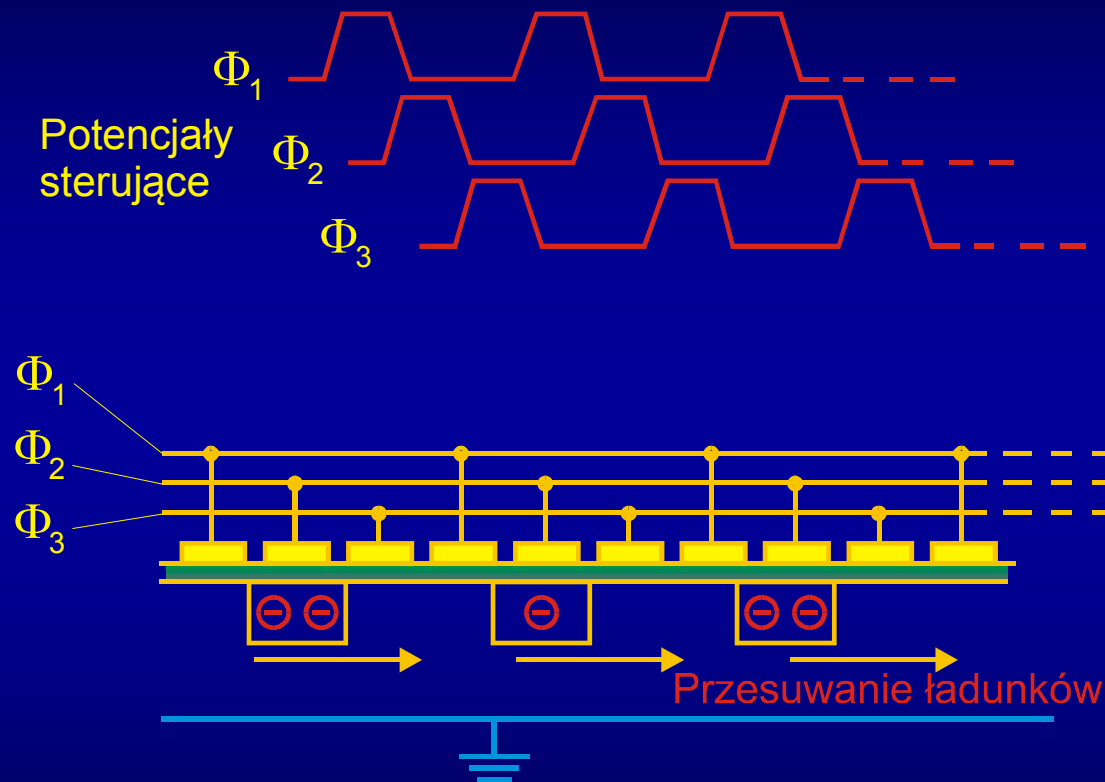
Kamera CCD

Semiconductor junction (pixel)

1 2 3 4



Kamera CCD



Systemy rejestracji bezpośredniej



Błona rentegnowska

Zasada działania:

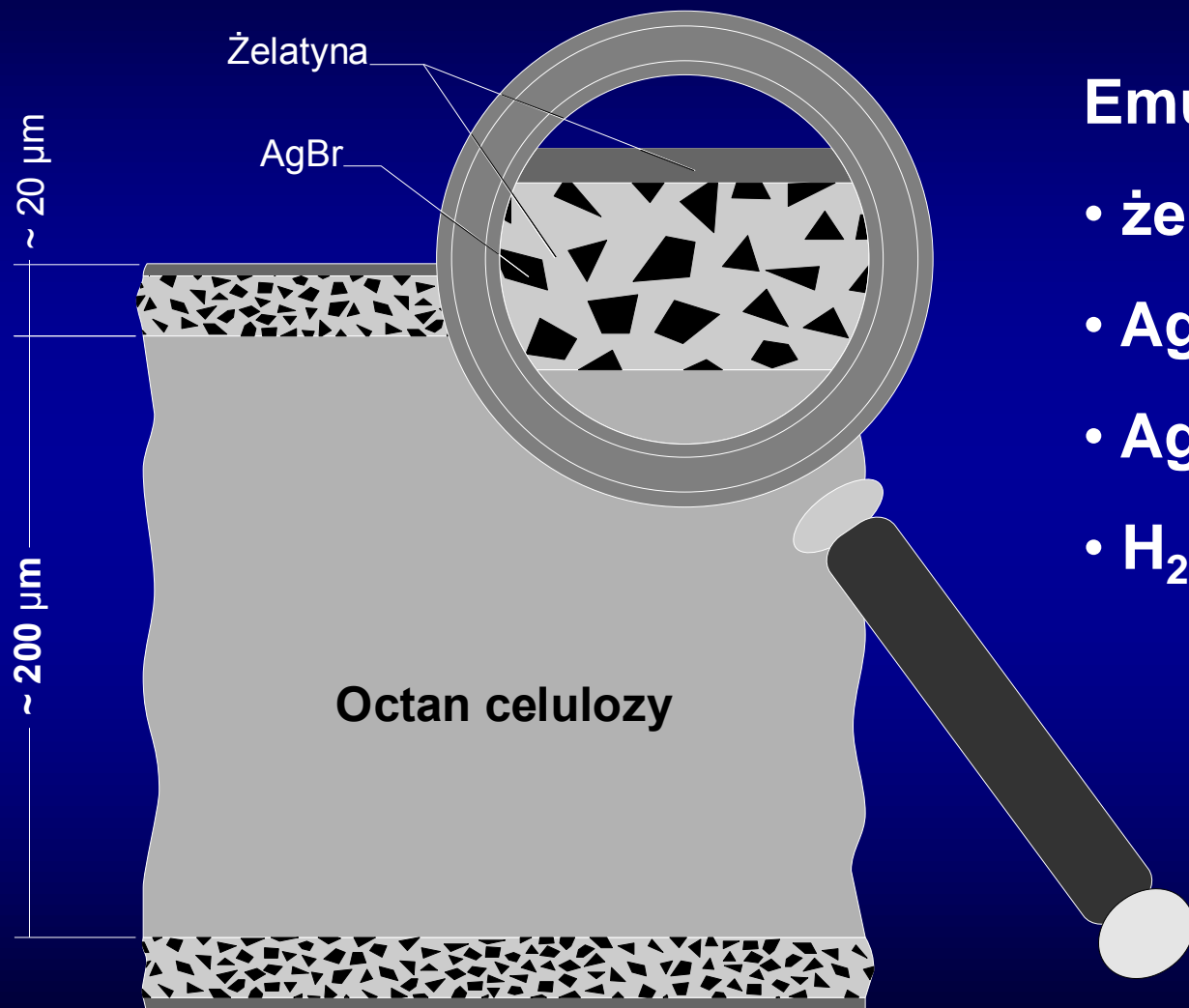
promieniowanie X oddziałując z kryształami AgBr w emulsji pokrywającej błonę powoduje uczulenie kryształów na wywoływacz

Zastosowanie:

- indywidualne dozymetry / ochrona radiologiczna
- rentgenografia we wszystkich jej odmianach
- do niedawna podobne błony były stosowane do archiwizacji obrazów w tomografii komputerowej i tomografii rezonansu magnetycznego



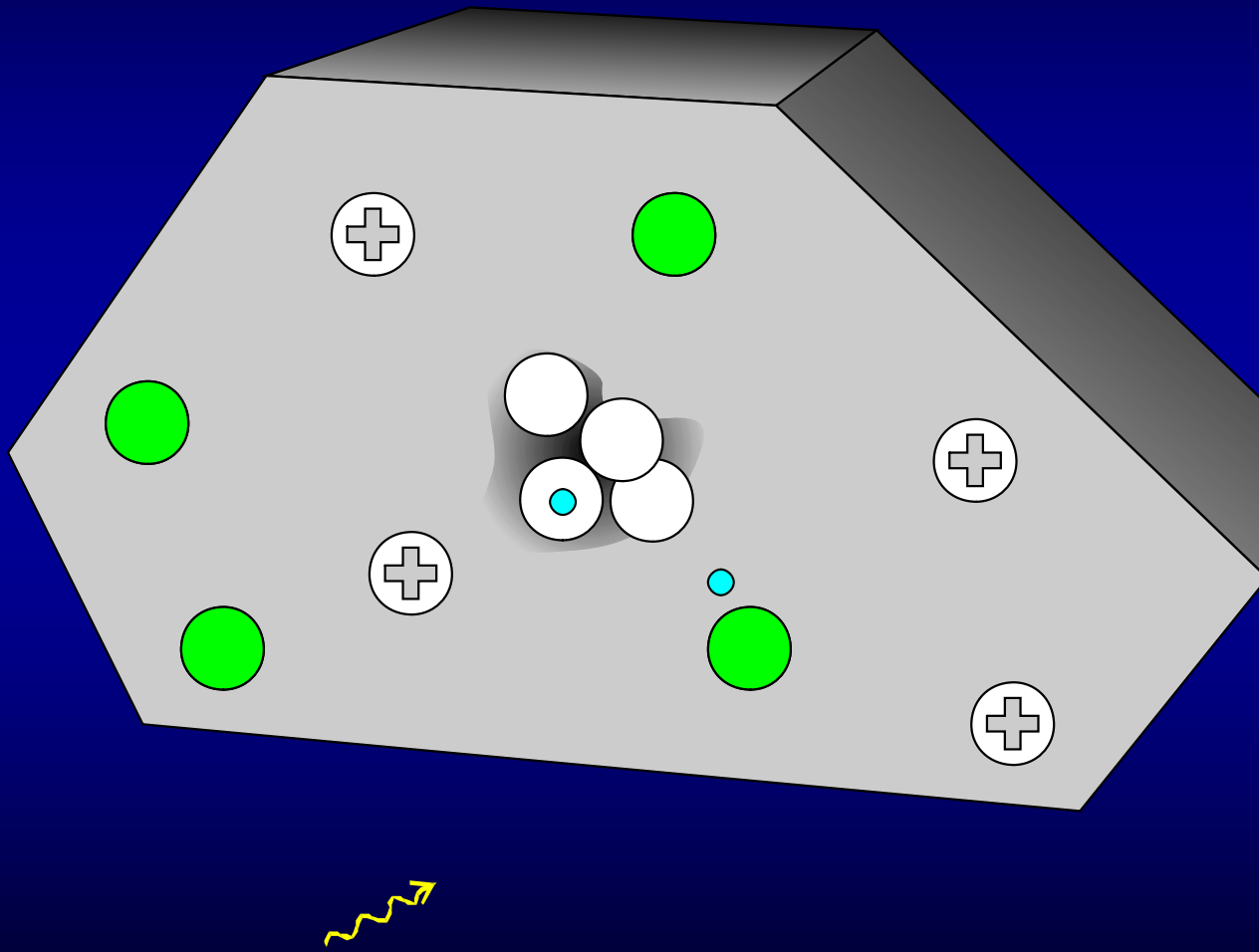
Błona rentgenowska



Emulsja fotograficzna

- żelatyna (55%)
- AgBr (33%)
- AgJ (2%)
- H₂O (10%)

Zasada działania błony RTG



-  Jon Br
-  Atom Br
-  Jon Ag
-  Atom Ag
-  Elektron
-  Foton
-  Zaburzenie

Zasada działania błony RTG

- Promieniowanie elektromagnetyczne oddziałując z ziarnem AgBr neutralizuje pewną liczbę jonów srebra
- Zmiana taka jest nieodwracalna i uczula ziarno na działanie wywoływacza – obraz utajony
- Liczba zneutralizowanych ziaren AgBr zależy od liczby zaabsorbowanych fotonów



Zasada działania błony RTG

- Wywoływanie – działanie substancji dostarczającej elektronów, powoduje konwersję wszystkich jonów srebra w atomy srebra w aktywowanych ziarnach – ziarna takie stają się czarne
- Po wywołaniu wywoływacz jest usuwany z błony, a następnie wypłukuje się z emulsji nieaktywowane ziarna AgBr



Charakterystyka błony RTG

Przejrzyłość

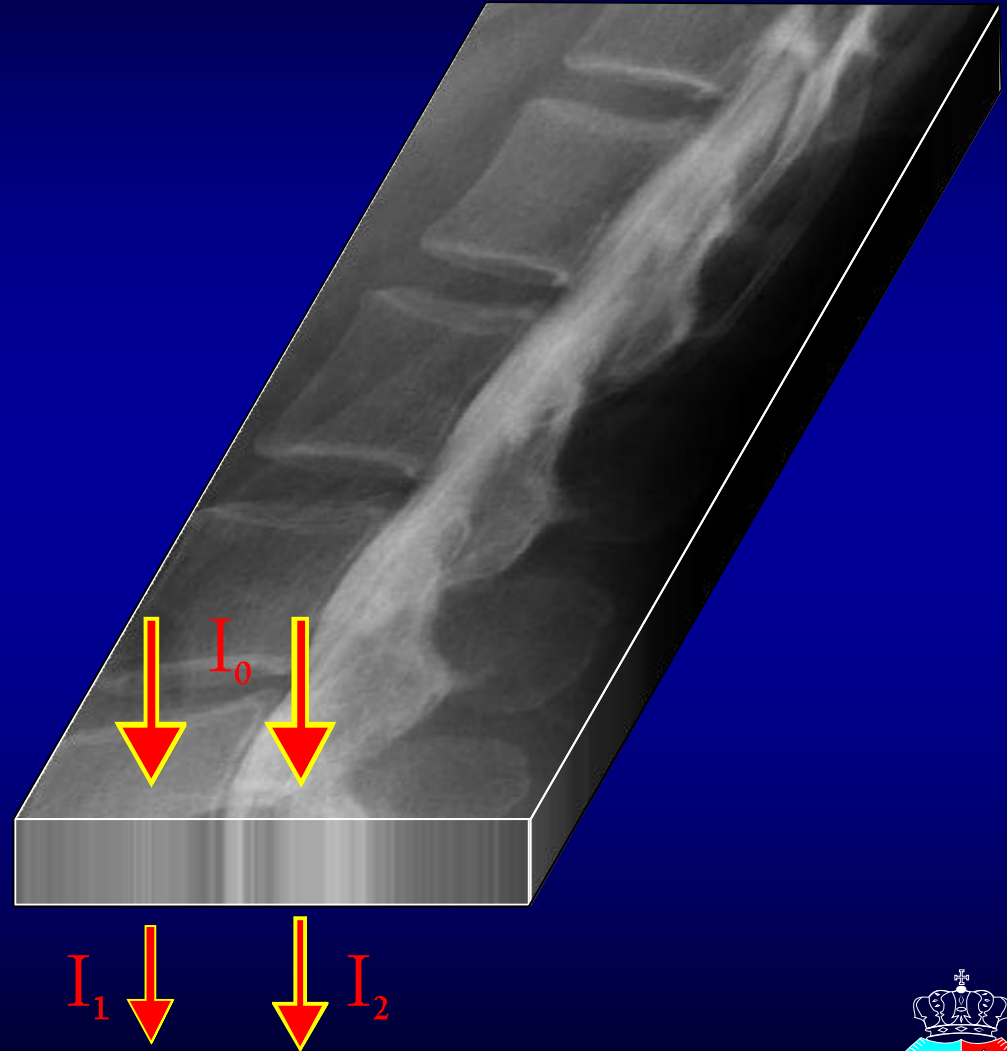
$$T_1 = I_1/I_0 \quad T_2 = I_2/I_0$$

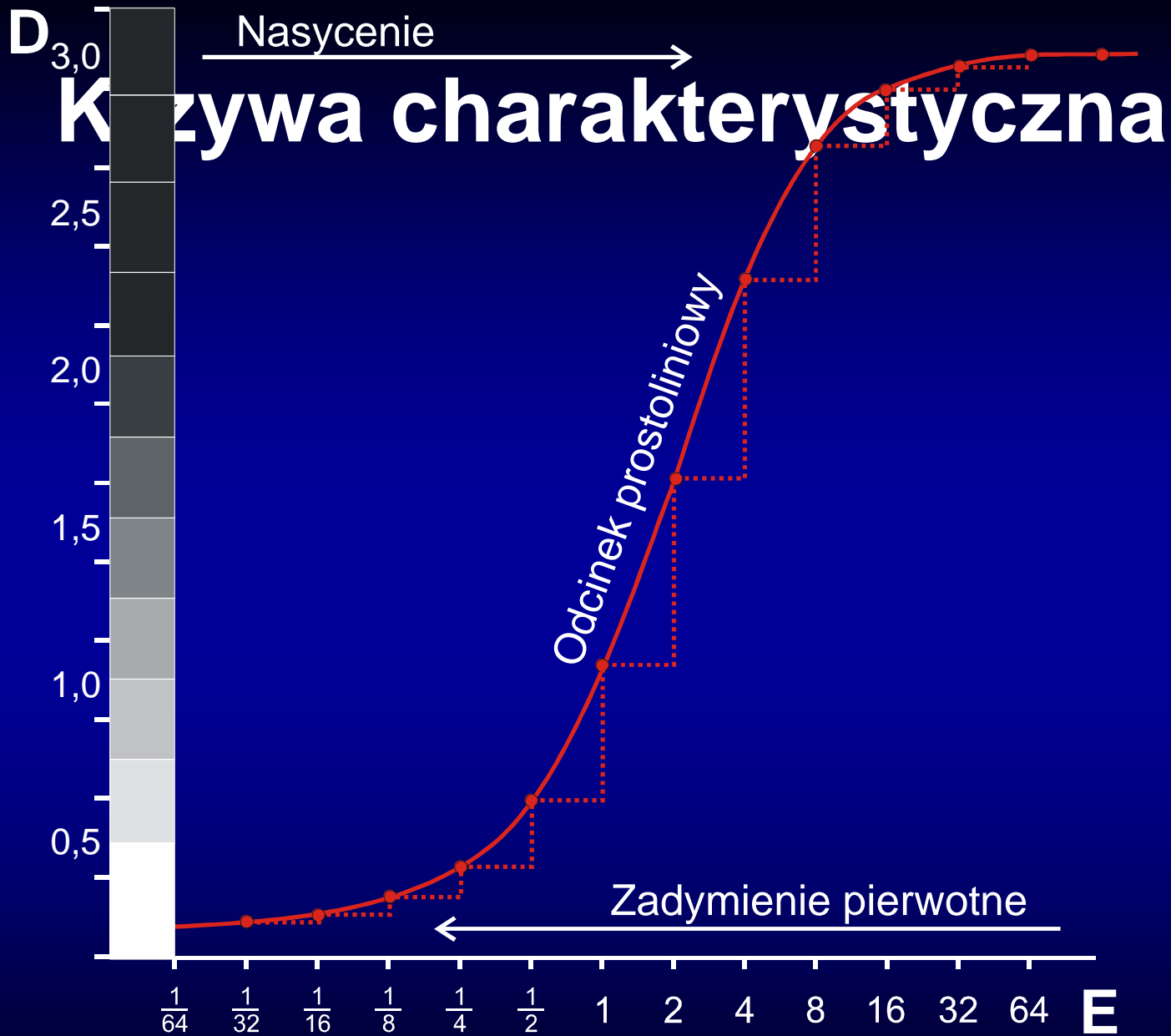
Krytość

$$O = 1/T$$

Gęstość optyczna

$$D = \log(O)$$





Wydajność detekcji



Ekrany wzmacniające

Wydajność detekcji błony RTG jest niewielka w zakresie promieniowania X. Stosuje się tzw. ekrany wzmacniające (folia pokryta np. CaWO_4 , $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$, $\text{Ga}_2\text{O}_2\text{S}$, $\text{La}_2\text{O}_2\text{S}$,)

Ekran wzmacniający – konwerter promieniowania X (30-80 keV) na światło widzialne (460-650 nm)

Jeden kwant promieniowania X jest zamieniany w ekranie wzmacniającym, na kilkadziesiąt (kilkaset) kwantów światła, które są znacznie wydajniej rejestrowane przez błonę.



Detektory cyfrowe

- Ze względu na dużą wydajność detekcji w stosunku do błony rentgenowskiej pozwalają zmniejszyć dawkę promieniowania otrzymywaną przez pacjenta w stosunku do dawki otrzymywanej z wykorzystaniem błony RTG
- Zdolność rozdzielcza układów cyfrowych jest gorsza niż błony



Image plate

(płytką obrazująca, płyta pamięciowa)

Zasada działania:

wykorzystuje się własność niektórych substancji (halogenki baru aktywowane europem) polegającą na powstawaniu trwałych stanów wzbudzonych w powłokach atomowych na skutek oddziaływania z promieniowaniem jonizującym, powstaje obraz utajony w postaci rozkładu stanów wzbudzonych, płytę odczytuje się skanując ją laserem

Zastosowanie:

- rentgenografia - metody nie wymagające dużych zdolności rozdzielczych



Cyfrowe płyty pamięciowe (obrazujące) działają w oparciu o halogenki baru aktywowane europem. Zastępują w rentgenodiagnostyce układ błona RTG – folia wzmacniająca.

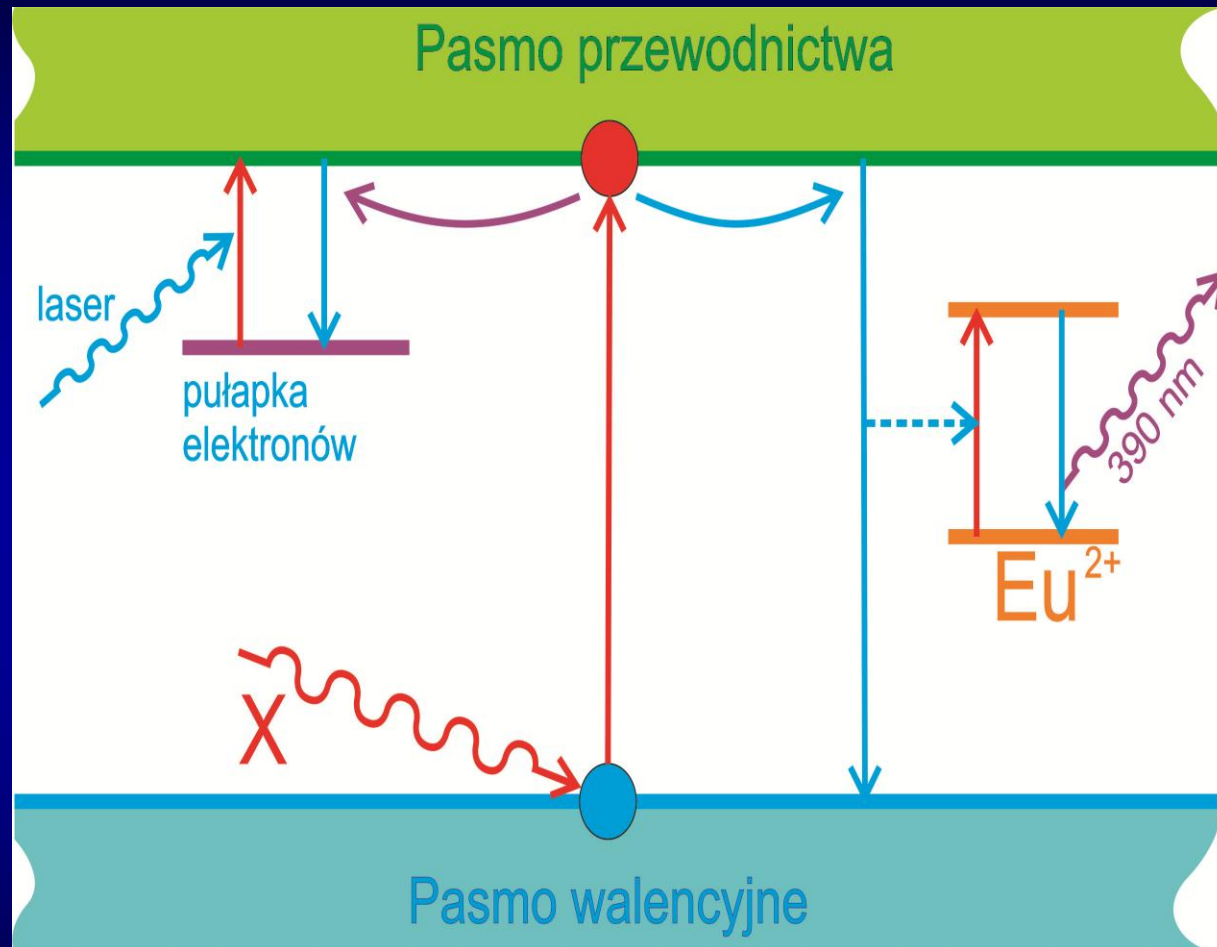
Promieniowanie X przechodząc przez płytę pamięciową w jej warstwie czynnej wywołuje zmiany energetyczne w układzie powłok atomowych - powstają stany wzbudzone meta-trwałe. Liczba takich zmian jest proporcjonalna do ilości oddziaływujących kwantów promieniowania.

Obraz utajony w postaci rozkładu gęstości stanów metastabilnych jest odczytywany przy pomocy lasera. Wiązka lasera oświetlając płytę punkt po punkcie wymusza powrót atomów do stanu podstawowego co skutkuje emisją światła. Mierzy się intensywność emitowanego światła.

Po odczytaniu płyta jest gotowa do ponownego użytku.



Image plate

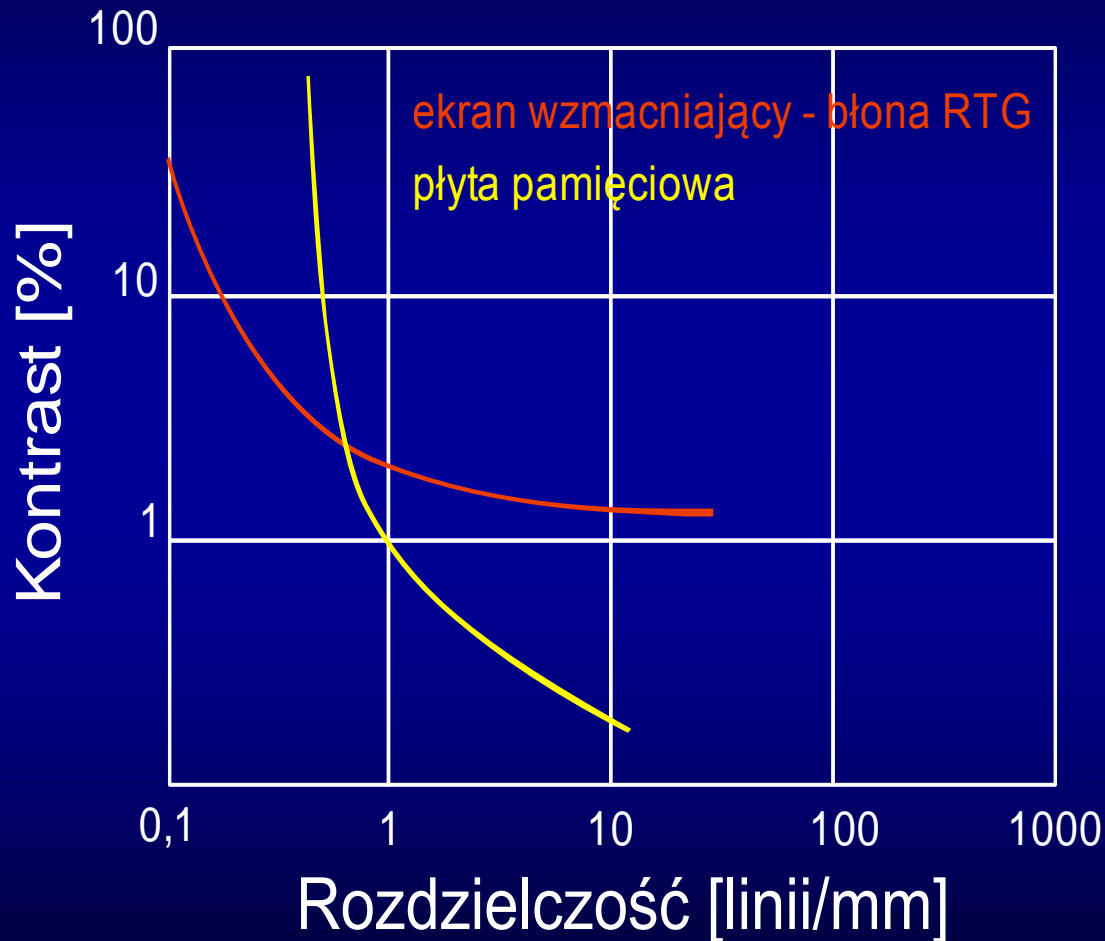


Porównanie analogowych i cyfrowych układów w rentgenodiagnostyce

	Układ analogowy	Układ cyfrowy
Koszt aparatury	+	
Koszt eksploatacji		+
Dawka promieniowania		+
Przestrzenna zdolność rozdzielcza	+	
Kontrastowa zdolność rozdzielcza		+
Odporność na zakłócenia		+
Trwałość obrazu		+
Możliwość bezpośredniego przetwarzania obrazu		+
Telemedycyna		+



Porównanie analogowych i cyfrowych układów w rentgenodiagnostyce

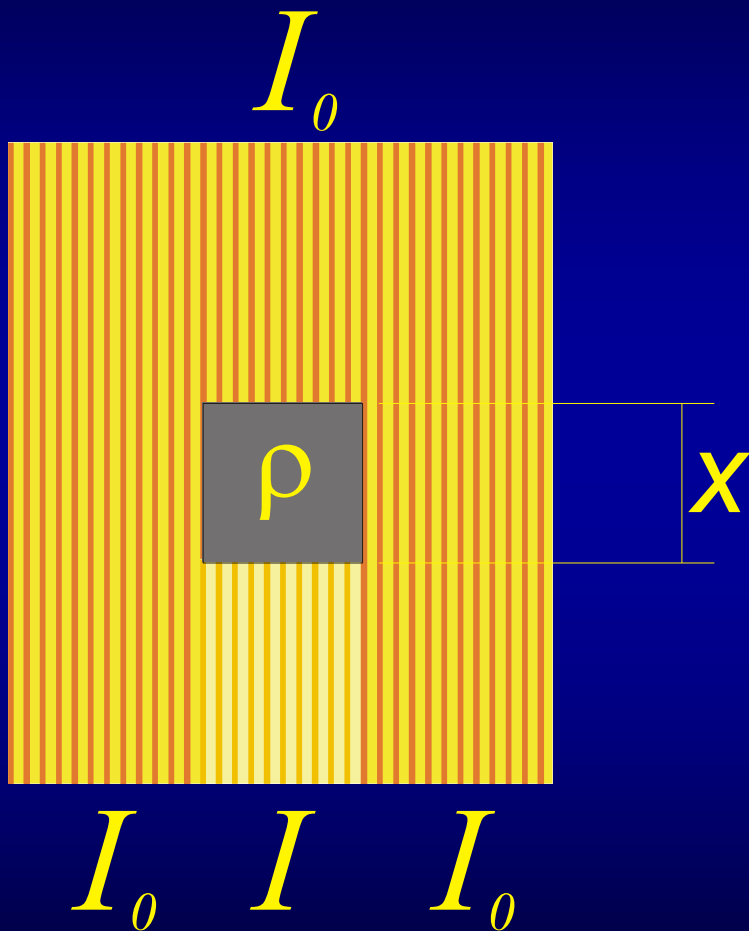


Densytometria rentgenowska

- Aparat składa się z lampy RTG emitującej dobrze skolimowaną wiązkę promieniowania X, tzw. pencil beam. Wiązka przechodzi przez ciało pacjenta i jest rejestrowana przez detektor półprzewodnikowy.
- Osłabienie wiązki zależy od gęstości kości i jej grubości jak wynika z prawa osłabienia.
- Nie można wyznaczyć gęstości fizycznej kości w g/cm^3 a jedynie gęstość powierzchniową w g/cm^2 , bo nie znamy geometrii i gęstości.
- Badanie ma sens, jeśli wynik pacjenta porównany zostanie z rozbudowaną bazą danych. Porównuje się go ze średnią w danej populacji.



Densytometria rentgenowska



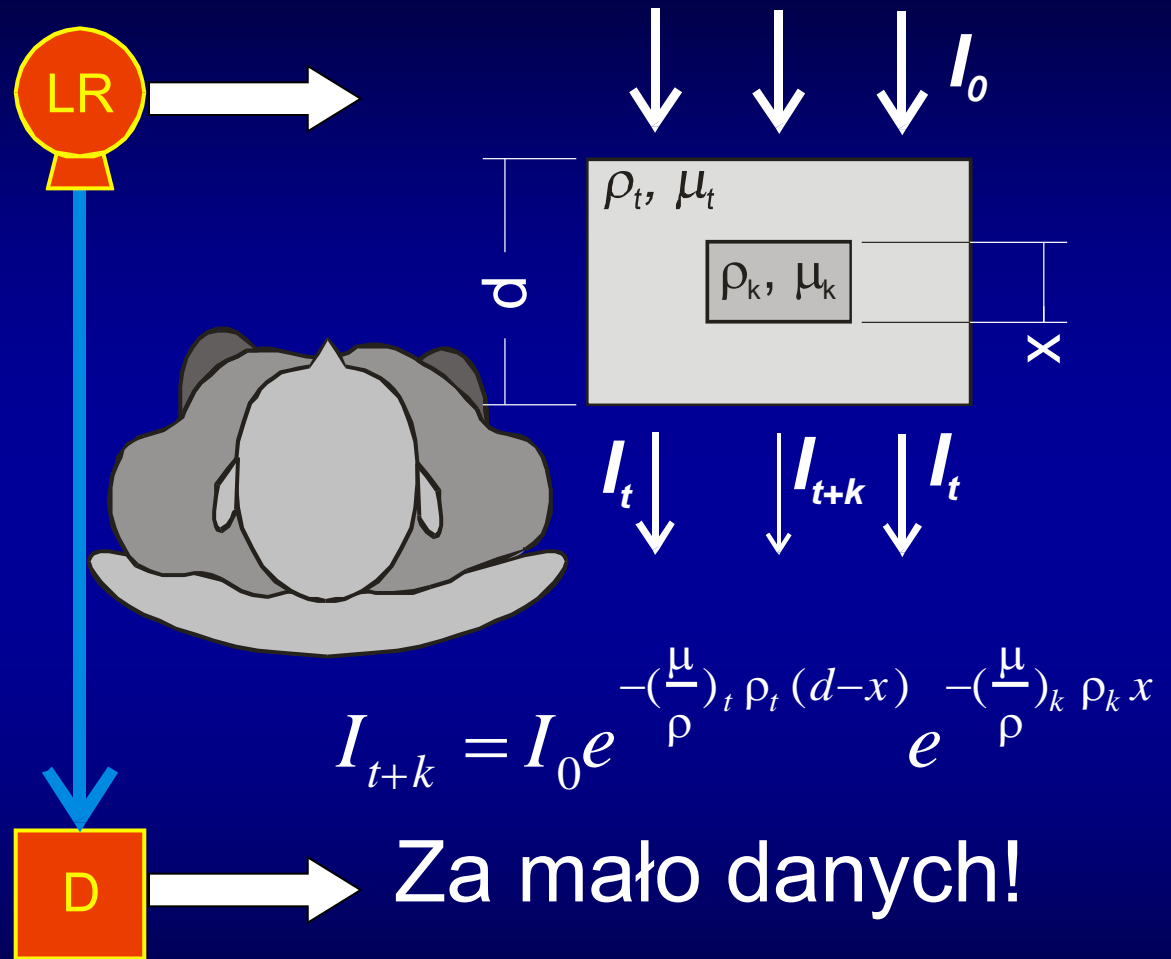
$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$I = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} x \rho}$$

$x\rho$ – gęstość powierzchniowa
 μ/ρ – masowy współczynnik
osłabienia



Densytometria rentgenowska



Densytometria rentgenowska

- Niedobór danych w równaniu na osłabienie wiązki można częściowo wyeliminować poprzez zastosowanie badania dla dwóch różnych energii wiązki i stosowanie dodatkowych filtrów na drodze wiązki.
- Mimo tego nie można badać gęstości fizycznej, a jedynie gęstość powierzchniową.
- Badania przeprowadza się dla konkretnych, dobrze zdefiniowanych lokalizacji na ciele pacjenta.
- Wynik porównuje się z bazą danych i określa się odchylenie wyniku od średniej dla populacji.



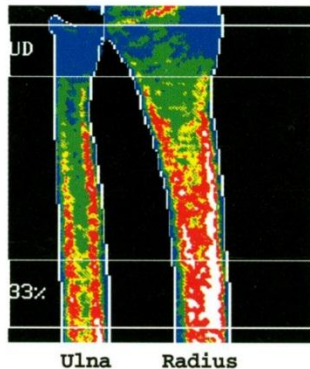
Densytometria rentgenowska

FOREARM RESULTS STATE HOSPITAL

404 NORTH FEDERAL RD., BARKERVILLE, AN 06333

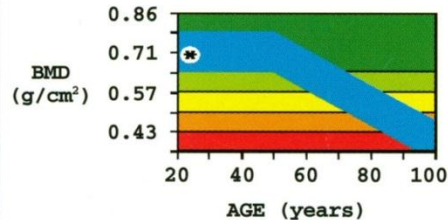
PATIENT ID: AAXOCC
NAME: G, J

SCAN: 1.3 03/28/94
ANALYSIS: 1.3 03/28/94



ID: G, J SCAN DATE: 03/28/94

RADIUS 33% Comparison to Reference



RADIUS 33% BMD (g/cm²)^{1,6} 0.707 ± 0.02
RADIUS 33% % Young Adult² 99 ± 3
RADIUS 33% % Age Matched³ 99 ± 3

LUNAR®

IMAGE NOT FOR DIAGNOSIS

Age (years).....	24	Large Standard.....	274.16	Scan Mode.....	Medium
Sex.....	Female	Medium Standard.....	204.24	Scan Type.....	DPX-L
Weight (kg).....	49.9	Small Standard.....	145.64	Collimation (mm).....	0.84
Height (cm).....	160	Low keV Air (cps)...	613815	Sample Size (mm).....	0.6x 0.6
Ethnic.....	White	High keV Air (cps)..	383068	Side/Length (mm).....	Left/250
System.....	6000	Rvalue (%Fat).....	1.355(18.7)	Current (uA).....	150

REGION	BMD ^{1,6} g/cm ²	Young Adult ² %	Z	Age Matched ³ %	Z
RADIUS UD	0.312	83	-1.78	83	-1.78
ULNA UD	0.184	-	-	-	-
BOTH UD	0.274	-	-	-	-
RADIUS 33%	0.707	99	-0.10	99	-0.10
ULNA 33%	0.593	-	-	-	-
BOTH 33%	0.654	-	-	-	-

1 - See appendix E on precision and accuracy. Statistically 68% of repeat scans will fall within 1 SD.
2 - USA Forearm Reference Population (Provisional), Ages 20-50. See Appendices.
3 - Provisional. Matched for Age, Weight (males 50-100kg; females 35-80kg).
6 - SPA calibration in use: (COMAC values are 10% > SPA values). Published SPA values may not be comparable.



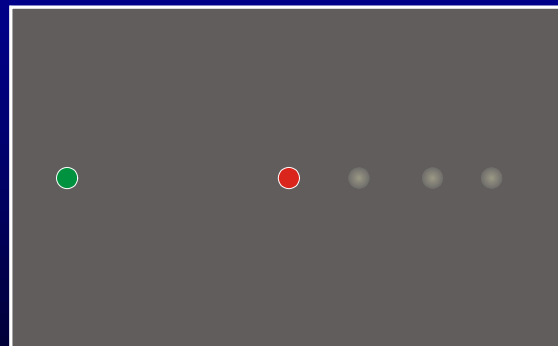
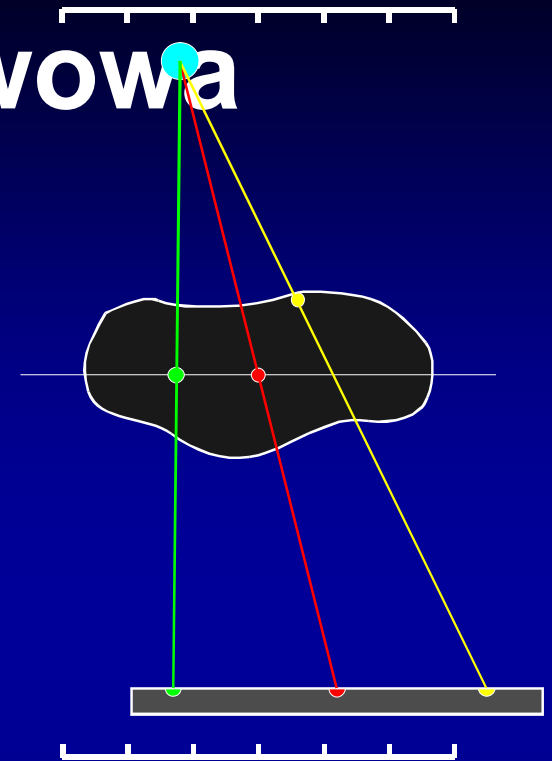
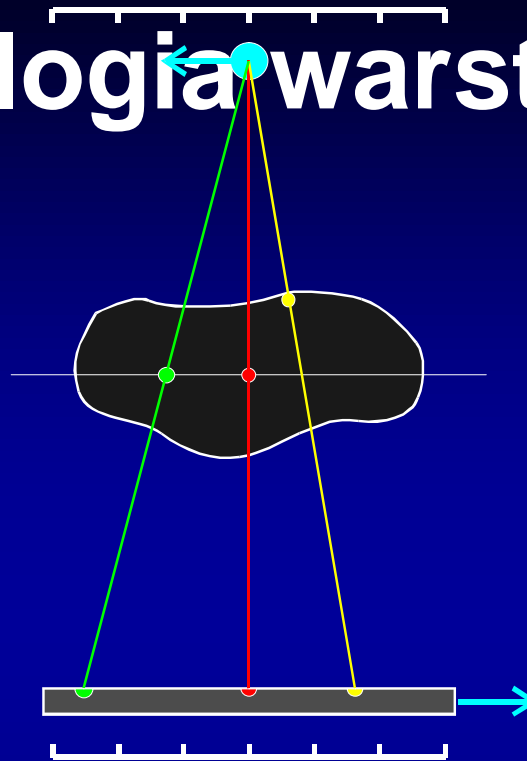
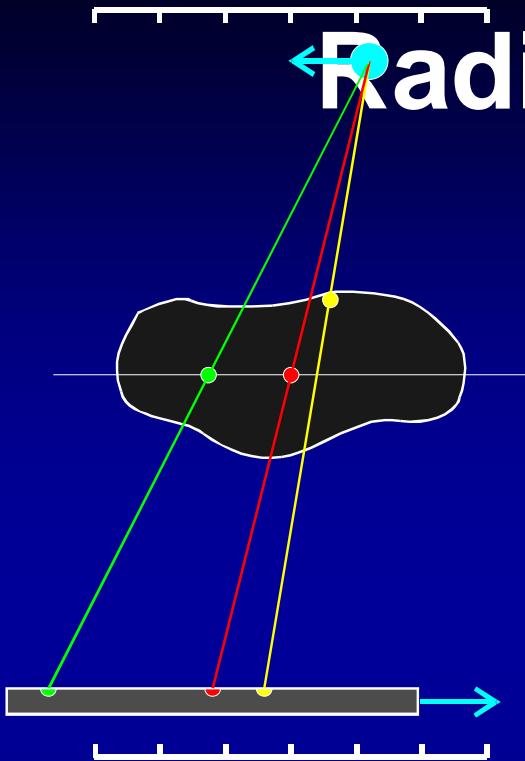


Pantomografia

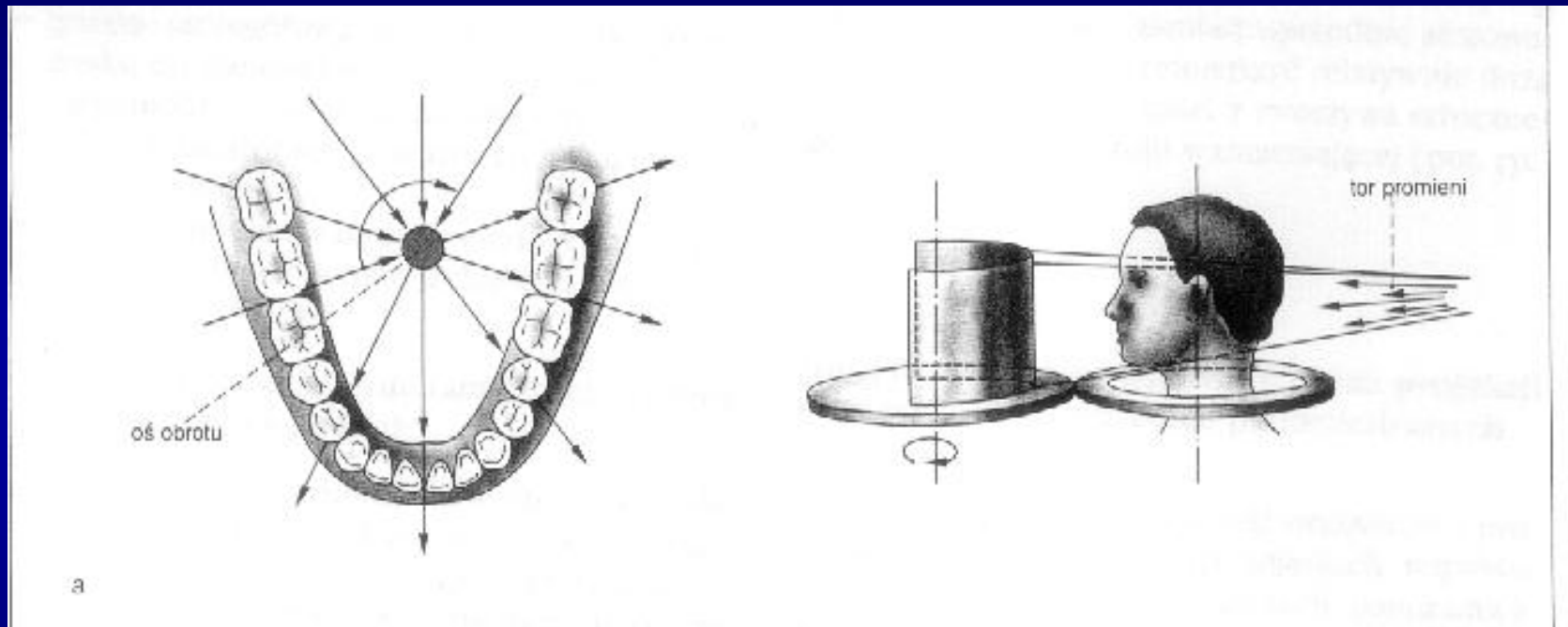
Pantomografia jest odmianą i bardziej skomplikowaną wersją radiologii warstwowej. Stosuje się ją w stomatologii.



Radiologia warstwowa



Pantomografia



Sygnały cyfrowe i analogowe

Przykład

Woltomierz analogowy “zamienia” mierzone napięcie na wychylenie wskazówki.

Przykład

Woltomierz cyfrowy zamienia mierzone napięcie na jego reprezentację liczbową wyświetlaną na wyświetlaczu.



Sygnały analogowe i cyfrowe

Sygnal analogowy to sygnał, w którym informacja jest zakodowana przy pomocy amplitudy pewnej wielkości fizycznej (napięcia elektrycznego, natężenia prądu, natężenia światła itp.)

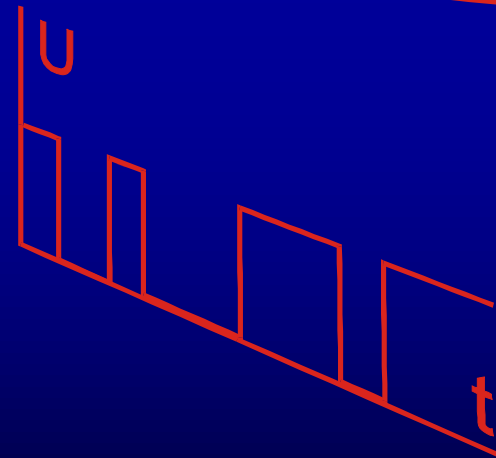
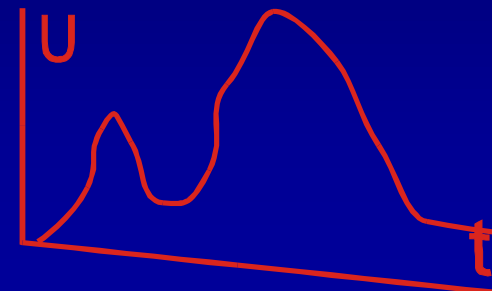
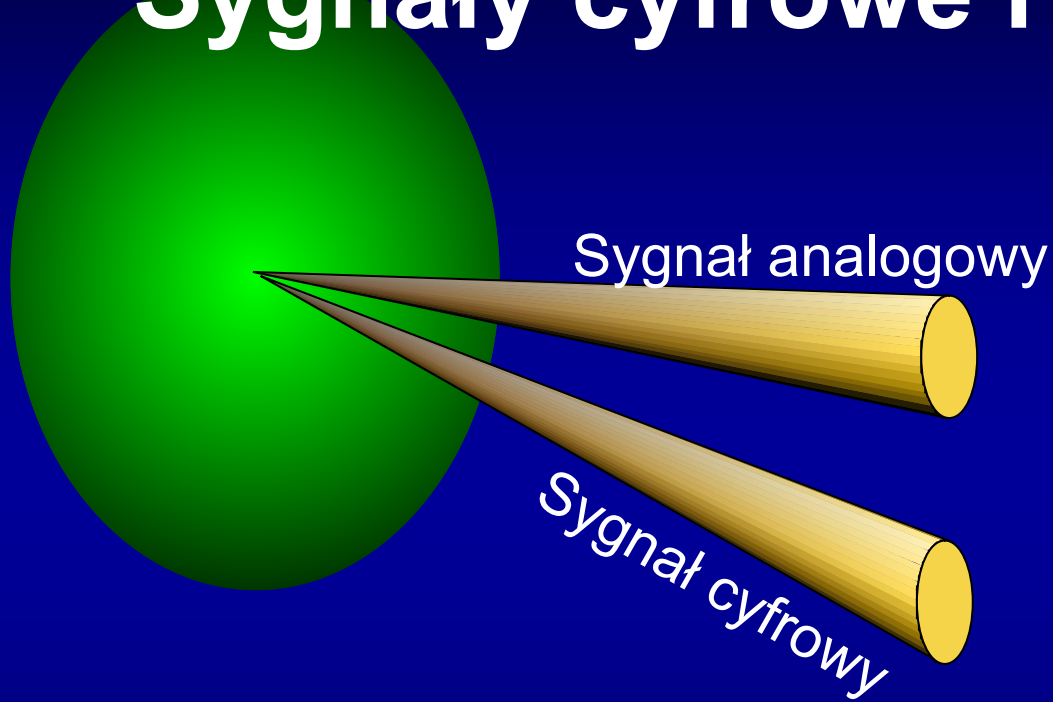
Sygnal cyfrowy to sygnał, w którym informacja kodowana jest przy pomocy sekwencji standardowych stanów pewnych wielkości fizycznych (napięcia elektrycznego, natężenia prądu, natężenia światła itp.)



Obraz analogowy i cyfrowy

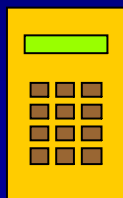


Sygnaly cyfrowe i analogowe



Transmisja szeregowa i równoległa

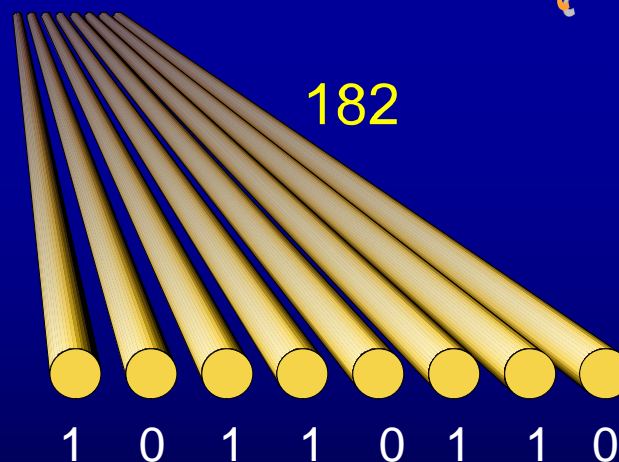
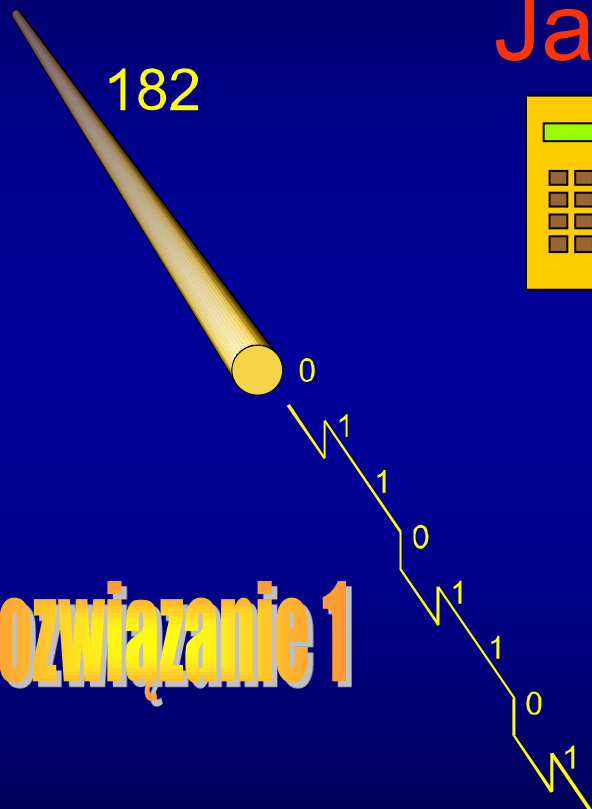
Jak przesłać 182?



1 0 1 1 0 1 1 0

Rozwiązanie 2

Rozwiązanie 1



Zalety techniki cyfrowej

- odporność na zakłócenia
- możliwość zastosowania obróbki komputerowej
- prosta rejestracja i akwizycja danych
- prosta transmisja danych



Przetwornik

Przetwornik (konwerter) to urządzenie zamieniające jedną formę danych, lub sygnału w inną.



Rodzaje konwerterów

- **Konwerter analogowo-cyfrowy**
 - Analogue-to-Digital Converter (**ADC**)
- **Konwerter cyfrowo-analogowy**
 - Digital-to-Analogue Converter (**DAC**)
- **Konwerter analogowo-analogowy**
 - Analogue-to-Analogue Converter (**AAC**)
- **Konwerter cyfrowo-cyfrowy**
 - Digital-to-Digital Converter (**DDC**)



Digitalizacja

Digitalizacja to proces zamiany sygnałów, lub danych w formie analogowej do postaci cyfrowej.



Przetwornik ADC

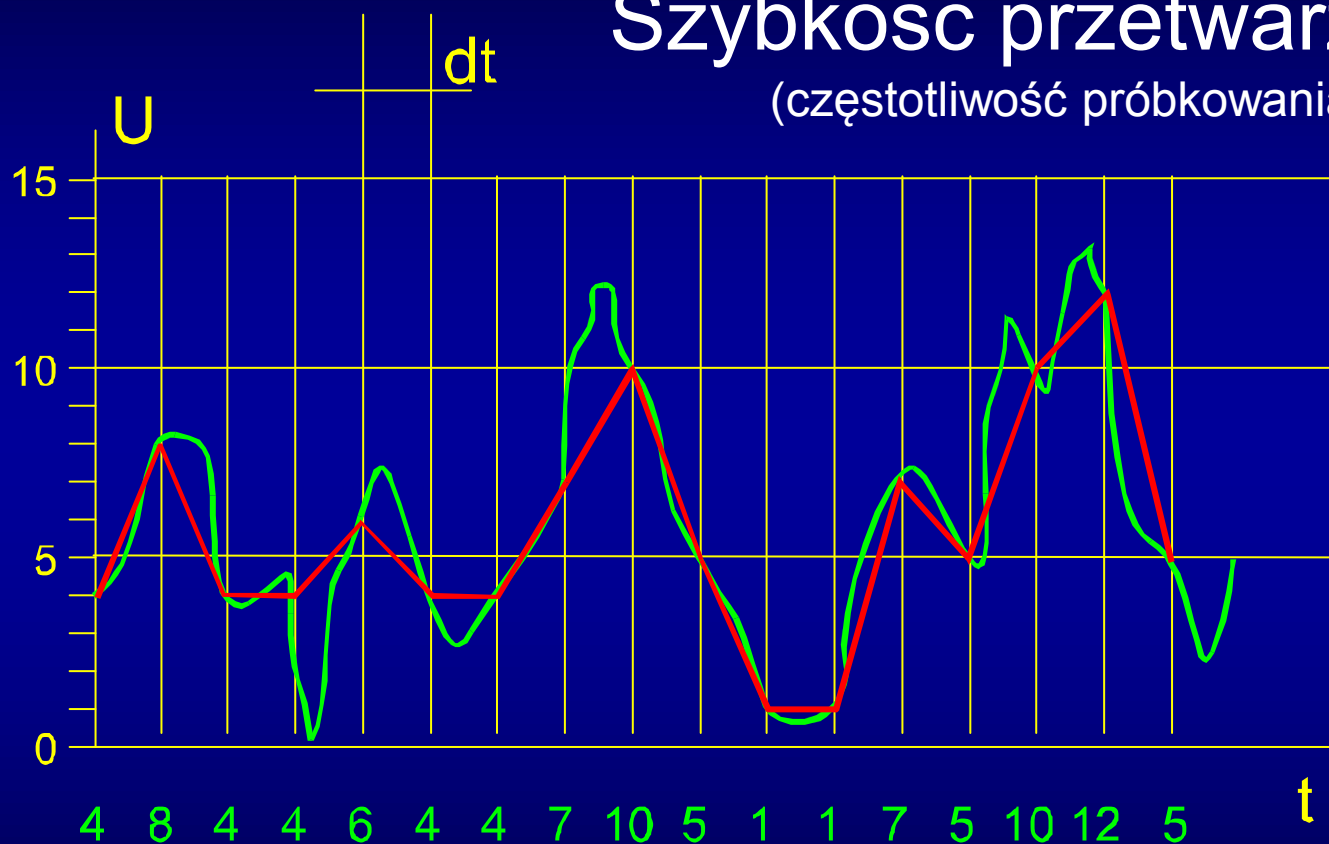
ADC (przetwornik analogowo cyfrowy) to urządzenie przekształcające elektryczny sygnał analogowy na elektryczny sygnał cyfrowy.



Podstawowe parametry ADC

Szybkość przetwarzania

(częstotliwość próbkowania)



Podstawowe parametry ADC

Szerokość słowa wyjściowego



Przykłady zastosowań ADC

Pomiary EKG

- częstotliwość sygnału EKG 1/sec
- częstotliwość próbkowania 1000/sec
- czas konwersji 1 ms



Przykłady zastosowań ADC

Rejestracja obrazu

- 25 klatek na sekundę
- 100 000 punktów w jednym obrazie
- 2 500 000 konwersji na sekundę
- częstotliwość próbkowania >2.5 MHz
- czas konwersji <0.4 μ s



Analiza Fourierowska

Rzeczywistą funkcję okresową $f(t)$ o okresie T , całkowaną w przedziale $[-T/2, T/2]$ można przybliżyć szeregiem funkcyjnym następującej postaci:

$$f(t) \approx \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t))$$

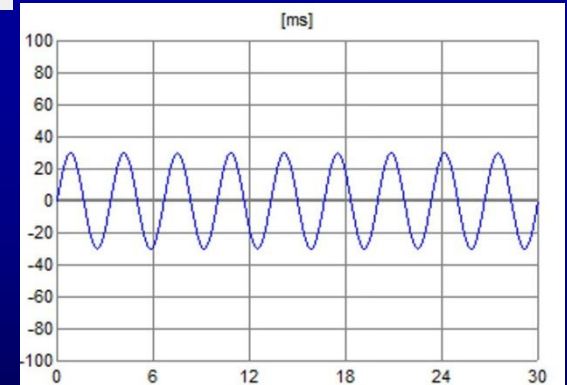
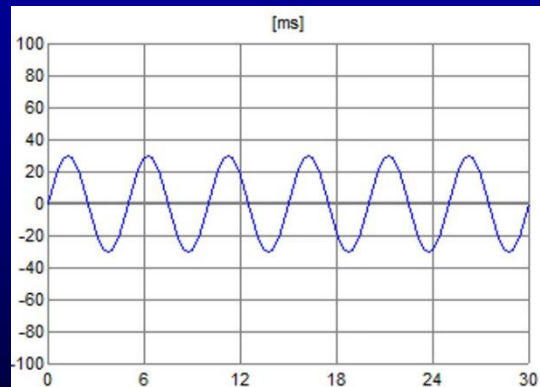
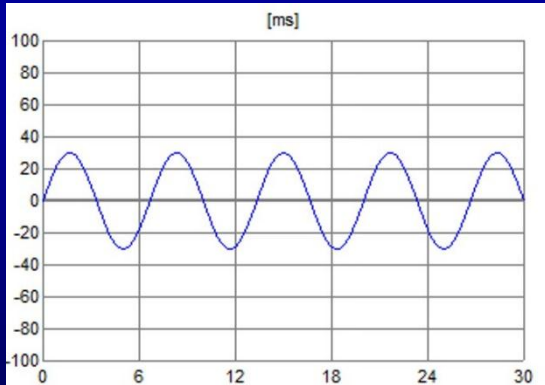
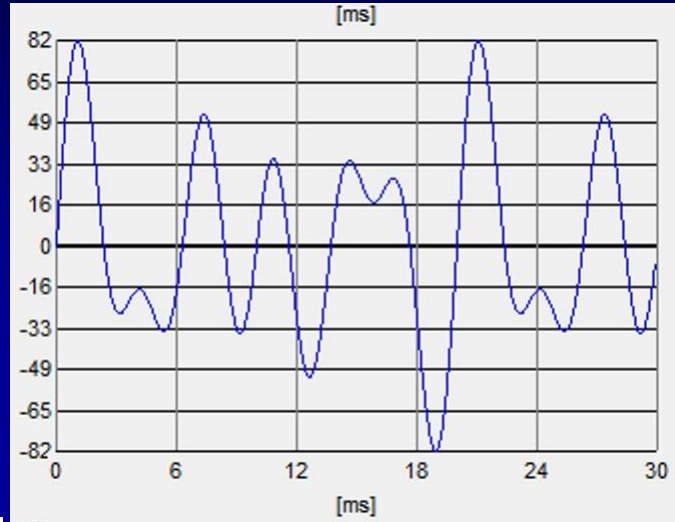
gdzie $n = 0, 1, 2, \dots$; a_n i b_n – współczynniki liczbowe, ω – częstotliwość

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos(n\omega t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \sin(n\omega t) dt$$



Co to oznacza w praktyce?



Transformata Fouriera

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{f}(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

$$\hat{f}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$



Rozdzielczość i rozmiary obrazu

Rozdzielczość obrazu

Rozdzielczość obrazu opisuje liczbę punktów obrazu na jednostkę długości. Określa się ją w jednostkach **dpi** (**d**ot **p**er **i**nch - liczba punktów na cal).

Jakość obrazu jest funkcją rozdzielczości. Istnieje silna (kwadratowa) zależność pomiędzy rozdzielczością obrazu, a rozmiarem pliku graficznego z obrazem.

Rozmiary obrazów zwykle określa się liczbą pixeli w pionie i w poziomie.



Rozdzielczość

UWAGA!!!

Często pojęcie rozdzielczości obrazu mylone jest ze zdolnością rozdzielczą urządzenia obrazującego.

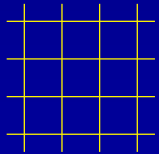
Zdolność rozdzielcza

Zdolność rozdzielcza urządzenia określa jego zdolność do odróżnienia dwóch blisko położonych punktów. Opisuje więc możliwości urządzenia pod względem obrazowania detali. Mierzy się ją w jednostkach długości, albo kąta.

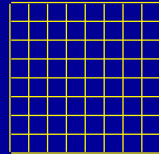


Rozdzielczość

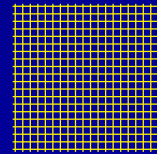
10 dpi



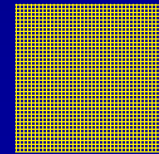
20 dpi



50 dpi



100 dpi



1 cm



Rozdzielczość

Monitor komputera

Przekątna monitora: 15"

Rozmiary obrazu w MS Windows 95: 800 × 600

(1000 punktów na przekątnej)

Rozdzielczość monitora: 67 dpi



Rozdzielczość

Rozdzielczości typowych urządzeń obrazujących

Monitor komputera:	ok. 70 dpi
Drukarka atramentowa:	600 dpi
Drukarka laserowa	1200 dpi
Skaner:	2000-3000 dpi

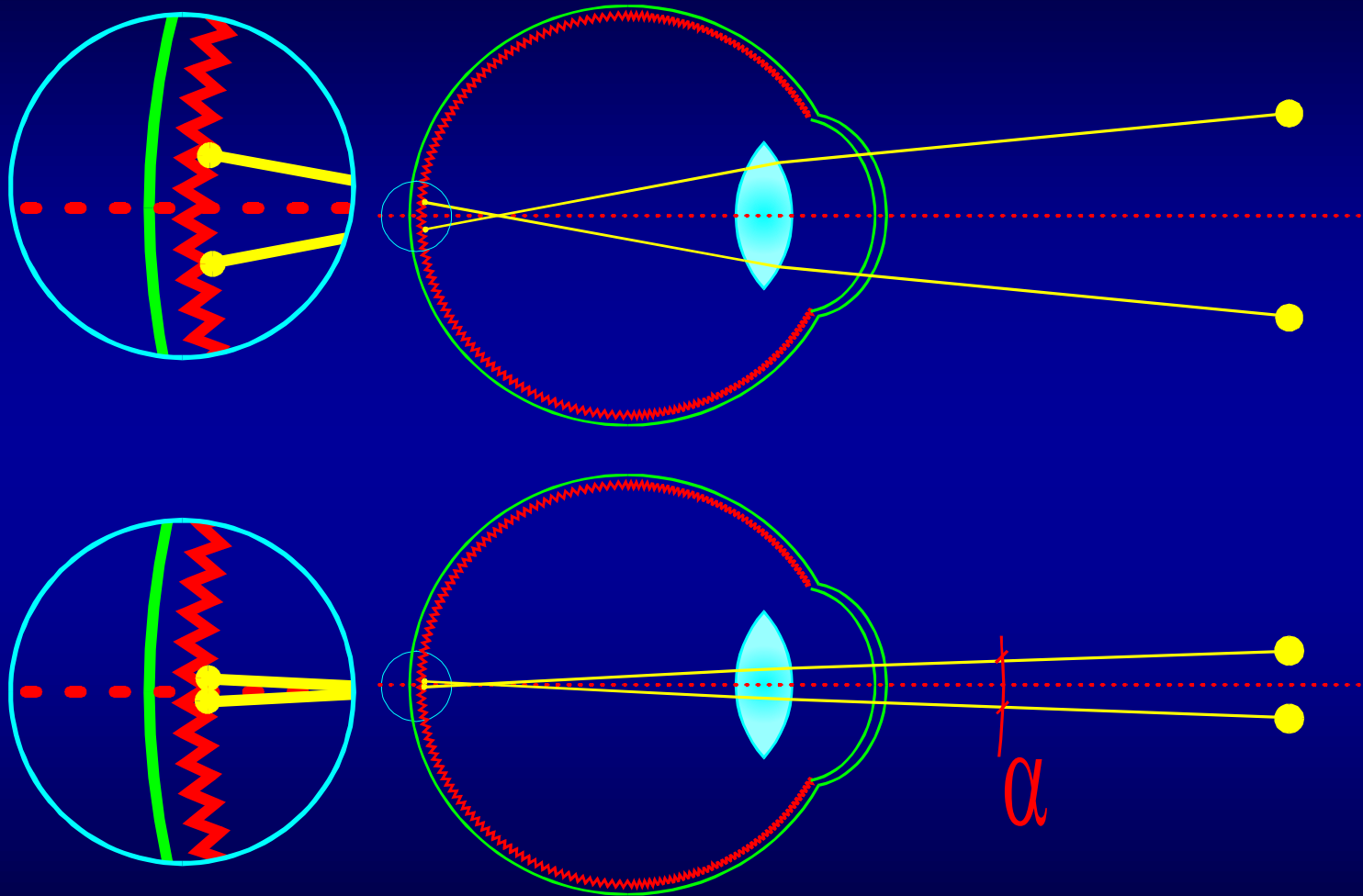


Zdolność rozdzielcza

W optyce przydatność określonego przyrządu optycznego do obserwacji obiektów o określonej odległości kątowej. Im większa jest zdolność rozdzielcza, tym bliższe sobie punkty są obserwowane jako odrębne, a nie jako pojedyncza plama.



Zdolność rozdzielcza oka



Zdolność rozdzielcza

Zdolność rozdzielcza może być rozumiana szerzej jako zdolność urządzenia pomiarowego do odróżnienia dwóch oddzielnych sygnałów impulsowych.



