

Detekcja promieniowania jonizującego

Waldemar Kot

Zachodniopomorskie Centrum Onkologii

w Szczecinie

Przyrządy dozymetryczne

- są to podstawowe narzędzia do bezpośredniego określania stopnia zagrożenia przy pracy ze źródłami promieniowania.

Ponieważ żaden ze zmysłów człowieka nie wykrywa obecności promieniowania, bezpieczne warunki pracy może zapewnić tylko dobrze działający sprzęt pomiarowy w rękach umiającego się nim posługiwać dozymetrysty.

Dozymetryczne przyrządy pomiarowe przedstawiają wartość jedynie wtedy, gdy

1. są umiejętnie użytkowane,
2. dobrane odpowiednio do potrzeb,
3. właściwie konserwowane,
4. systematycznie wzorcowane

Nawet najlepsze przyrządy nie spełnią swej roli, jeśli użytkujący je nie będą dobrze znali zasad ich działania i właściwych warunków eksploatacji.

Równie ważna jest umiejętność interpretacji wskazań.

Gdzie zatem wykorzystywane są przyrządy dozymetryczne ?

1. W celach naukowo – badawczych,
2. W medycynie (zwłaszcza w radioterapii, medycynie nuklearnej, rentgenoskopii czy laboratoriach do ochrony osobistej, sprawdzania osłon przed promieniowaniem jonizującym czy jako urządzenia kontrolno-sygnalizacyjne)
3. W przemyśle (szczególnie w radiografii przemysłowej do sprawdzania osłon przed promieniowaniem jonizującym czy sprawdzania narażenia personelu)
4. Zakłady górnicze (m.in. wykrywanie i pomiary radioaktywnych źródeł w kopalniach)

5. Zakłady sterylizacji (wykrywanie i pomiar dawek promieniowania podczas sterylizacji radiacyjnej przedmiotów w tym żywności)
6. Służby państwowe (m.in. do wykrywania materiałów radioaktywnych w środowisku naturalnym, miejscach stanowiących zagrożenie publiczne tzw. Bramki dozymetryczne na granicach i portach czy podczas kontroli bagaży)

Klasyfikacja przyrządów dozymetrycznych

Rozróżnia się trzy podstawowe grupy przyrządów dozymetrycznych:

- do pomiarów dawki
- do pomiarów mocy dawki,
- do pomiarów skażeń promieniotwórczych.

Detektory promieniowania jonizującego

Podstawowe typy detektorów

Bierne

- detektory termoluminescencyjne
- detektory
- elektrometry

Czynne

- detektory gazowe
- liczniki scyntylicyjne
- detektory półprzewodnikowe

Śladowe

- klisze rentgenowskie
- emulsje jądrowe
- komory Wilsona

W zależności od rodzaju i energii mierzonego promieniowania w przyrządach tych stosuje się różne detektory tj. elementy do przekształcania promieniowania na prąd elektryczny.

Wynika stąd podział przyrządów na mierniki promieniowania alfa, beta, gamma, X oraz promieniowania neutronowego.

W zależności od konstrukcji rozróżniamy przyrządy stacjonarne i przenośne, przyrządy zasilane z sieci lub bateryjne.

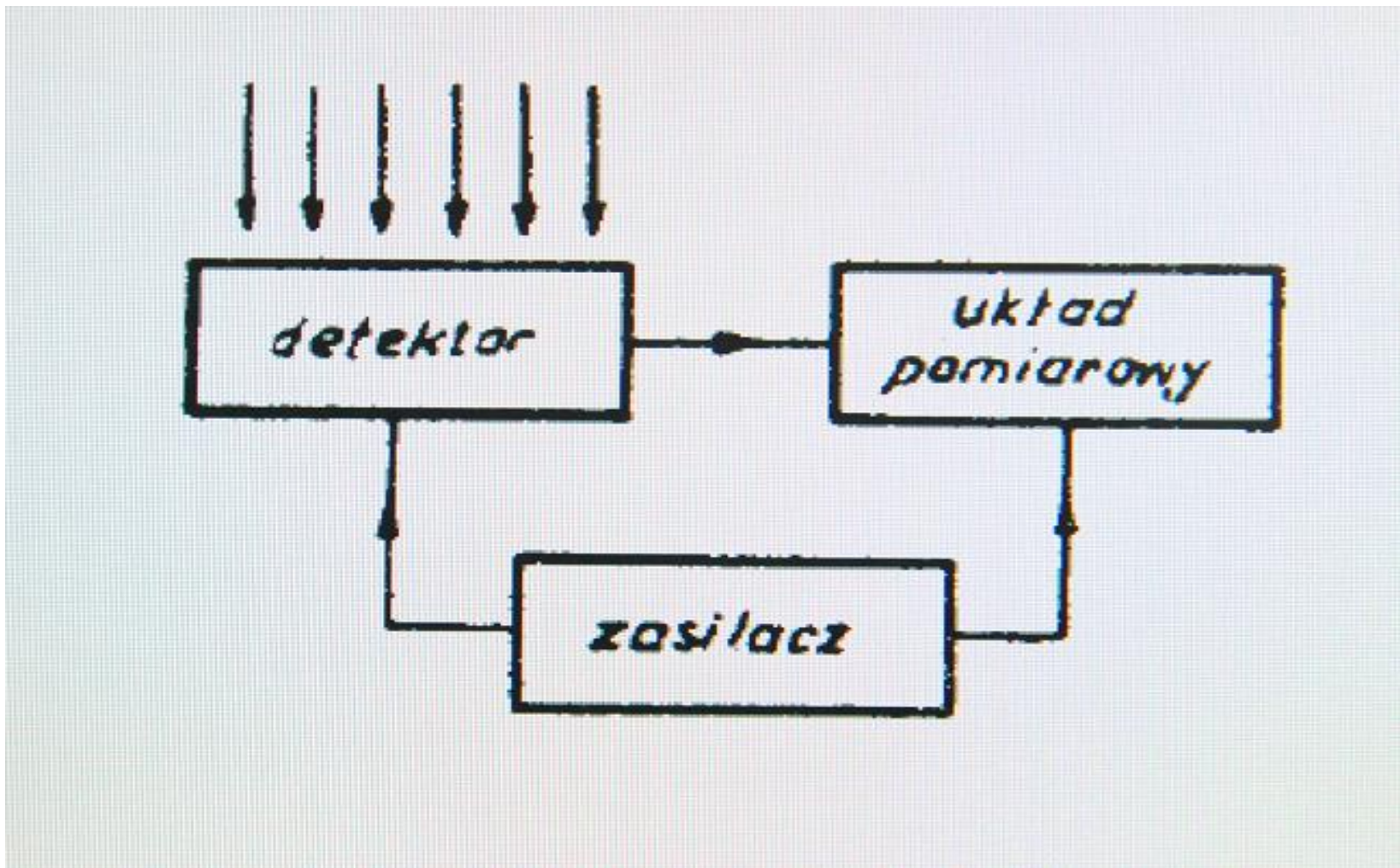
Przyrządy nie wyskalowane lub nie posiadające urządzenia pomiarowego nazywamy **wskaznikami**.

Przy ich pomocy możemy jedynie stwierdzić obecność promieniowania w danym obszarze i orientacyjnie określić jego natężenie.

Ogólne zasady budowy przyrządów dozymetrycznych

Przyrządy dozymetryczne można schematycznie przedstawić w układzie blokowym jako złożone z trzech głównych elementów:

- detektora promieniowania
- właściwego urządzenia pomiarowego
- zasilacza



Schemat blokowy przyrządu dozymetrycznego

Poszczególne zespoły układu mogą być ze sobą w różny sposób powiązane.

Najczęściej spotyka się wszystkie trzy zespoły umieszczone w jednej wspólnej obudowie lub też układ pomiarowy i zasilacz obudowane razem, z wydzielonym układem detektora.

Oczywiście spotykane są również inne kombinacje.

Podstawowym elementem przyrządu dozymetrycznego jest **detektor promieniowania**.

Jest to urządzenie, którego działanie oparte jest na zjawisku jonizacji zachodzącej pod wpływem promieniowania w gazach, cieczach lub ciałach stałych i przekształcające to promieniowanie w sygnały elektryczne.

Rozróżnia się dwa podstawowe typy detektorów:

- detektory impulsowe,
- detektory prądowe.

W pierwszym przypadku kwanty lub cząstki jonizujące wytwarzają w detektorze krótkotrwałe impulsy elektryczne, w drugim zaś stały przepływ prądu.

Ilości wytwarzanych impulsów w jednostce czasu czy też natężenie prądu stałego zależy od ilości kwantów lub cząstek przechodzących do obszaru czynnego detektora.

Są to tzw. detektory aktywne, tj. takie w których informacja o przejściu cząstki pojawia się natychmiast. Stosowane są też detektory pasywne (całkujące), tj. takie w których informacja jest zbierana i dopiero dodatkowa obróbka ujawnia zgromadzone dane. np. detektory fotometryczne, śladowe czy termoluminescencyjne (TLD).

S o n d y

Detektor umieszczony w specjalnej obudowie połączonej kablem z główną częścią aparatu nazywa się **sondą pomiarową**

Konstrukcja taka ze względu na mały ciężar i niewielkie wymiary znacznie ułatwia pracę. Pozwala bowiem na zbliżanie detektora do trudno dostępnych miejsc badanego obszaru. W niektórych przyrządach dozymetrycznych stosuje się sondy wymienne, przystosowywane do pomiarów różnego rodzaju promieniowania. Oprócz detektora sonda może zawierać również wstępny układ wzmacniający oraz część zasilacza układu pomiarowego.

Kształt i wielkość sond są różne w zależności od rodzaju i ilości użytych detektorów, przeznaczenia i rodzaju przyrządu. Sonda znajduje się w obudowie zabezpieczającej przed wpływem czynników zewnętrznych jak kurz, wilgoć czy światło. Ilość detektorów w sondzie oraz wielkość ich powierzchni zależy od przeznaczenia przyrządu.

Zasilanie

Wszystkie przyrządy dozymetryczne działające na zasadzie wykorzystywania zjawisk elektrycznych powstających pod wpływem promieniowania.

Muszą zatem być zasilane energią elektryczną pochodzącą z baterii prądu stałego lub z sieci energetycznej.

Układ pomiarowy

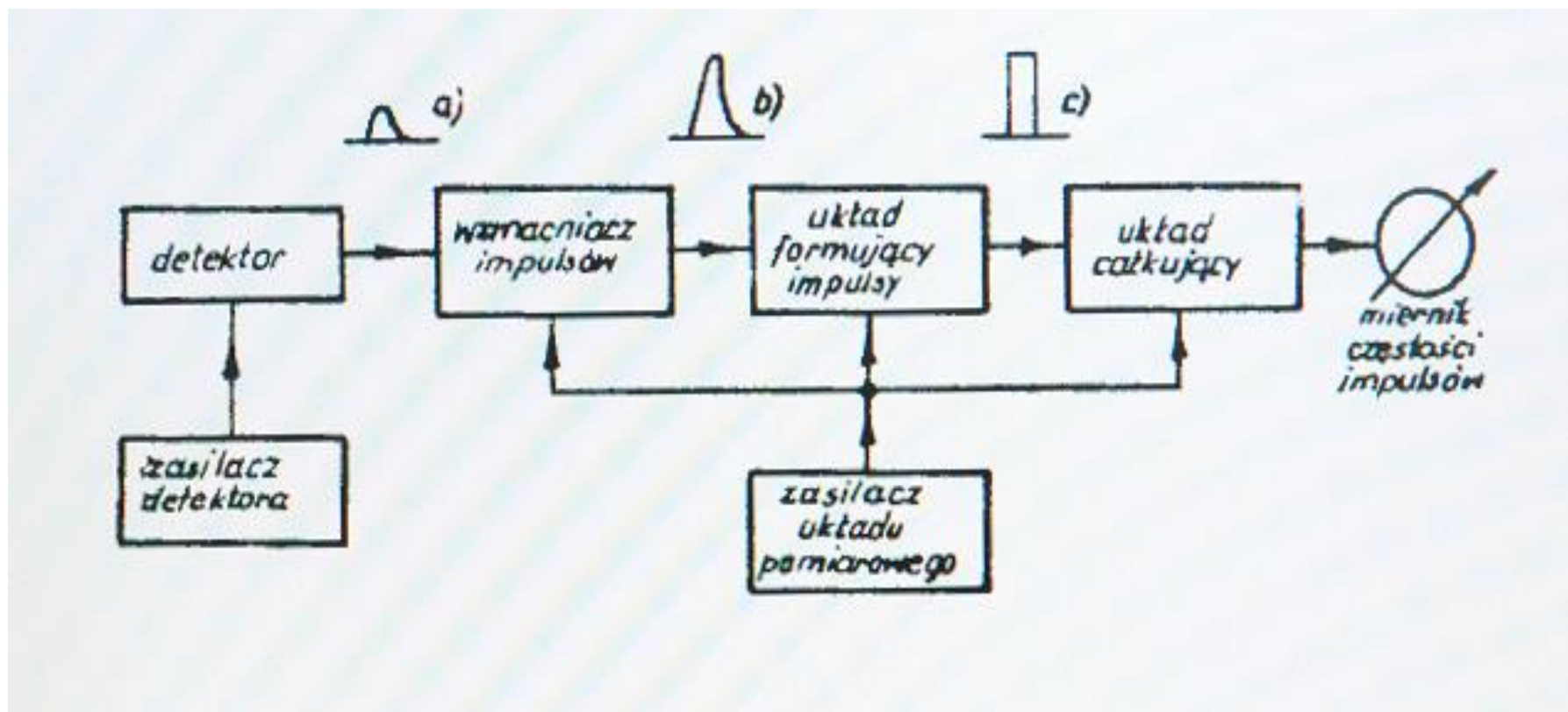
W zależności od rodzaju zastosowanego detektora promieniowania rozróżniamy dwie podstawowe metody pomiarowe:

- metodę impulsową
- metodę prądową

Na rysunku przedstawiono blokowy układ miernika z detektorem impulsowym.

Powstałe w detektorze impulsy elektryczne posiadają zazwyczaj małą amplitudę dlatego należy je odpowiednio wzmacnić.

Ponadto impulsy te mają różną amplitudę i czas trwania. Z tych względów w skład układów pomiarowych wchodzi, wzmacniacz oraz tzw. układ formujący, w którym następuje normalizacja impulsów.



Blokowy układ miernika z detektorem impulsowym

a) impuls z detektora

b) impuls po wzmacnieniu

c) impuls po uformowaniu

Wzmocnione i ukształtowane impulsy można zliczać przy pomocy elektronicznych układów zliczających zwanych **przelicznikami**.

Metoda ta jest najczęściej stosowana w dokładnych pomiarach laboratoryjnych.

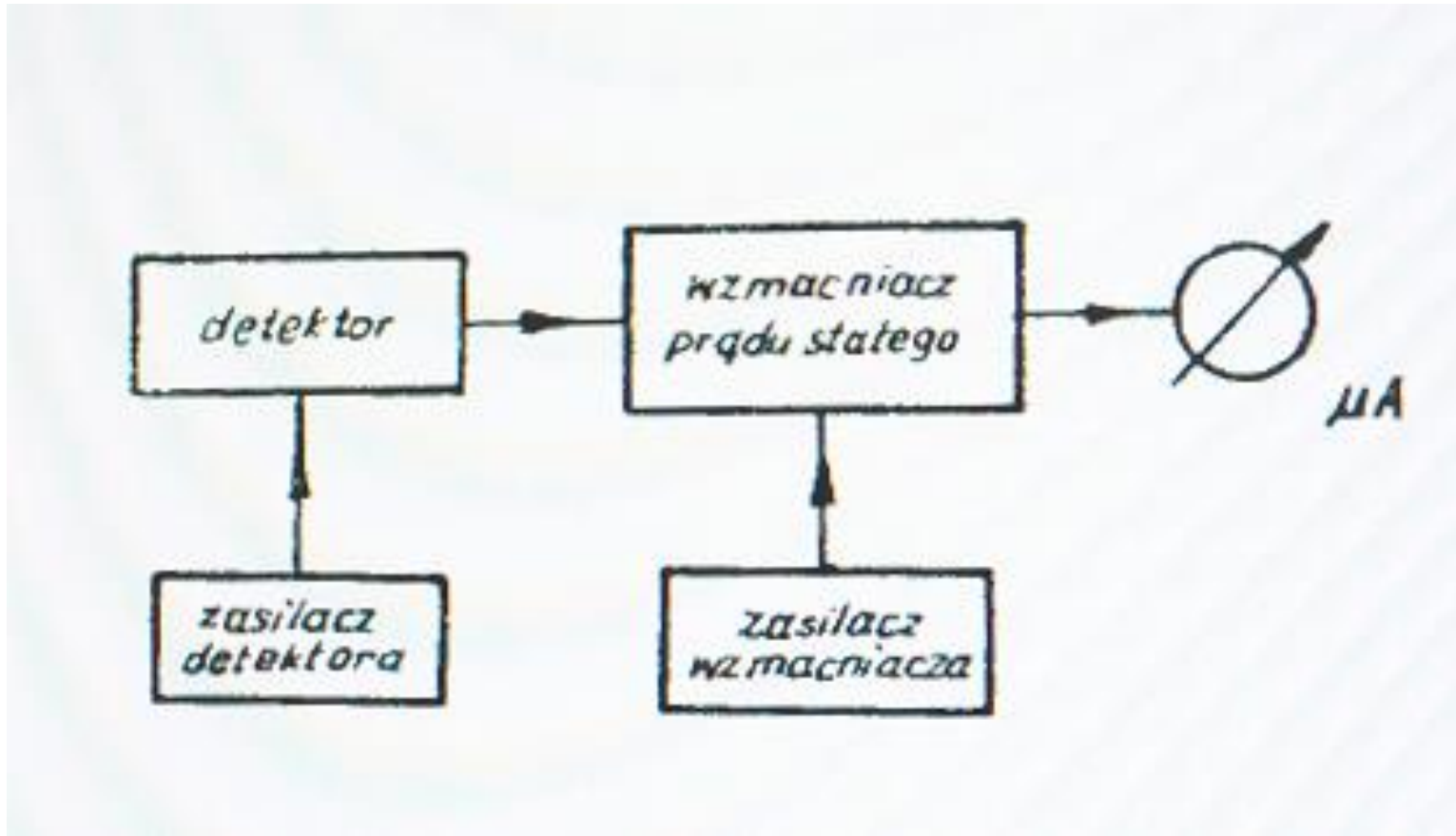
Jest jednak czasochłonna i nie pozwala na natychmiastowe określenie ilości impulsów wytwarzanych w jednostce czasu.

Przy pomiarach mocy dawki czy też wielkości skażeń promieniotwórczych bardzo wygodny jest bezpośredni odczyt ze wskaźnika, pokazującego bezpośrednio średnią ilość impulsów wytwarzanych w ciągu np. 1 sekundy lub w ciągu 1 minuty.

Odczyt taki jest możliwy dzięki zastosowaniu układu całkującego zwanego również **integratorem**.

Układ pomiarowy zasilany jest zazwyczaj przy pomocy dwóch zasilaczy prądu stałego. Pierwszy z nich dostarcza wysokiego napięcia zasilającego detektor, a drugi dostarcza niskiego napięcia dla układu pomiarowego.

Układ miernika z detektorem prądowym



Blokowy układ miernika z detektorem prądowym

Na rysunku przedstawiono blokowy układ miernika z detektorem prądowym. Prąd powstający w obwodzie detektora pod wpływem promieniowania jonizującego jest rzędu $10^{-9} \div 10^{-11}$ A. Bezpośredni pomiar jest więc bardzo trudny. Z tego względu wzmacnia się go we wzmacniaczu prądu stałego do wielkości rzędu kilku μ A. Mierniki takie stosowane są do pomiarów dużych mocy dawek.

Detektory promieniowania

Detektory promieniowania są to urządzenia, których działanie oparte jest na zjawiskach jonizacji zachodzącej w gazach, cieczach i ciałach stałych.

Omówione zostaną detektory, których działanie oparte jest na jonizacji gazów oraz zachodzących pod jej wpływem zjawiskach w ciałach stałych.

Detektory gazowe

Do grupy tej zaliczane są następujące typy detektorów:

- a - komory jonizacyjne,
- b - liczniki proporcjonalne,
- c - liczniki Geigera - Müllera.

Cząstki lub kwanty promieniowania powodują jonizację gazów. Z elektrycznie obojętnych atomów zostają oderwane elektrony. Oderwany od atomu elektron stanowi jon ujemny. Atom zaś pozbawiony elektronu staje się - jodem dodatnim.

Ilość jonów powstałych w napromienionym obszarze jest proporcjonalna do ilości kwantów lub cząstek przenikających przez ten obszar.

Jeśli w zjonizowanym obszarze umieścimy dwie elektrody i przyłączymy je do źródła napięcia stałego, między elektrodami powstanie pole elektryczne.

Pod wpływem różnicy potencjałów jony zaczną wędrować w kierunku elektrod wzdłuż linii sił pola elektrycznego.

Elektrony, jako jony ujemne, przyciągane będą przez elektrodę naładowaną dodatnio - anodę, a jony dodatnie - przez elektrodę naładowaną ujemnie - katodę.

Wytworzone wskutek jonizacji elektrony mogą łączyć się z jonami dodatnimi tworząc obojętne atomy gazu.

Zjawisko to nosi nazwę rekombinacji i jest zjawiskiem szkodliwym. Zachodzi ono przy małych napięciach polaryzujących elektrody, wtedy gdy szybkość wędrówki jonów jest mała.

Ze wzrostem napięcia, a więc ze wzrostem prędkości przepływu jonów prawdopodobieństwo rekombinacji jest coraz mniejsze i coraz większa ilość jonów dociera do elektrod.

Przy pewnym określonym napięciu, zwanym **napięciem nasycenia**, prawie wszystkie wytworzone przez promieniowanie jony dochodzą do elektrod. Powodują one przepływ prądu w obwodzie. Ten zakres pracy detektora gazowego wykorzystywany jest w tzw. komorach jonizacyjnych.

Zwiększenie napięcia między elektrodami powoduje wzrost szybkości, a więc i energii jonów.

Począwszy od pewnej energii jony zderzając się z obojętnymi atomami gazu powodują ich jonizację. Jest to tzw. **jonizacja wtórna**. Wytworzone jony wtórne są przyspieszane w polu elektrycznym i po osiągnięciu odpowiedniej energii mogą jonizować dalsze atomy gazu.

Ilość dochodzących do elektrod jonów jest większa niż ilość jonów pierwotnych wytworzonych przez jonizujące cząstki promieniowania.

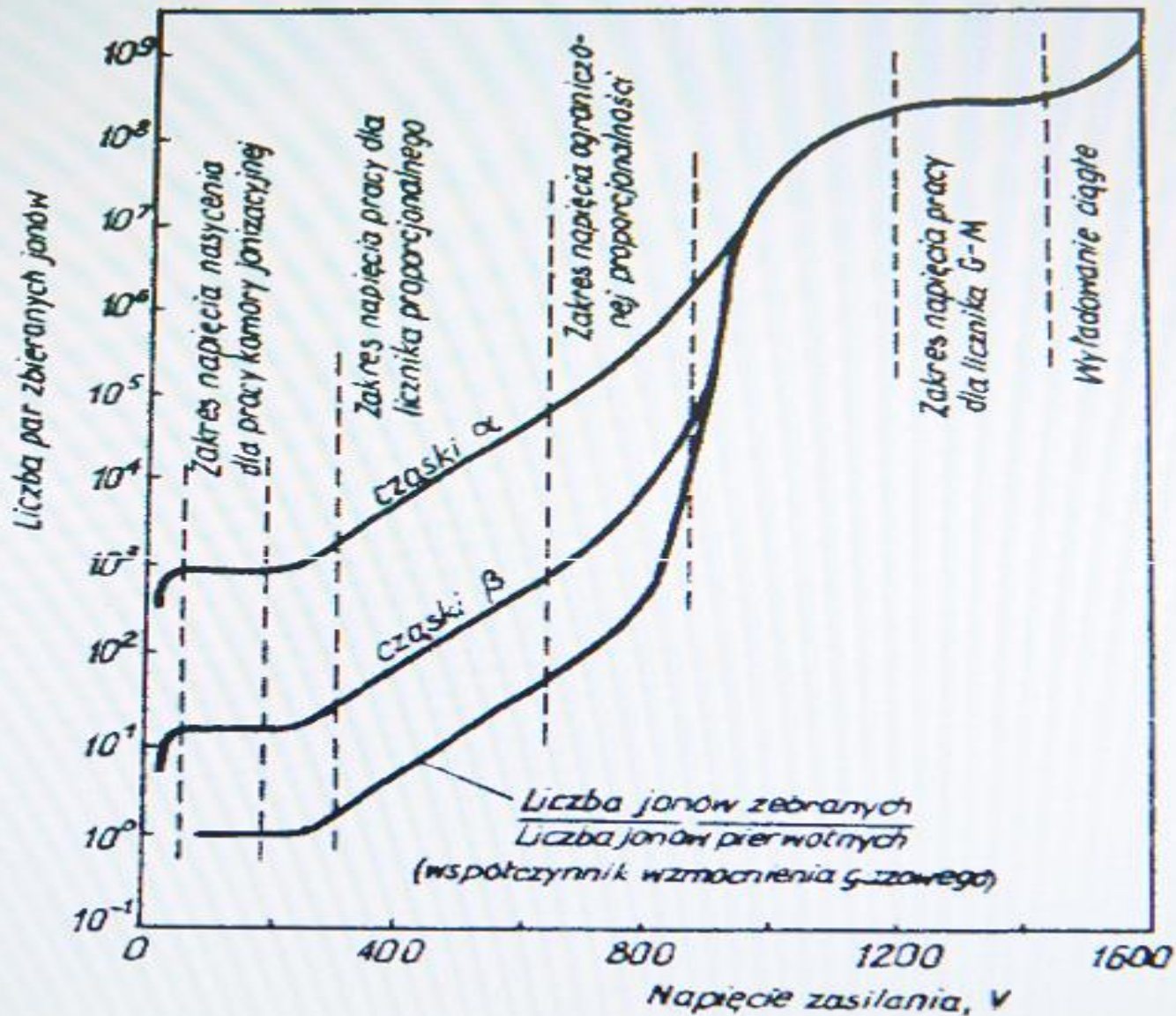
Stosunek ilości zbieranych przez elektrody jonów N do ilości jonów pierwotnych N_0 nazywa się współczynnikiem wzmocnienia gazowego:

$$\mathbf{N / N_0 = K}$$

Im większa jest różnica potencjałów między elektrodami, tym większy jest współczynnik wzmocnienia gazowego.

Jony nabierają niezbędnej do jonizacji energii na krótszej drodze i ilość aktów jonizacji wtórnej zachodzącej na drodze jonu jest większa.

Ten zakres pracy detektora gazowego nazywa się zakresem proporcjonalności, ponieważ ilość jonów zbieranych na elektrodach, a więc wielkość sygnału elektrycznego wychodzącego z detektora jest proporcjonalna do jonów pierwotnych wytwarzanych przez cząstkę promieniowania.



Charakterystyka idealnego detektora gazowego..

Detektory pracujące w tym zakresie zwane są **licznikami proporcjonalnymi**. Wykorzystywać je można również do pomiarów jakościowych promieniowania, a więc do pomiarów rozkładu energii w widmie promieniowania, np. promieniowania α czy też β , gdyż ilość wytwarzanych jonów pierwotnych jest zależna od energii cząstki.

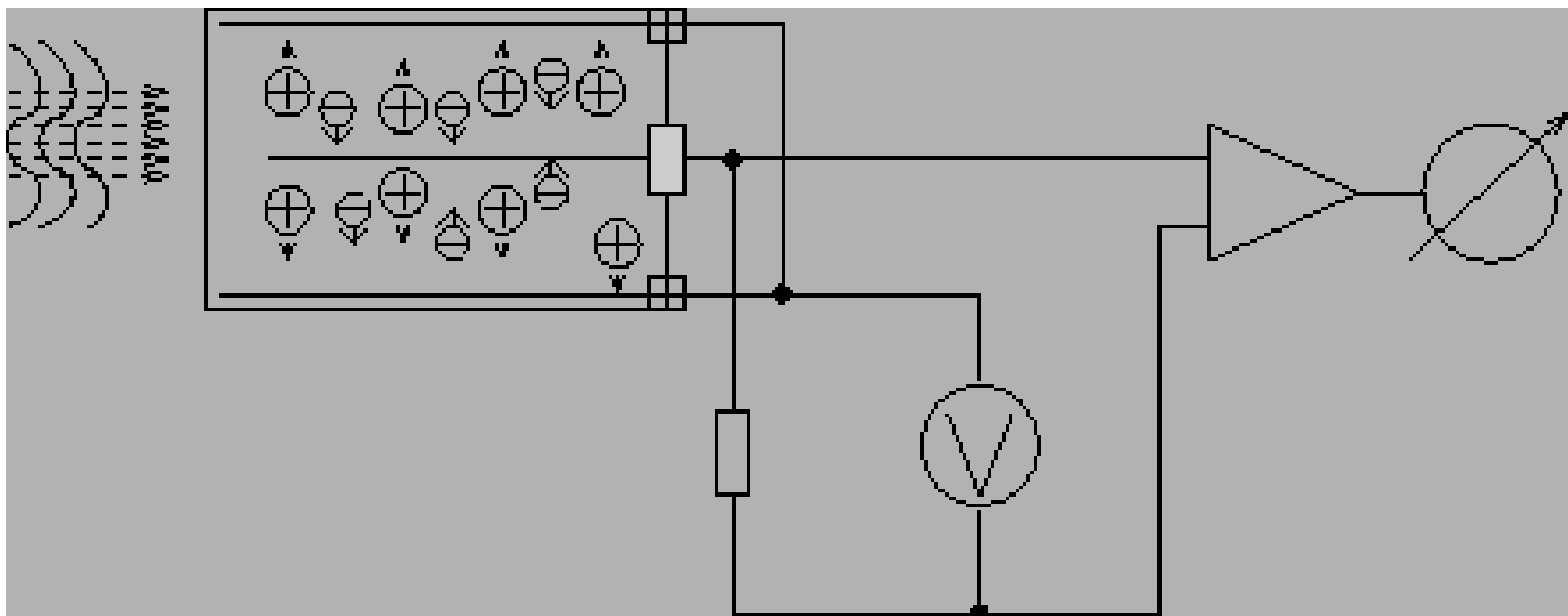
Dalszy wzrost napięcia między elektrodami detektora powoduje dość raptowne zwiększenie wzmocnienia gazowego. Przechodzimy przez obszar ograniczonej proporcjonalności i osiągamy zakres, w którym pracują liczniki Geigera-Müllera. W zakresie tym wzmocnienie gazowe jest bardzo duże i przestaje istnieć proporcjonalność między ilością par jonów początkowych i jonów zbieranych na elektrodach. Zjawisko to znane jest pod nazwą **jonizacji lawinowej**.

Komory jonizacyjne

Najwcześniej opracowanymi i stosowanymi detektorami promieniowania były komory jonizacyjne.

Komora jonizacyjna jest to zbiornik wypełniony powietrzem lub odpowiednim gazem pod ciśnieniem normalnym lub zwiększonym, posiadający dwie wbudowane elektrody, przy czym jedną z elektrod może stanowić sama obudowa komory.

Wielkość i kształt, rodzaj elektrod, rodzaj gazu i jego ciśnienie zależą od przeznaczenia komory.



Układ z komora jonizacyjną. .

Komora jonizacyjna składa się z dwóch metalowych elektrod umieszczonych na bardzo dobrych izolatorach w zamkniętej przestrzeni. Do elektrod przyłożone jest napięcie, które wytwarza pole elektryczne powodujące przepływ prądu w wyniku zbierania jonów wytworzonych w ośrodku gazowym przy przejściu przez ten ośrodek promieniowania jonizującego. Natężenie tego prądu zależy od mocy dawki ekspozycyjnej i napięcia. Wartość prądu nasycenia pozwala na określenie mocy dawki ekspozycyjnej.

Liczniki proporcjonalne

Liczniki proporcjonalne, podobnie jak komory jonizacyjne, mają najczęściej kształt cylindryczny. Mogą być wypełnione powietrzem lub specjalną mieszanką gazową. Napięcie pracy tych liczników, ze względu na konieczność uzyskania wzmocnienia gazowego, jest znacznie większe niż w komorach jonizacyjnych i wynosi od kilkuset do 2000 V w zależności od konstrukcji.

Licznik proporcjonalny jest detektorem impulsowym. Powstały pod wpływem jonizacji ładunek elektryczny zbierany jest w bardzo krótkim czasie przez elektrody i pojawia się na rezystancji obciążenia licznika w postaci impulsu napięcia proporcjonalnego do początkowej (inicjującej) ilości elektronów pierwotnych.

Czas trwania impulsu zależy od najdłużej zbieranych na katodzie ciężkich jonów dodatnich i wynosi przeciętnie 10^{-4} s.

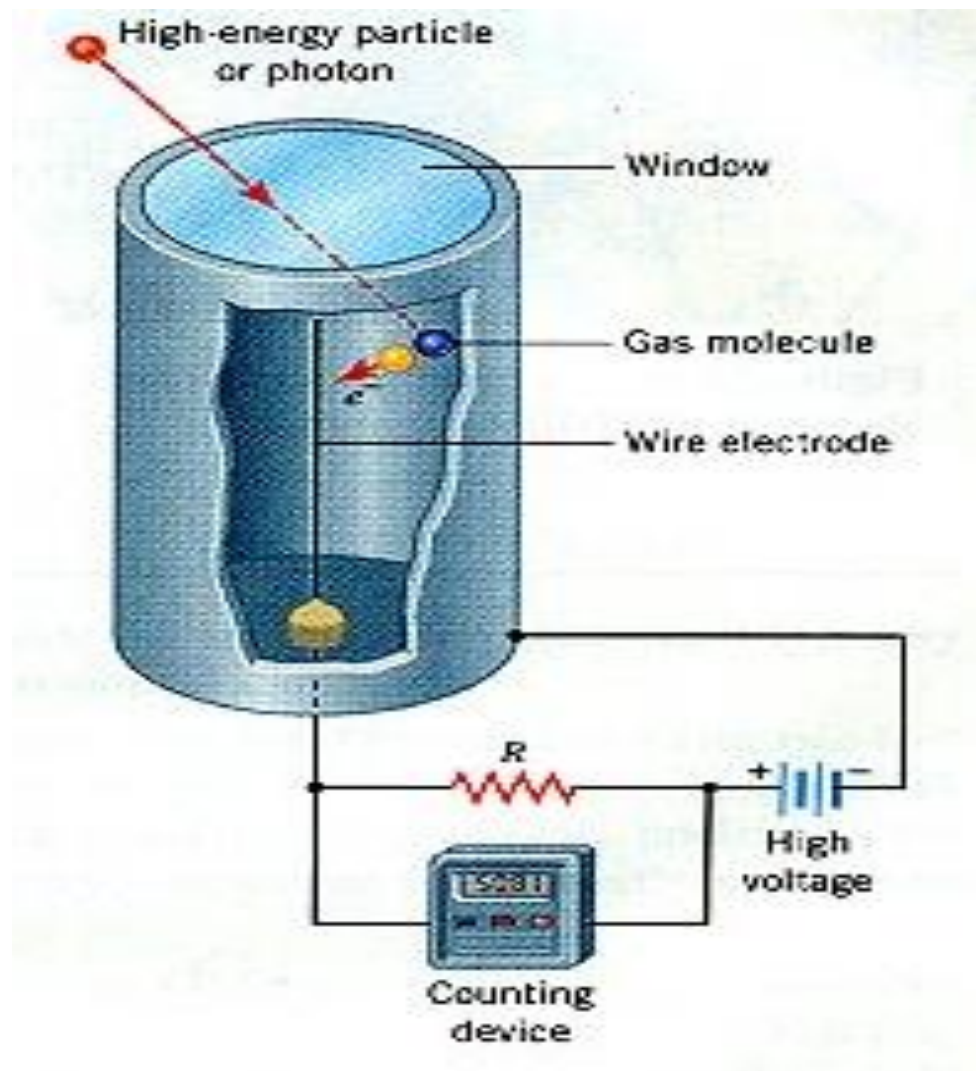
Liczniki proporcjonalne stosowane są jako detektory promieniowania cząstek α i β .

Przy zastosowaniu specjalnych przetworników można je stosować do detekcji promieniowania neutronowego.

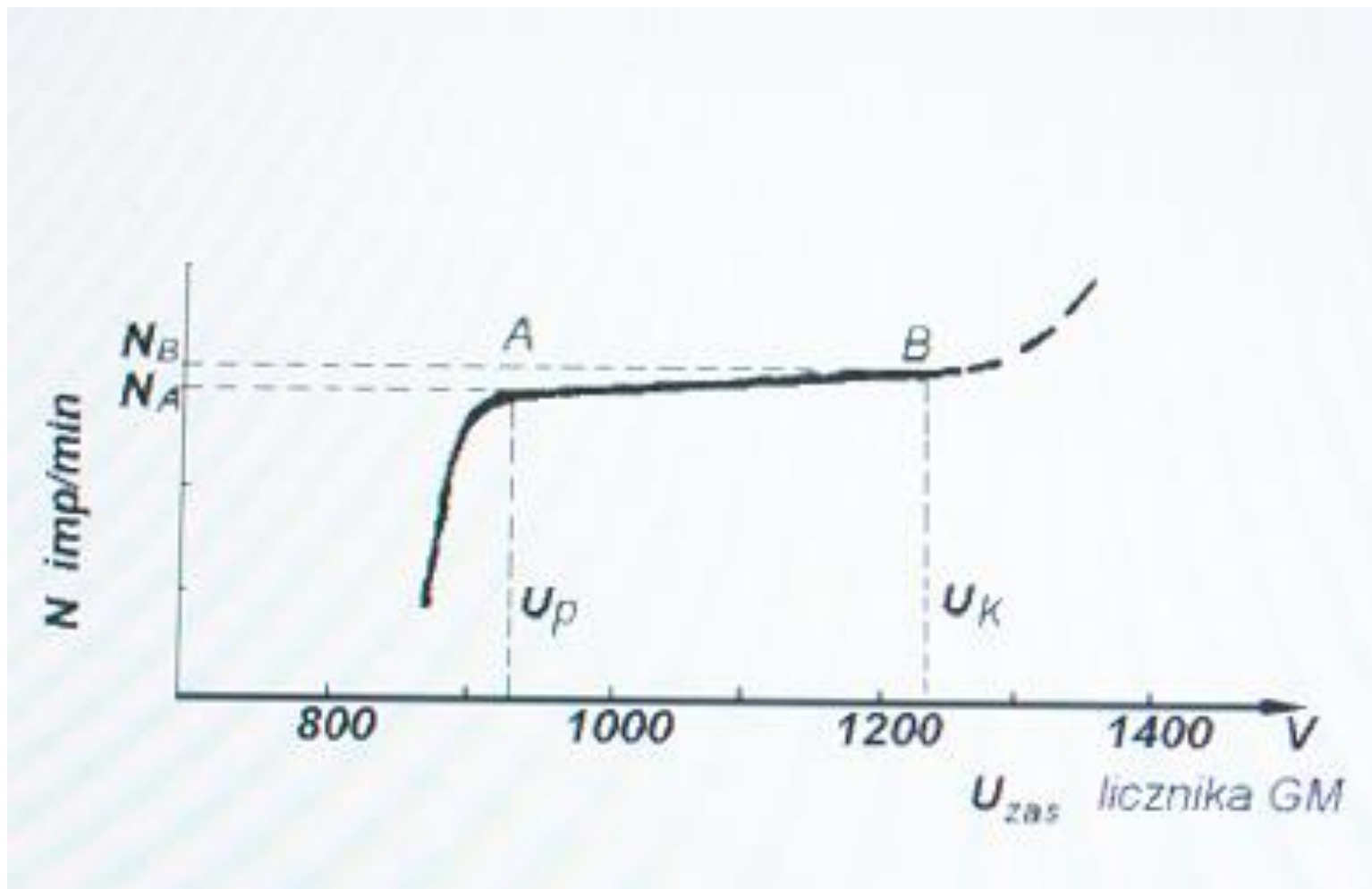
Liczniki Geigera-Müllera.

Powyżej zakresu proporcjonalności, a następnie tzw. ograniczonej proporcjonalności, przy dostatecznie dużym napięciu międzyelektrodowym osiąga się warunki fizyczne licznika, kiedy wzmocnienie gazowe jest bardzo duże i przestaje istnieć proporcjonalność między ilością par jonów początkowych i amplitudą impulsów. Zjawisko to znane jest pod nazwą **jonizacji lawinowej**. Począwszy od pewnego napięcia, zwanego napięciem progowym, impulsy otrzymywane z licznika są prawie jednakowe, niezależne od energii cząstek inicjujących ten proces.

Licznika G-M



Charakterystyka pracy licznika G-M przedstawiona jest na rysunku.



Krzywa przedstawiająca zależność liczby impulsów N powstających w liczniku od napięcia zasilającego przebiega prawie płasko od napięcia progowego U_p , aż do napięcia U_k , powyżej którego ilość impulsów gwałtownie wzrasta i przechodzi w wyładowanie ciągłe.

Odcinek A-B płaskiej charakterystyki zwanej „**plateau**” rozciąga się na przestrzeni od kilkudziesięciu do kilkuset woltów. Dla dobrych liczników nachylenie plateau, wyrażone procentowym stosunkiem wzrostu ilości impulsów na 100V przyrostu napięcia, nie powinien przekraczać $1 \div 2$ %.

Najczęściej spotykane w praktyce dozymetrycznej liczniki G-M są cylindryczne, metalowe (stal, miedź, mosiądz) lub szklane.

W licznikach metalowych katodę (-) stanowi sama metalowa obudowa.

W licznikach szklanych od wewnątrz na szkło nałożona jest warstwa przewodząca lub metalowy cylinder. Anoda (+) jest wykonana w postaci cienkiego drutu umieszczonego koncentrycznie wewnątrz licznika. Każda z elektrod jest wyprowadzona do końcówek stykowych.

Grubości ścianek liczników stosowanych do pomiarów promieniowania γ oraz promieniowania β o dużych energiach, mierzone w mg/cm^2 wynoszą przeciętnie kilkadziesiąt mg/cm^2 . Od grubości katody oraz materiału z jakiego jest wykonana zależy wydajność licznika. Określa się ją jako stosunek liczby impulsów zarejestrowanych przez licznik do liczby cząstek pierwotnych przechodzących przez objętość czynną licznika. O ile wydajność liczników G-M wyrażona w procentach, dla cząstek beta może dochodzić do 100%, to dla promieniowania gamma nie przekracza 2%.

Jonizacja w przestrzeni gazowej licznika przebiega najintensywniej w pobliżu anody, wokół której istnieje największe natężenie pola elektrycznego. Powstająca w wyniku lawinowej jonizacji (współczynnik wzmocnienia $10^8 \div 10^{10}$) chmura jonów dodatnich otaczających anodę, obniża natężenie pola wokół anody poniżej wartości progowej i powoduje, że licznik chwilowo jest niezdolny do pracy. Powoli poruszające się ciężkie jony dodatnie rozpraszają się w kierunku katody. Stopniowo wzrasta natężenie pola wokół anody, aż osiąga swą wartość pierwotną, a licznik – gotowość do dalszej pracy. Zjawisko to decyduje o tzw. zdolności rozdzielczej licznika, tj. najkrótszym czasie potrzebnym do zarejestrowania dwóch następujących po sobie cząstek.

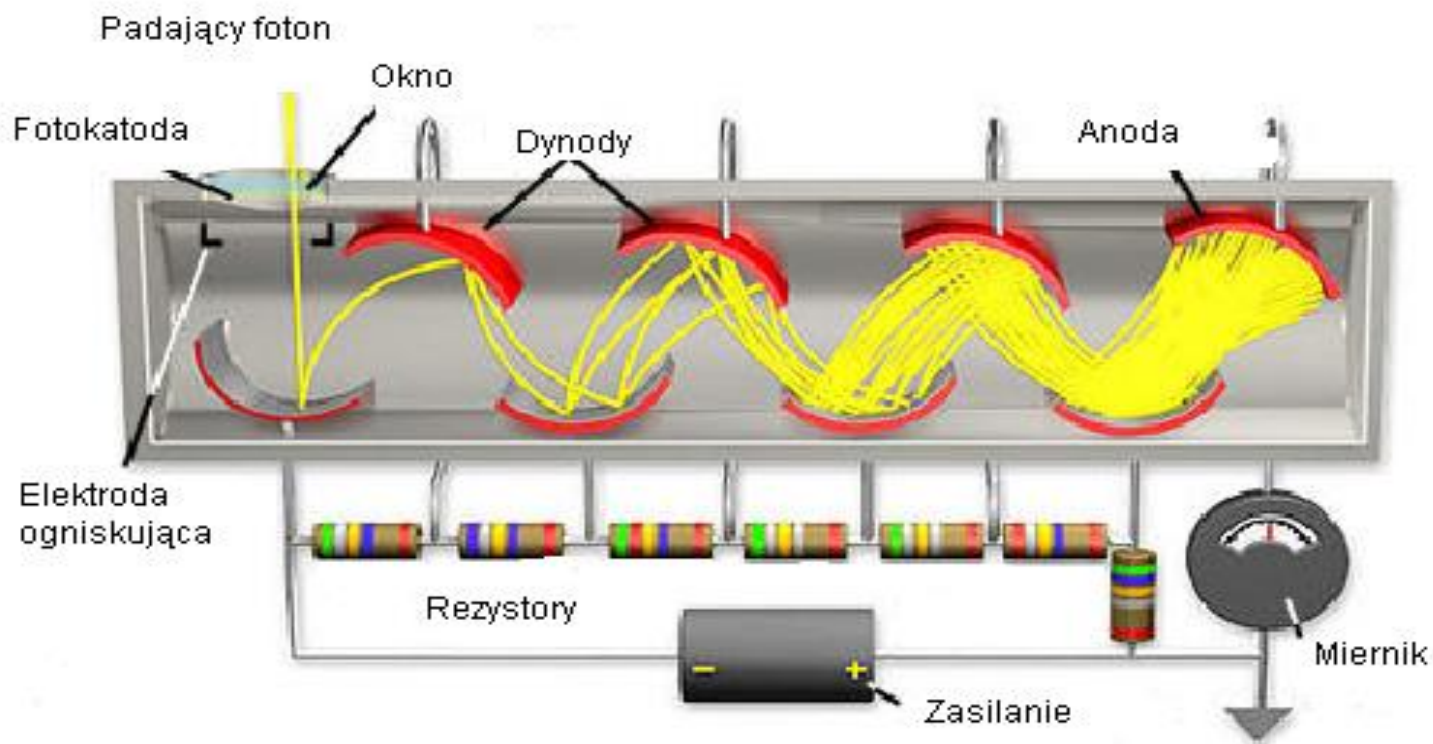
Aby wyładowanie w liczniku nie trwało nieprzerwanie, oprócz wypełniających wnętrze licznika gazów szlachetnych (neon, argon) znajdują się w nim również domieszki tzw. substancji gaszących: par alkoholi lub chlorowców (Cl_2 , Br_2 , J_2). Napięcie pracy liczników

alkoholowych wynosi $1000 \div 1400$ V przy długości plateau $200 \div 300$ V. Liczniki chlorowcowe (halogenowe) w odróżnieniu od alkoholowych odznaczają się dużą trwałością wyrażającą się ilością zliczeń rzędu $10^8 \div 10^9$ oraz stosunkowo niskim napięciem zasilania, wynoszącym zwykle $300 \div 400$ V, przy długości plateau rzędu 100 V.

Liczniki scyntylacyjne

Stosowane są do pomiarów promieniowaniem n . Działanie liczników scyntylacyjnych opiera się na wykorzystaniu zjawiska luminescencji (świecenia) występującego w niektórych substancjach pod wpływem promieniowania jonizującego. Zjawisko to spotykane jest w gazach, cieczach i ciałach stałych. Substancje te wykorzystywane są w technice pomiarowej jako detektory scyntylacyjne. Rozbłyski (scyntyłacje) świetlne wywołane promieniowaniem w scyntylatorze są rejestrowane za pomocą **fotopowielaczy** o bardzo dużej światłoczułości, przekształcających je w impulsy elektryczne.

Schemat fotopowielacza

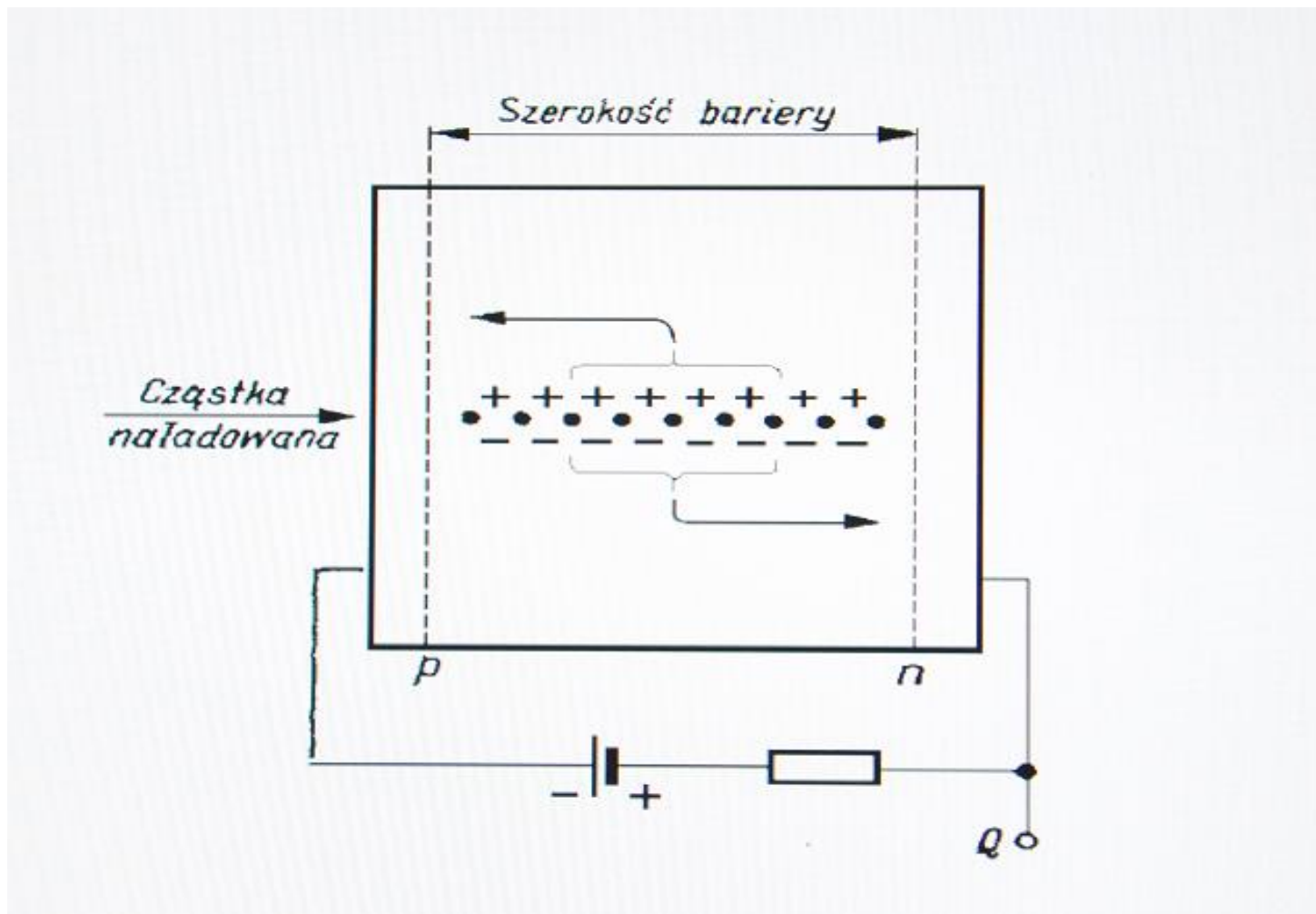


Detektory półprzewodnikowe

Detektor półprzewodnikowy stanowi dioda półprzewodnikowa typu p-n spolaryzowana w kierunku zaporowym. W normalnym stanie dioda jest zatkana tzn. nie przewodzi prądu elektrycznego.

Promieniowanie jonizujące przechodząc przez obszar czynny detektora półprzewodnikowego traci swą energię w kolejnych aktach tworzenia par elektron-dziura, które to są przyciągane przez elektrody. Podobnie jak pary elektron - jon w komorze jonizacyjnej. Efektem tego jest pojawienie się impulsu elektrycznego, proporcjonalnego do liczby ładunków, które zostały wytworzone.

Detektory półprzewodnikowe.



Półprzewodnikowe detektory mają cały szereg zalet:

1. małe wymiary,
2. liniowa zależność generowanego ładunku od energii cząstki w szerokim zakresie energii tych cząstek,
3. duża szybkość zbierania ładunku, a stąd duża czasowa zdolność rozdzielcza,
4. możliwość stosowania niskich napięć zasilających.

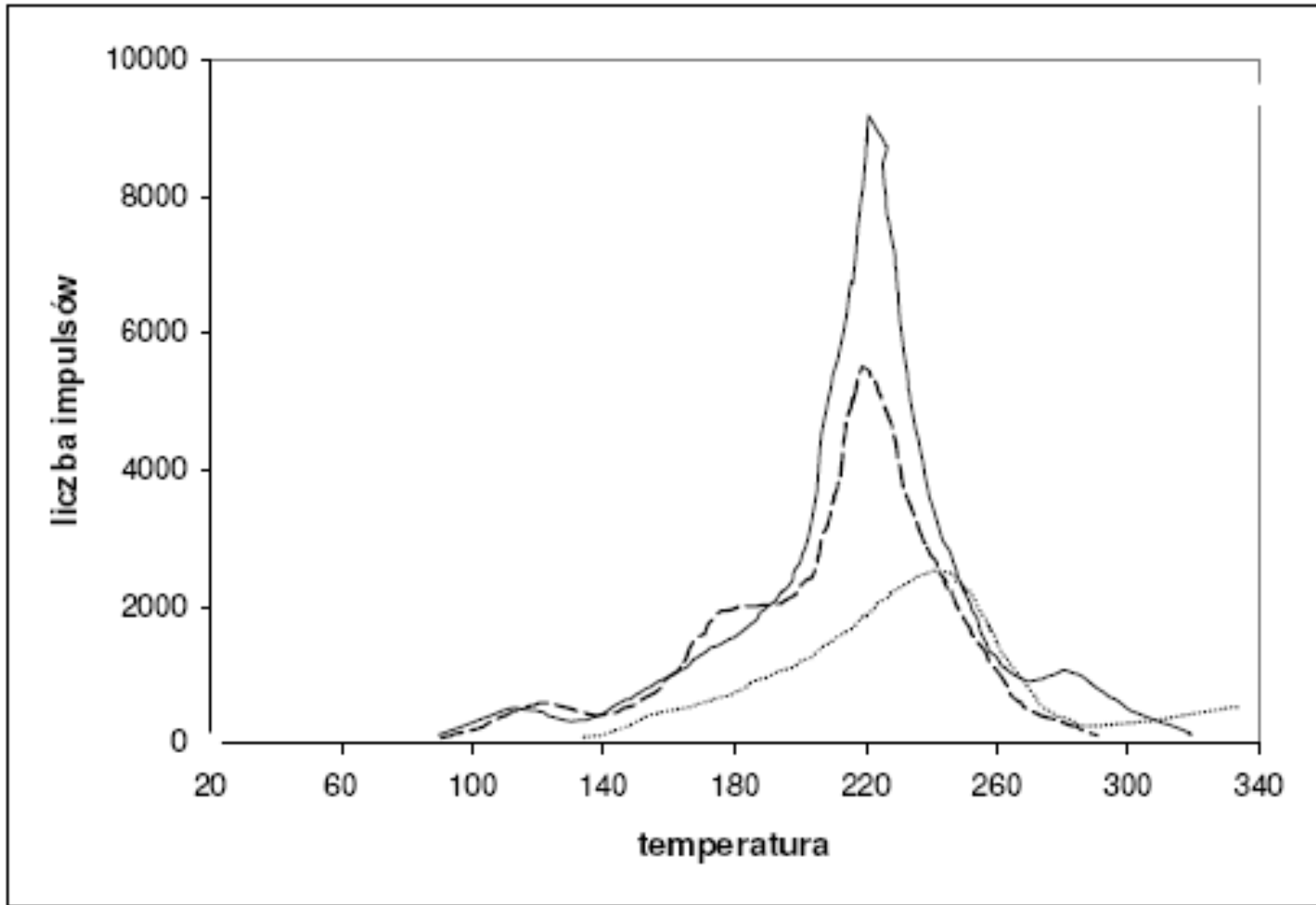
Te zalety przyczyniły się do szybkiego rozwoju produkcji półprzewodnikowych detektorów złączowych oraz do szerokiego ich stosowania.

Detektory termoluminescencyjne i fotoluminescencyjne

Zasada działania detektorów termoluminescencyjnych i fotoluminescencyjnych opiera się na tym samym zjawisku fizycznym - luminescencji. Zjawisko to polega na absorpcji energii promieniowania jonizującego przez materię oraz jej późniejszej emisji w postaci kwantów światła.

Materiały wykorzystywane w dozymetrach termoluminescencyjnych (fluorek litu aktywowany magnezem i tytanem, fluorek litu aktywowany magnezem, miedzią i fosforem), po pochłonięciu energii nie oddają jej samoistnie i do luminescencji trzeba je dodatkowo pobudzić. Dopiero wówczas materiał oddaje zaabsorbowaną wcześniej energię. Z punktu widzenia dozymetrii zastosowanie znalazły dwa:

- fotoluminescencja czyli pobudzanie światłem z zakresu promieniowania widzialnego lub ultrafioletowego oraz
- termoluminescencja czyli pobudzanie energią cieplną (podwyższoną temperaturą).



Krzywe TL najczęściej używanych dawkomierzy termoluminescencyjnych

W celu podniesienia temperatury termoluminoforów używa się specjalnych pieców, w których osiąga się temperaturę około 400°C . Analizując kształt krzywej LT (wykres zależności ilości zliczonych impulsów od temperatury) obserwujemy maksimum przy pewnej temperaturze.

Im wyższa wartość zliczonych impulsów tym większą dawkę pochłonął dozymetr.

Zasady posługiwania się przyrządami.

Szczegółowe zasady użytkowania przyrządów podane są zazwyczaj w instrukcjach obsługi. Jednakże istnieje kilka ogólnych wskazówek, które mogą być pomocne przy wykonywaniu pomiarów dozymetrycznych.

Przystępując do pomiarów powinniśmy:

- wybrać odpowiedni przyrząd lub sondę w zależności od rodzaju i energii mierzonego promieniowania.
- sprawdzić poprawność działania przyrządu za pomocą wbudowanych lub zewnętrznych źródeł promieniowania.
- sprawdzić stan baterii zasilających.
- przekonać się czy przyrząd był w obowiązującym okresie poddany wzorcowaniu (kalibracji).
- przy używaniu sond przyłączanych do radiometrów należy unikać przekroczenia napięć zasilających przewidzianych dla sondy, ze względu na możliwość jej uszkodzenia.
- pamiętać, że okienka mikowe liczników okienkowych G-M i folie światłoszczelne sond scyntylacyjnych dla promieniowania są bardzo wrażliwe na uszkodzenia mechaniczne i nie należy ich dotykać.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 23 grudnia 2002 r. (Dz. U. Nr 239, poz. 2032), w sprawie wymagań dotyczących sprzętu dozymetrycznego, określa terminy wzorcowania przyrządów dozymetrycznych.

Wzorcowanie sprzętu dozymetrycznego przeprowadza się nie rzadziej niż:

1. w przypadku sprzętu dozymetrycznego nie posiadającego kontrolnego źródła promieniotwórczego
- raz na 12 miesięcy;
2. w przypadku sprzętu dozymetrycznego posiadającego kontrolne źródło promieniotwórcze
- raz na 24 miesiące.

Wzorcowanie winno być przeprowadzone w uprawnionym laboratorium, np. w IEA w Świerku, CLOR lub Instytucie Onkologii.



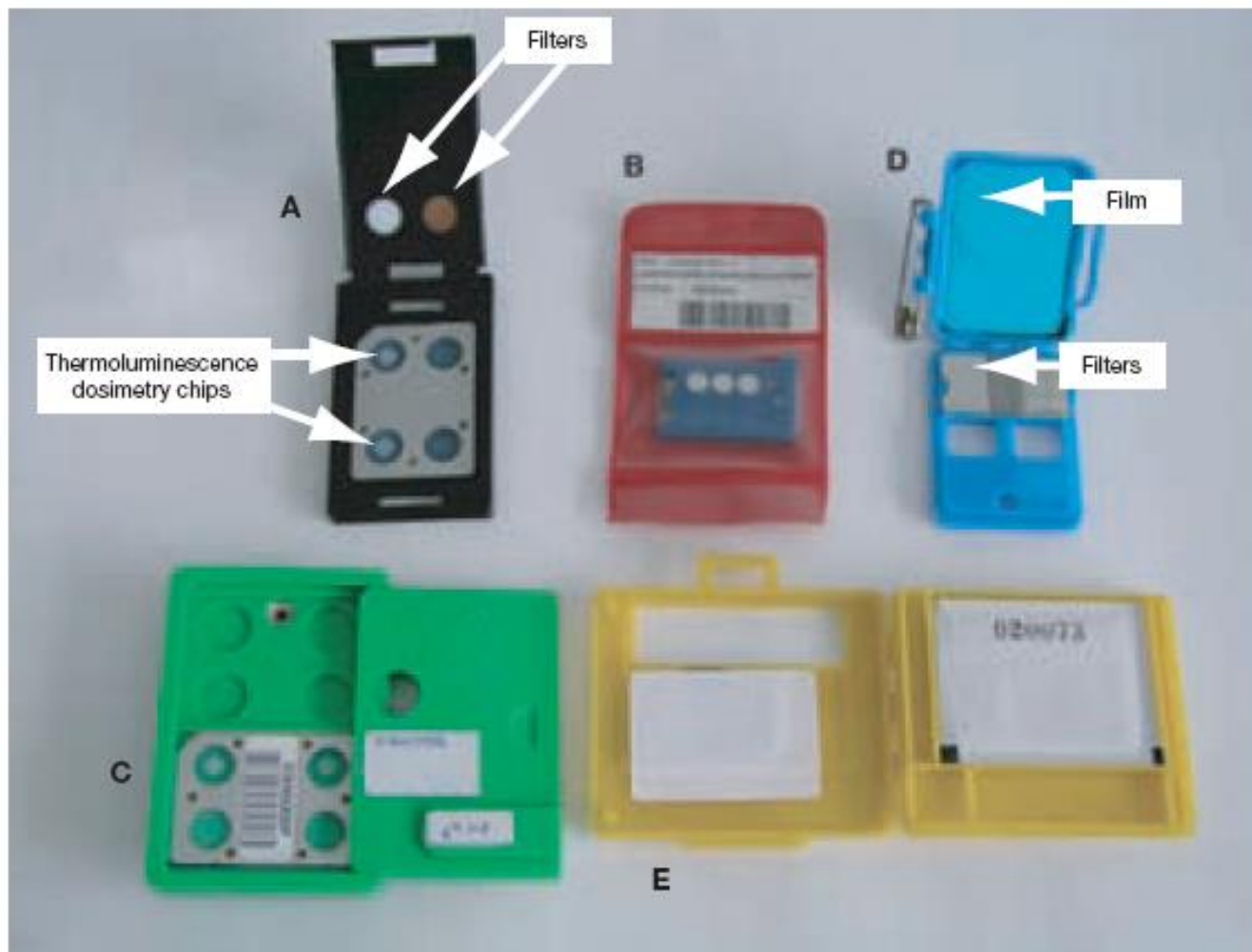
Ionization chambers

Proportional counter

GM counters



Miernik mocy równoważnika dawki dla neutronów z polietylenową otoczką termalizującą o średnicy 20 cm.



Dozymetry indywidualne: przykłady dozymetrycznych kasetek termoluminescencyjnych (A,B,C) i kaset z filmami (D,E)

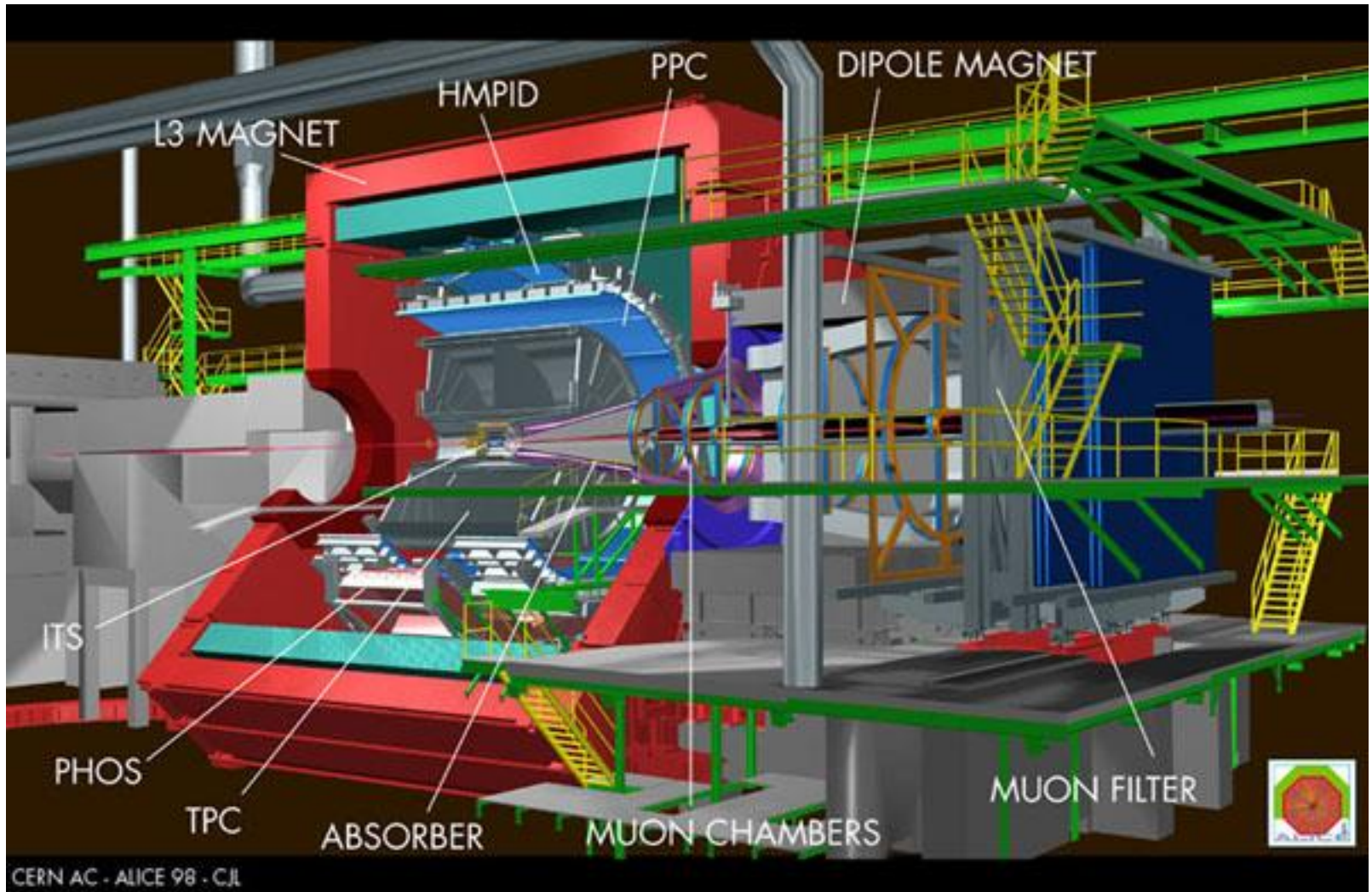


EKO-P



RKP-100





CERN

Dziękuję za uwagę