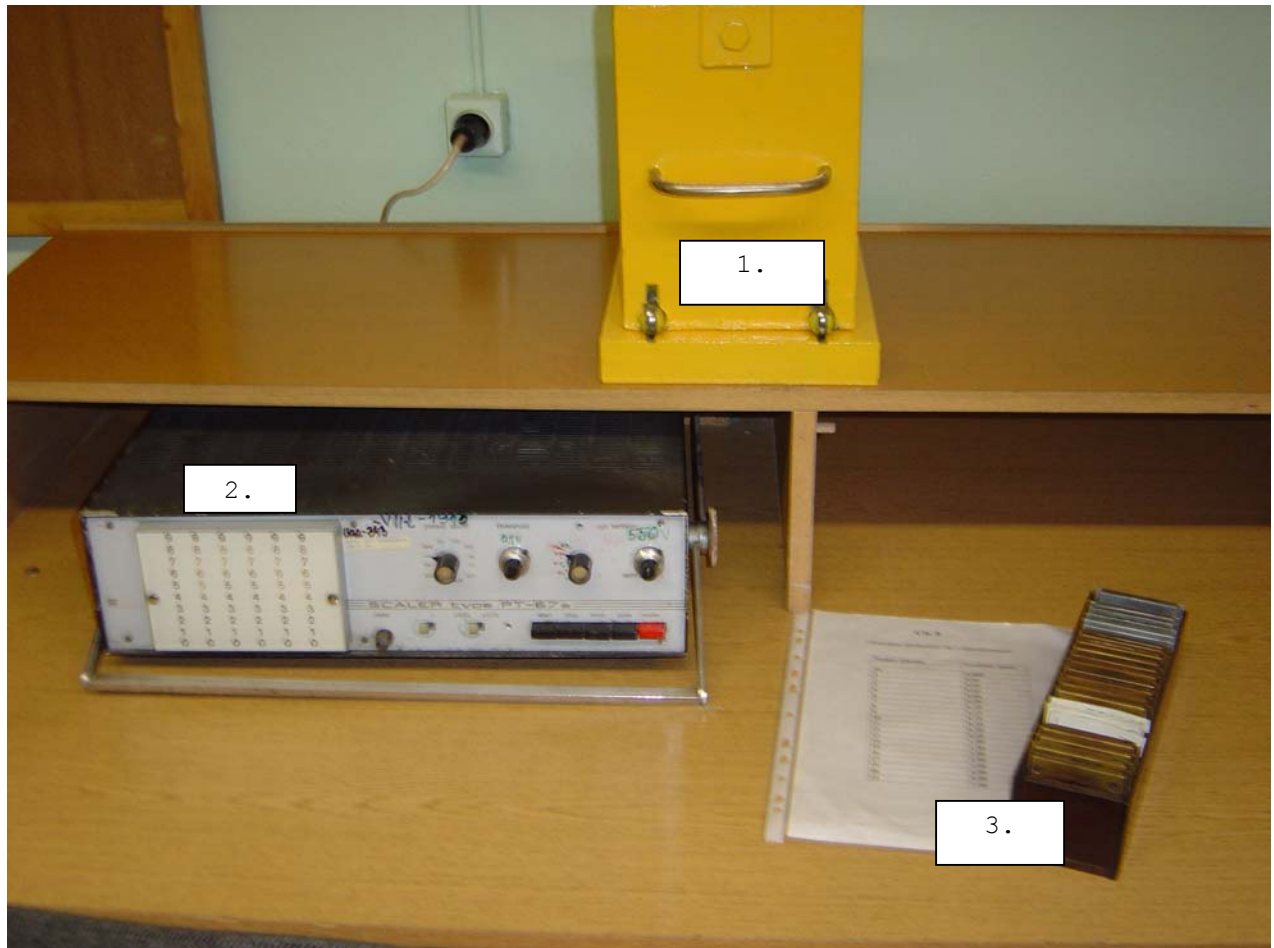


Ćwiczenie nr 5

Pomiar górnej granicy widma energetycznego Promieniowania beta metodą absorpcji.



1. Ołowiany domek pomiarowy z licznikiem kielichowym G-M oraz wielopoziomowymi wspornikami.
2. Zasilacz wysokiego napięcia wraz z przelicznikiem bez sterownika czasu.
3. Pojemnik z ponumerowanymi warstwami absorpcyjnymi wraz z opisem grubości warstwy przypisanej do danego numeru.

1. Student winien wykazać się znajomością następujących zagadnień.

01. Promieniotwórczość β ; rozpad β^+ , β^- i wychwyt elektronu.
02. Warunki energetyczne w/w rozpadów.
03. Rozkład energetyczny promieniowania β .
04. Neutrino i jego własności.
05. Oddziaływanie promieniowania β z materią.
06. Wyznaczanie energii promieniowania β metodą absorpcji.

2. Pomoc merytoryczna do opracowania wyników:

Energia maksymalna $E_{\max}$ promieniowania beta (zwana również górną granicą widma energetycznego) zawiera się w szerokich granicach od kilkunastu keV do kilku MeV. Ta maksymalna energia jest wielkością charakterystyczną dla danego radiopierwiastka co pozwala na jego identyfikację.

Wyznaczenie $E_{\max}$ można przeprowadzić dwoma sposobami:

- Przez pomiar zasięgu maksymalnego cząstek beta;
- Przez pomiar grubości częściowego pochłaniania promieniowania (np. grubości osłabiającej natężenie wiązki do $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, itd. pierwotnej wartości).

Promieniowanie beta przy kolejnych aktach zderzenia zmienia swój kierunek i dlatego charakter osłabienia wiązki beta w materii jest w dużym zakresie grubości absorbenta podobny do straty energii promieniowania elektromagnetycznego.

Można go przedstawić zależnością:

1.
$$I_R = I_0 \exp \left[\left(-\frac{\mu}{\rho} \right) R \right],$$

gdzie:

I_R – strumień cząstek beta po przejściu warstwy absorbenta o grubości R ,

I_0 – strumień cząstek beta w nieobecności absorbenta,

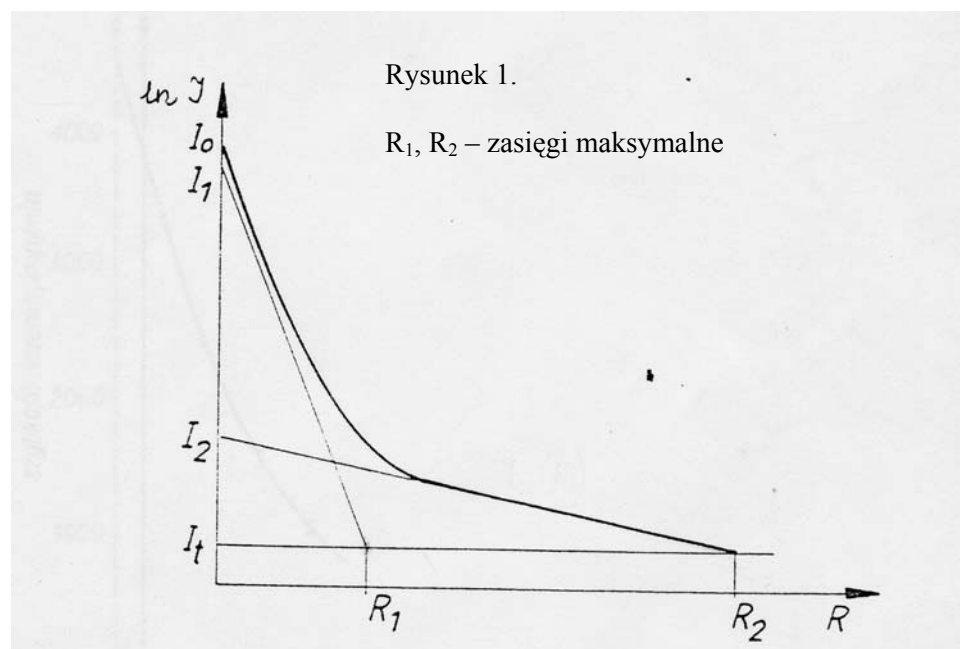
R – grubość absorbenta [g/cm^2],

μ – liniowy współczynnik absorpcji [cm^{-1}],

ρ – gęstość środowiska pochłaniającego [g/cm^3],

μ/ρ – masowy współczynnik pochłaniania [cm^2/g].

Poniższy rysunek przedstawia przykładową krzywą absorpcji promieniowania beta dla źródła



Natężenie promieniowania beta I_R rejestrowane detektorem nie zmniejsza się do zera nawet dla bardzo dużych wartości R , lecz osiąga wartość stałą, którą nazywamy natężeniem tła, I_t . Odcięta punktu, dla którego krzywa absorpcji styka się z tłem wyznacza tzw. maksymalny zasięg $R_{\max}$, który odpowiada maksymalnej energii $E_{\max}$ promieniowania beta. Dla elektronów beta o energiach nie przekraczających kilku MeV, zasięg $R_{\max}$ zależy prawie liniowo od $E_{\max}$.

W przypadku jednej energii E_{max} wykresem funkcji $f(R) = \ln I(R)$ jest linia prosta zgodnie ze wzorem (1).

Współczynnik absorpcji μ zależy od energii maksymalnej. W przypadku geometrii 2π wyraża to zależność:

$$2. \quad \mu = 0,0155 E_{max}^{-1,41}.$$

Ponieważ μ jest jednoznacznie związane z E_{max} więc wyznaczenie μ pozwala określić E_{max} . W praktyce, na podstawie znanych zależności μ od E_{max} sporządza się wykresy zależności $R_n(E_{max})$, gdzie R_n oznacza grubość warstwy osłabiającej wiązkę cząstek beta do $1/2^n$ natężenia tej wiązki I_0 bez absorbenta. Wyznaczenie R_n pozwala na podstawie tych wykresów znaleźć E_{max} .

Zwykle mamy do czynienia z układami złożonymi i źródło emituje równocześnie promieniowanie beta o różnych energiach maksymalnych. W takim przypadku krzywa absorpcji jest sumą składowych krzywych absorpcji odpowiadających tym różnym energiom maksymalnym. Rozłożenie sumarycznej krzywej na składowe jest możliwe w przypadku, gdy dwie lub więcej energii E_{max} są stosunkowo odległe od siebie. Rysunek 1 przedstawia przykład rozłożenia krzywej wypadkowej na składowe dla źródła emitującego promieniowanie beta o dwu energiach E_{1max} i E_{2max} .

Przy dwu wartościach E_{max} , dla wygody połóżmy $E_{1max} < E_{2max}$, krzywa absorpcji może być przybliżona dla $R > R_{1max}$ funkcją wykładniczą:

$$3. \quad I = I_{02} \exp\left(-\frac{\mu_2}{\rho} R\right).$$

Na wykresie funkcji $\ln I(R)$ jest wtedy linia prosta (druga część wykresu). Ekstrapolacja tej prostej do $R = 0$ w skali półlogarytmicznej jest wykresem krzywej pochłaniania $I_2(R)$ dla widma promieniowania beta z $E_{max} = E_{2max}$. Przechodząc dla tej krzywej absorpcji od zależności $\ln I_2(R)$ do zależności $I_2(R)$ i odejmując $I_2(R)$ od zmierzonej krzywej absorpcji $I(R)$ otrzymamy funkcję

$$4. \quad I_1(R) = I(R) - I_2(R),$$

przedstawiającą krzywą absorpcji dla promieniowania beta z $E_{max} = E_{1max}$. Analiza krzywych absorpcji $I_1(R)$ i $I_2(R)$ oddzielnie pozwala wyznaczyć E_{1max} i E_{2max} .

Jeżeli zasięg wyrazimy w jednostkach gęstości powierzchniowej [g/cm^2] to wówczas zasięg R_{max} prawie nie zależy od rodzaju absorbenta, a jedynie zależy od E_{max} . Zasięg R_{max} można oszacować z zależności empirycznych, znając E_{max} promieniowania beta i na odwrót. Odpowiednie zależności podano w poniższej tabeli wraz z zakresem ich stosowności.

$E_{\max}$ [MeV]	zasięg $R_{\max}$ [g/cm ²]
poniżej 0,2	$R_{\max} = \frac{1}{1,5} E^{5/3}$
od 0,03 do 0,15	$R_{\max} = 0,15E - 0.0028$
od 0,15 do 0,8	$R_{\max} = 0,407E^{1,38}$
powyżej 0,8	$R_{\max} = 0,542E - 0,133$
powyżej 1,0	$R_{\max} = 0,571E - 0,161$



$R_{\max}$ [g/cm ²]	energia $E_{\max}$ [MeV]
poniżej 0,03	$E_{\max} = 1,275R^{0,6}$
od 0,002 do 0,02	$E_{\max} = 6,67R + 0.0186$
od 0,02 do 0,3	$E_{\max} = 1,92R^{0,725}$
powyżej 0,3	$E_{\max} = 1,85R + 0,245$
powyżej 0,4	$E_{\max} = 1,75R + 0,281$

Ponieważ zasięg dla promieniowania beta jest wielkością wyznaczoną przez ekstrapolowanie, często posługujemy się pojęciem pochłaniania połówkowego i grubością połówkową R_l .

Jeżeli zakładamy, że

5.
$$I_R = \frac{1}{2} I_0,$$

to, uwzględniając wzór (1) otrzymujemy wyrażenie na grubość pochłaniania połówkowego:

6.
$$R_l = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu}.$$

Zależność R_l od $E_{\max}$ ma podobny charakter jak $R(E)$.

Do określenia μ i R_l w aluminium dla danej energii E (MeV) można (z dokładnością rzędu 20%) stosować empiryczne wzory:

7.

$$\mu = \frac{59,4}{E^{1,33}}, \quad R_1 = 0,015 E^{1,33}.$$

3. Cel doświadczenia:

Celem doświadczenia jest określenie $E_{\max}$ dla dwóch preparatów beta-promieniotwórczych wskazanych przez prowadzącego ćwiczenia.

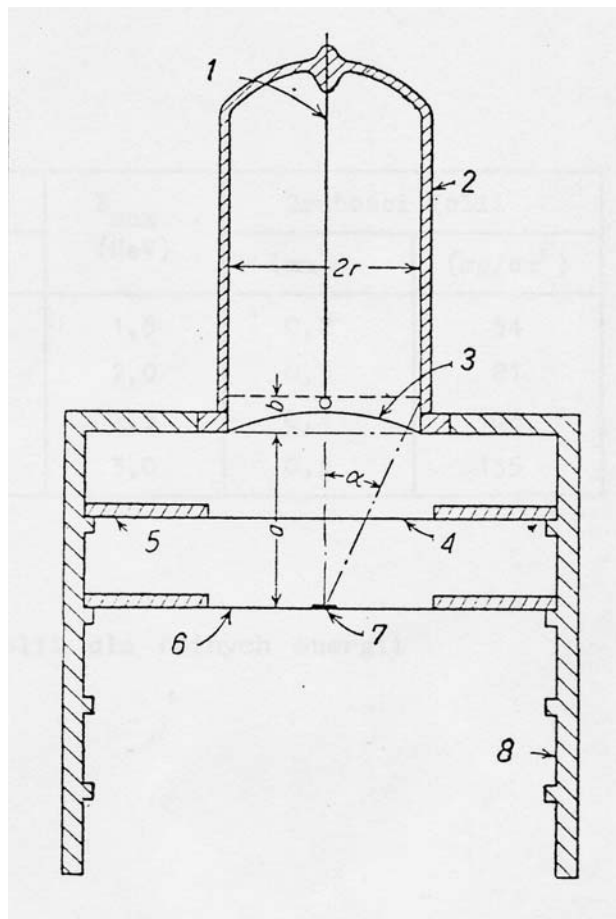
4. Technika pomiarów:

Schemat stosowanego zestawu pomiarowego przedstawia poniższy rysunek:

Typowy zestaw pomiarowy:

1. Elektroda zbiorcza licznika G-M,
2. Ścianka kielichowego licznika G-M.
3. Okienko mikowe licznika G-M.
4. Absorbent.
5. Uchwyt absorbenta.
6. Podkładka źródła.
7. Źródło.
8. Wspornik wielopoziomowy ze szkła organicznego.

W przypadku naszego układu doświadczalnego bezpośrednio przed okienkiem mikowym licznika G-M została dodatkowo umieszczona przesłona ołowiana z wyciętym pośrodku otworem.



Wykonujący doświadczenie mierzy szybkość liczenia impulsów (I) przy różnych grubościach folii aluminiowej (R). Do pomiaru służy kielichowy licznik G-M z okienkiem mikowym umieszczony w osłonie ołowianej. Pomiedzy preparatem promieniotwórczym (Sr^{90} , Cl^{36} , C^{14}) a okienkiem licznika umieszcza się aluminiowe płytki absorpcyjne. Po wykonaniu serii pomiarów zmieniamy źródło i powtarzamy pomiary.

- a) Zapoznać się z układem pomiarowym i włączyć układ elektroniczny w obecności prowadzącego ćwiczenia.
- b) Przed okienkiem licznika umieścić przesłonę, a następnie preparat promieniotwórczy. Odległość między preparatem promieniotwórczym a przesłoną dobrać tak aby liczba zliczeń wynosiła 5000 - 7000 zliczeń/min.
- c) Należy pamiętać o zmierzeniu grubości warstwy powietrza między preparatem promieniotwórczym a okienkiem licznika.
- d) Zmierzyć, w nieobecności absorbenta, liczbę zliczeń przypadającą na 2 lub 3 minuty w zależności od wybranej opcji, opisanej w następnym punkcie.

- e) Nie zmieniając położenia źródła i przesłony wstawiać kolejno folie aluminiowe, grubość warstwy absorbenta zmieniać od zera do wartości przy której dalsze jej zwiększanie nie powoduje zmiany szybkości zliczeń z dokładnością do fluktuacji statystycznych. Rejestrować cząstki beta w ciągu określonego czasu t . Kolejne zmiany grubości absorbenta powinny dawać osłabienie wiązki w granicach 15-30%. Czas t trwania pojedynczego pomiaru powinien wynosić:

$$t_1 = 2 \text{ lub } 3 \text{ min. dla } I(R') > \frac{1}{2} I(0);$$

$$t_2 = 5 \text{ lub } 7 \text{ min. dla większych grubości absorbenta niż } R'.$$

5. Opracowanie pomiarów.

- a) Sporządzić wykresy funkcji: $\ln I = f(R')$ i $\ln I' = f'(R')$, gdzie: $I' = I - I_s$, a $R' = R + \Delta R$, ΔR dodatkowa grubość absorbenta związana z obecnością warstwy powietrza między źródłem a licznikiem oraz okienka mikowego licznika GM. Patrz na opis poprawek.
- b) Ekstrapolując krzywą $\ln I = f(R')$ do przecięcia z poziomem tła (ściślej $\ln I_s$) znaleźć R_{max} i wyliczyć odpowiadającą mu wartość E_{max} na podstawie zależności podanych w wstępie do opracowania wyników.
- c) W przypadku gdy kształt krzywej absorpcji wskazuje, że mamy do czynienia z jedną wartością E_{max} (widmo proste) ekstrapolować krzywą $\ln I' = f'(R')$ do zerowej wartości R . Z tak otrzymanego wykresu określić grubości częściowego pochłaniania R dla $n = 1$ i dla $n = 2$ i posługując się wykresem zależności $E_{max} = E_{max}(R_n)$, umieszczonego na następnej stronie, określić E_{max} . Porównać ją z wartością otrzymaną w punkcie b) oraz z danymi literaturowymi.
- d) W przypadku gdy kształt krzywej absorpcji wskazuje, że mamy do czynienia z dwoma wartościami E_{max} (widmo złożone) opracować wyniki zgodnie z opisem w wstępie do opracowania wyników.
- e) **Wprowadzanie poprawek:**

1p) na czas rozdzielczy:

uwzględnić w przypadku, gdy czas rozdzielczy licznika GM jest większy niż $0,5 \cdot 10^{-4}$ s.

Jeżeli czas rozdzielczy τ jest porównywalny ze średnim okresem między rejestrowanymi licznikiem cząstkami, to znaczna część cząstek zostanie pominięta w pomiarze. Jeżeli I_{exp} oznacza mierzoną szybkość zliczeń, to $I_{exp}\tau$ jest tą częścią czasu, w której układ liczący jest nieczuły (pojawienie się w liczniku cząstki nie wytwarza impulsu). W rezultacie liczba pominiętych cząstek w jednostce czasu wyrazi się $I_{exp}I_{fakt}\tau$, w którym I_{fakt} oznacza szybkość zliczeń którą wykazałby układ liczący o czasie rozdzielczym pomijalnie małym. Wobec tego

$$I_{fakt} - I_{exp} = I_{fakt} I_{exp} \tau,$$

$$I_{fakt} = \frac{I_{exp}}{1 - I_{exp} \tau}.$$

2p) na pochłanianie w powietrzu:

przy grubszych warstwach powietrza pomiędzy źródłem a detektorem (lub w przypadku promieniowania beta o małej energii) należy uwzględnić pochłanianie w tej warstwie. W tym celu oblicza się masową grubość tej warstwy R_{pp} stosując wzór:

$$R_{pp} = \rho h,$$

gdzie: ρ - gęstość powietrza, h - odległość źródła od detektora.

Aktualne wartości ρ należy odczytać z tablic fizycznych. Tę wartość R_{pp} należy dodać do grubości

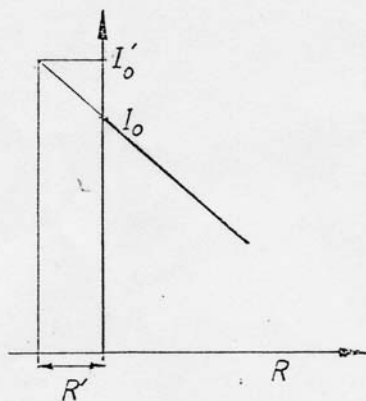
absorbenta lub ekstrapolować krzywą absorpcji w lewo do $R = -R_{pp}$.

3p) na absorpcję w detektorze:

gdy mamy licznik o znanej grubości R_{pd} okienka to jego wpływ można uwzględnić ekstrapolując krzywą absorpcji promieniowania beta o grubość okienka R_{pd} (analogicznie jak przy uwzględnianiu warstwy powietrza). W doświadczeniu stosujemy kielichowy licznik G-M z okienkiem mikowym o grubości $R_{pd} = 4 \text{ mg/cm}^2$.

4p) na tło detektora:

poprawka ta łączy się z rejestrowaniem przez licznik innego rodzaju promieniowania niż badane promieniowanie beta (np. kosmicznego) - jest to tzw. tło detektora. Można to znacznie wyeliminować przez zastosowanie ołowianej obudowy licznika. Należy w nieobecności preparatu promieniotwórczego stwierdzić jak duża jest ta wielkość i zdecydować o jej wpływie.



Rys. 5. Graficzna metoda wyznaczania poprawki na pochłanianie w powietrzu i okienku detektora:

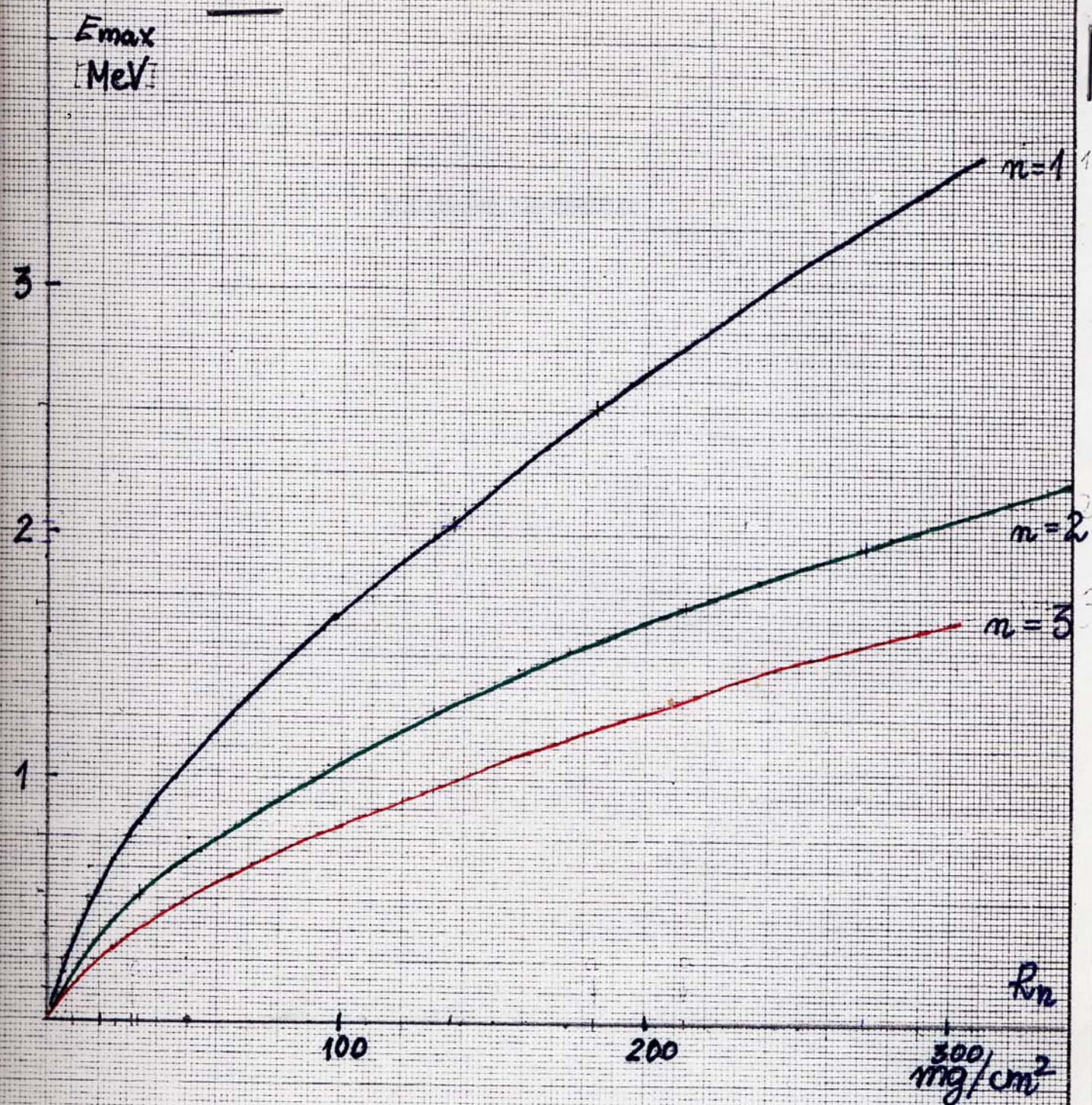
R - grubość absorbenta podana w $[\text{g/cm}^2]$,

R' - poprawka w $[\text{g/cm}^2]$.

Źródło cząstek	Maksymalna energia cząstek β MeV	Przepuszczalność %		
		30 mg cm^2	4 mg/cm^2	1,4 mg/cm^2
^{14}C	0,154	0,03	1,5	20
^{45}Ca	0,250	1,5	38	82
^{90}Sr	0,65	31	86	95
^{32}P	1,7	72	95,5	98,5

Tab. 2. Przepuszczalność ścianek i okienek licznika G-M dla cząstek β .

5p) Przy bardzo dokładnym opracowaniu widma promieniowania beta powinno się uwzględniać jeszcze szereg innych poprawek, takich jak poprawki ze względu na kąt bryłowy, na samoabsorpcję, na rozproszenie wsteczne, na promieniowanie gamma, na elektrony konwersji wewnętrznej, na wydajność licznika na promieniowanie beta itp. W naszym doświadczeniu pominiemy szczegółowy opis tych poprawek, natomiast wykonujący ćwiczenie powinien sam zdecydować, które poprawki z tylko wymienionych lub opisanych są w tym doświadczeniu istotne.



Zależność między grubością osławkowego podtania i osławk β , R_m i ich energią maksymalną $E_{\max}$.

R_m oznacza grubość absorbenta osłabiającego wiązkę osławk β 2^m razy

$$I(R_m) = \frac{1}{2^m} I(0)$$