

**Instytut Fizyki Jądrowej im.  
Henryka Niewodniczańskiego  
Polskiej Akademii Nauk ul.  
Radzikowskiego152, 31-342 Kraków**

www.ifj.edu.pl/publ/reports/2017

Kraków, Grudzień 2017

---

**Raport Nr 2101/AP**

**Analiza ograniczeń systemu Proteus 235 wynikających z  
zastosowanej technologii akceleracji oraz diagnostyki wiązki  
protonów, w zastosowaniach do eksperymentów fizyki jądrowej.**

Konrad Guguła, Krzysztof Daniel, Michał Duszyć, Grzegorz Janik, Łukasz Kamiński,  
Andrzej Koczot, Barbara Michalec, Tomasz Pasiecznik, Łukasz Raczyński, Krzysztof Suder,  
Mateusz Winiarz, Renata Kopec

Abstract

The purpose of the report is to introduce work necessary to determine impact of selected cyclotron Proteus C-230 parameters affecting workflow of Proteus 235 Proton Therapy System, which is located inside Institute of Nuclear Physics in Cracow. In particular, the properties of produced ion beam such as the stability and cross-section shape of the beam were analyzed. Gathered data from conducted research will be utilized primarily during beam optics re-work for nuclear physics experiments and also during daily operation of the cyclotron.

## Spis treści

|   |    |
|---|----|
| 1. Sytem Proteus 235 zastosowane technologie i techniki akceleracji ..... | 3  |
| 1.1. Zasada działania cyklotronu izochronicznego.....                     | 3  |
| 1.2. Budowa akceleratora C-230 .....                                      | 4  |
| 2. Elementy diagnostyki wiązki.....                                       | 9  |
| 2.1. Monitory profilu wiązki.....   | 10 |
| 2.2. Monitory prądu wiązki .....  | 12 |
| 2.3. Elektrometry .....   | 12 |
| 3. Pomiary .....  | 12 |
| 4. Wnioski .....  | 18 |
| 5. Literatura .....   | 18 |

## 1. Sytem Proteus 235 zastosowane technologie i techniki akceleracji

Akcelerator C 230 wraz z selektorem energii, jonowodami, stanowiskami do napromieniania, eksperymentów fizyki jądrowej ulokowany jest budynku CCB, na terenie IFJ PAN w Krakowie i stanowi podstawowe elementu systemu terapii Proteus 235. Do przyspieszania protonów do energii około 230 MeV wykorzystano cyklotron izochroniczny. Do zmiany energii wiązki protonów wykorzystuje się zjawisko spowalniania cząstek naładowanych w różnych materiałach. Cząstki naładowane przechodząc przez materię oddają część swojej energii i zwalniają. Elementem odpowiedzialnym za zmianę energii jest tzw selektor energii z degraderem, układem optyki wiązki składających się z magnesów skręcających tor wiązki jonów oraz soczewek kwadropolowych, przesłon regulujących wielkość wiązki oraz przesłon pędowych analizującym pęd cząstek. To właśnie ten układ będzie odpowiedzialny w dużej mierze za kształt wiązki na stanowiskach oraz rozrzut energetyczny [1].

System Proteus 235 jest wykorzystywany do przeprowadzania eksperymentów fizycznych, terapii oka oraz wykonywania naświetlań pacjentów przy pomocy urządzeń gantry. Przeprowadzenie terapii wymaga produkcji wiązki protonów o stabilnym natężeniu prądu w czasie.

Celem raportu jest przedstawienie prac pozwalających poznać wpływ wybranych parametrów na prace cyklotronu, a w szczególności na takie właściwości wyprodukowanej wiązki jonów jak stabilność i kształt przekroju wiązki.. Wyniki eksperymentalnie przeprowadzonych badań mają być wykorzystane w eksploatacji cyklotronu..

### 1.1. Zasada działania cyklotronu izochronicznego

W technikach akceleracji wykorzystano zjawiska fizyczne oddziaływania naładowanych cząstek w polu elektrycznym oraz magnetycznym. Podstawowym wzorem opisującym siły działające na naładowane cząstki jest wzór na *siłę Lorentza*:

$$\vec{F} = q * (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) = \frac{d(m * v)}{dt}$$

Gdzie:

F – wektor siły Lorentza [N]

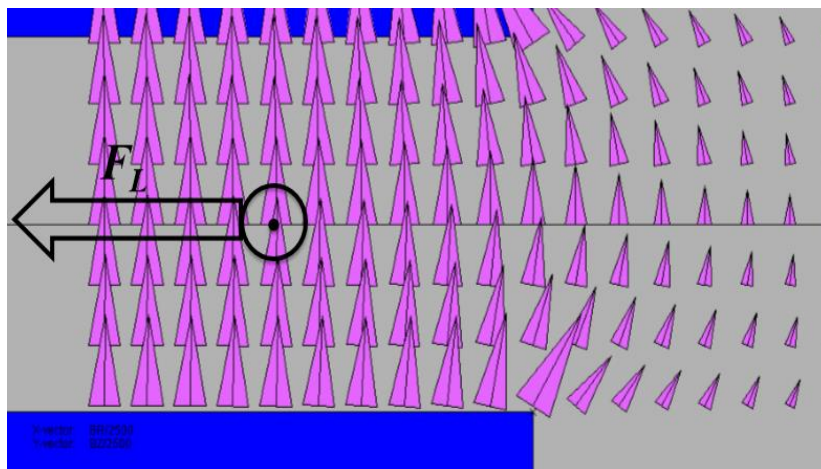
q – ładunek elektryczny cząstki [C]

E – wektor natężenia pola elektrycznego [V/m]

$B$  – wektor indukcji magnetycznej [T]

$v$  – wektor prędkości cząstki [m/s]

Dzięki tej sile, możliwe jest rozpędzanie cząstek w cyklotronach. Obszerny opis podstaw technik akceleracji w cyklotronach klasycznych znajdziemy w literaturze [1, 2, 3]. Cyklotrony te są w stanie przyspieszyć między innymi protony do energii zaledwie kilkunastu MeV. Powyżej tej granicy prędkość cząstki osiąga 1% prędkości światła, jej masa relatywistyczna wzrasta, a cząstka "zwalnia" fazowo względem zmiennego pola elektrycznego, dlatego konieczne jest zniwelowanie tego efektu przy pomocy pola magnetycznego - mamy wtedy cyklotron izochroniczny, lub zmianą częstotliwości pola elektrycznego - mamy wtedy do czynienia z synchrociklotronem. Dzięki rozwiązaniu zmiany pola magnetycznego wraz z promieniem, częstość obiegu protonów po orbicie akceleracji niezależnie od energii protonu jest taka sama i wynosi  $f = 106,35$  [Mhz] w przypadku cyklotronu zainstalowanego w IFJ PAN. Należy zwrócić uwagę, że podczas akceleracji w cyklotronie izochronicznym, konieczne jest wzięcie pod uwagę sił deogniskujących wiązkę w kierunku osi obrotu wiązki, wynikających z rozkładu sił pola izochronicznego, dlatego w przypadku tego rodzaju akceleratorów stosuje się specjalne nabiegunki; proste lub spiralne, które odpowiadają za ogniskowanie wiązki w osi pionowej [4]. Ma to istotny wpływ na kształt wiązki na wyjściu i niesie pewne ograniczenia w wykorzystaniu wiązki do eksperymentów z zakresu fizyki jądrowej.



Rysunek 1. Oddziaływanie pola magnetycznego na cząstkę naładowaną w ruchu [1]

## 1.2. Budowa akceleratora C-230

W tabeli 1 podano podstawowe parametry cyklotronu C-230 (rys. 1). Podane wielkości w tabeli 1 są przybliżone. W dalszej części pracy przedstawiono podstawowe elementy cyklotronu, z uwypukleniem charakterystycznych cech cyklotronu C-230.

Tabela 1

| Parametr  | Wielkość   |
|---|--|
| Akcelerowany jon  | proton   |
| Energia jonu  | 230 MeV  |
| Maksymalny prąd wiązki                                  | 500 nA   |
| Źródło jonów  | Wewnętrzne PIG                                     |
| Średnica nabiegunnika                                   | 200 cm   |
| Średnica magnesu głównego                               | 434 cm   |
| Indukcja magnetyczna w centrum akceleracji              | 1.75 T   |
| Indukcja magnetyczna maksymalna                         | 3.1 T  |
| Częstotliwość generatora w.cz.                          | 106 MHz  |
| Ilość duantów   | 2  |
| Napięcie w.cz. na krawędzi duantu w centrum akceleracji | 50 kV  |
| Napięcie w.cz. na krawędzi duantu w okolicy ekstrakcji  | 100 kV   |
| Ilość okrążeń jonu                                      | 1000   |
| Przyrost energii jonu w 1 obrocie w okolicy centrum     | 170 keV  |
| Przyrost energii jonu w 1 obrocie w okolicy ekstrakcji  | 340 keV  |
| Ekstrakcja  | deflektor elektrostatyczny<br>+ korektor gradientu |
| Próżnia w komorze akceleracji                           | około 2E-5 Pa                                      |
| Zakres degradacji energii protonów                      | 70 - 230 MeV                                       |



Rysunek 2. Cyklotron C-230 (autor Krzysztof Daniel)

Przy analizie pracy cyklotronu należy zwrócić szczególną uwagę na trzy główne systemy, od których będą zależeć: rozmiar oraz intensywność wiązki [1,4]:

- System magnesu głównego
- System wysokiej częstotliwości
- System źródła

Magnes główny zbudowany ze stalowego jarzma, wyprofilowanych nabiegunków oraz elektromagnesu odpowiedzialny jest za wytworzenie i utrzymanie izochronicznego pola magnetycznego o parametrach pozwalających utrzymać przyspieszane cząstki w płaszczyźnie akceleracji [**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**3] Pole magnetyczne wewnątrz agnesu jest wytwarzane przez prąd płynący przez uzwojenie. Typową wartość prądu wynosi 760 A, moc uzwojenia około 200 kW. Uzwojenie magnesu jest chłodzone wodą demineralizowaną.

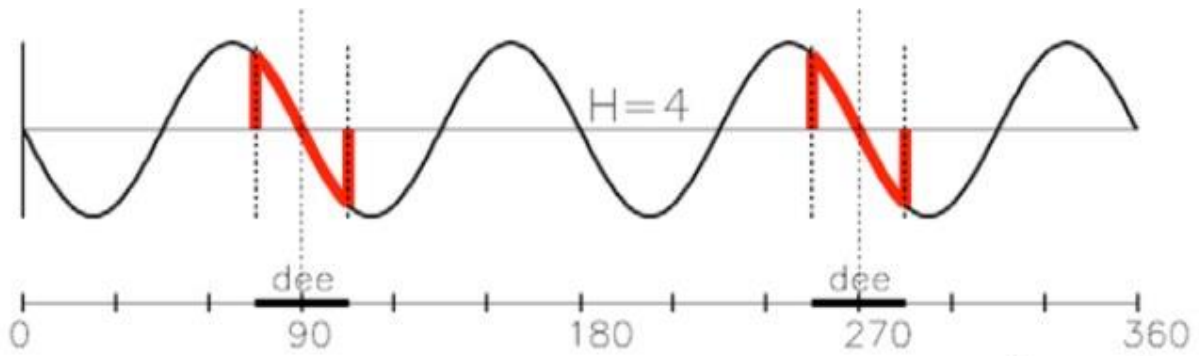


Rysunek 3. Dolna połowa cyklotronu C-230 (autor Krzysztof Daniel)

System wysokiej częstotliwości jest wykorzystywany do akceleracji jonów znajdujących się w polu magnetycznym. Jego zadaniem jest wytworzenie przemiennej napięcia pomiędzy elektrodami (duantami), które nadaje jonom, za każdym przejściem przez układ duant-antyduant energię od 50 [keV], w okolicach centrum, do ponad 100 [keV] w rejonie ekstrakcji wiązki na zewnątrz [1]. Na rysunku 4 widoczne są duanty przyspieszające jony krążące wokół centrum akceleracji. W trakcie zatoczenia jednego obrotu, jon jest czterokrotnie przyspieszany, zgodnie z rysunkiem 5. Ponieważ duanty mają kształt "zagiętych" trójkątów o kącie ostrym wynoszącym około 30 st mechanicznych (= 2 x 60 stopni fazy napięcia w.cz.) zatem przyrost energii podczas zatoczenia jednego obrotu przez jon wynosi:

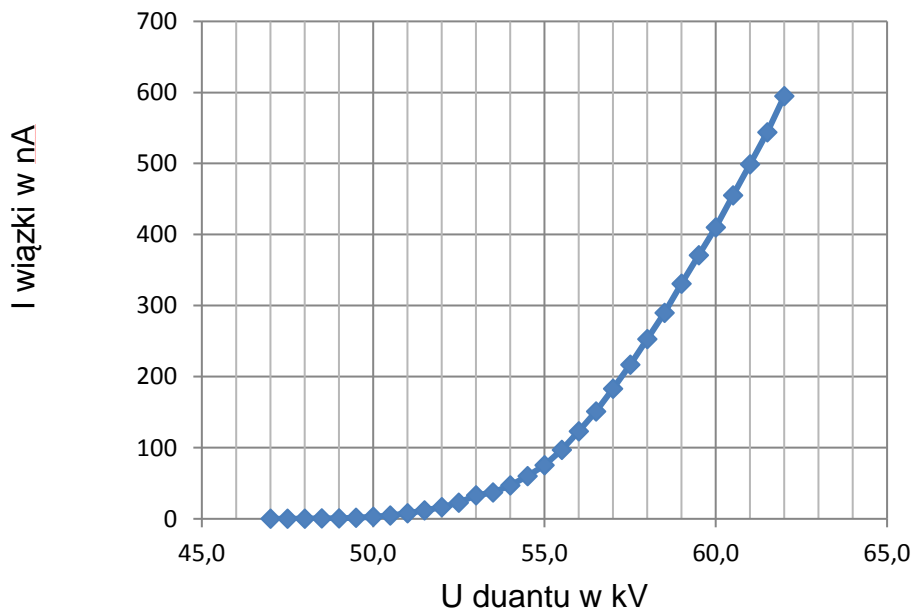
$$\text{w okolicy centrum: } \Delta E = 4 * 50 * \sin 60^\circ \simeq 170 \text{ keV}$$

$$\text{w okolicy ekstrakcji: } \Delta E = 4 * 100 * \sin 60^\circ \simeq 340 \text{ keV}$$



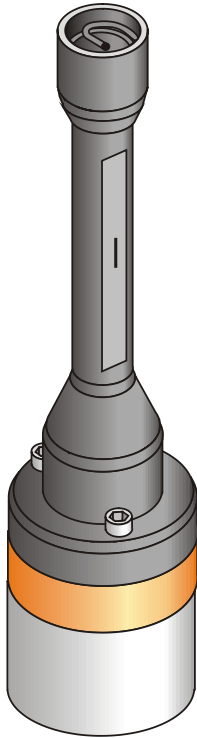
Rysunek 4. Wykres napięcia w.c. "widziany" przez jon podczas zatoczenia jednego obrotu wokół centrum akceleracji. [1]

Cząstka musi wykonać około 1000 okrążeń zanim opuści wnętrze cyklotronu. Zmiana prądu przyspieszanych jonów jest sterowana napięciem generatora w.c. oraz prądem łuku źródła jonów. Na rysunku 5 pokazano przykładową zależność wartości prądu jonów od napięcia w.c. (przy stałym prądzie łuku źródła).



Rysunek 5. Zmiana wartości prądu wiązki jonów od napięcia przyspieszającego w.c. (lookup table). (autor Krzysztof Daniel)

Trzecim elementem mającym wpływ na parametry wyjściowe wiązki (jej intensywności i rozmiar) jest źródło jonów. W cyklotronie C 230 wykorzystano wewnętrzne źródło typu PIG do produkcji protonów oraz ich iniekcji w płaszczyznę akceleracji. Na rysunku 6 i 7 przedstawiono źródło jonów cyklotronu C230.



Rysunek 6. Rysunek główki źródła jonów (autor Krzysztof Daniel)

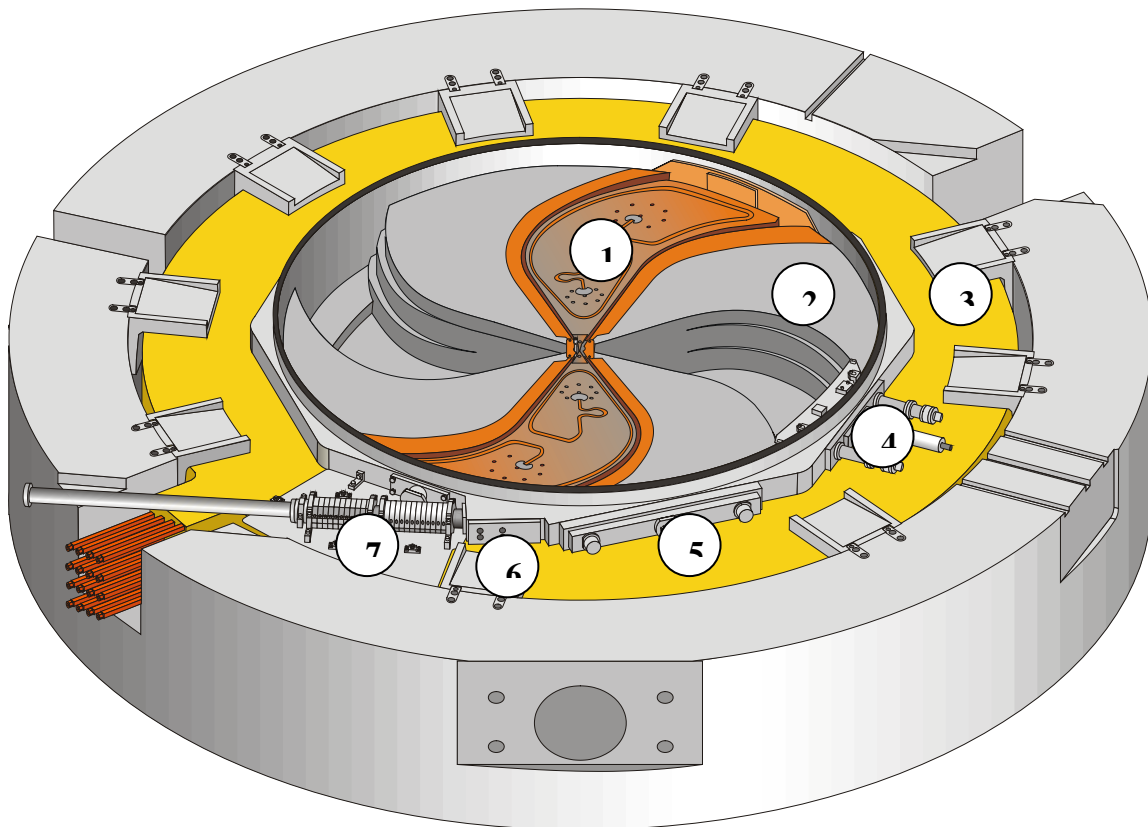


Rysunek 7. Widok zamontowanego źródła w centrum akceleracji (autor Krzysztof Daniel)

System ekstrakcji (rys. 7) składa się z deflektora elektrostatycznego ( $u = 55.3$  kV), korektora gradientu pola magnetycznego, kolimatora wiązki jonów, soczewki magnetycznej ze stałymi magnesami. W dalszej kolejności wiązka jonów jest jeszcze skupiana przez zewnętrzne soczewki kwadrupolowe i centrowana wewnątrz jonowodu przez magnesy korekcyjne X i Y (Rys. 8). W końcu jonowodu wiązka opuszcza jonowód i jest gotowa do dalszej obróbki przez układ selekcji wiązki.

System ekstrakcji (rys. 8) składa się z deflektora elektrostatycznego ( $u = 55.3$  kV), korektora gradientu pola magnetycznego, kolimatora wiązki jonów, soczewki magnetycznej ze stałymi magnesami. W dalszej kolejności wiązka jonów jest jeszcze skupiana przez zewnętrzne soczewki kwadrupolowe i centrowana wewnątrz jonowodu przez magnesy korekcyjne X i Y (Rys. 9). W końcu jonowodu wiązka opuszcza jonowód i jest gotowa do dalszej obróbki przez układ selekcji wiązki.



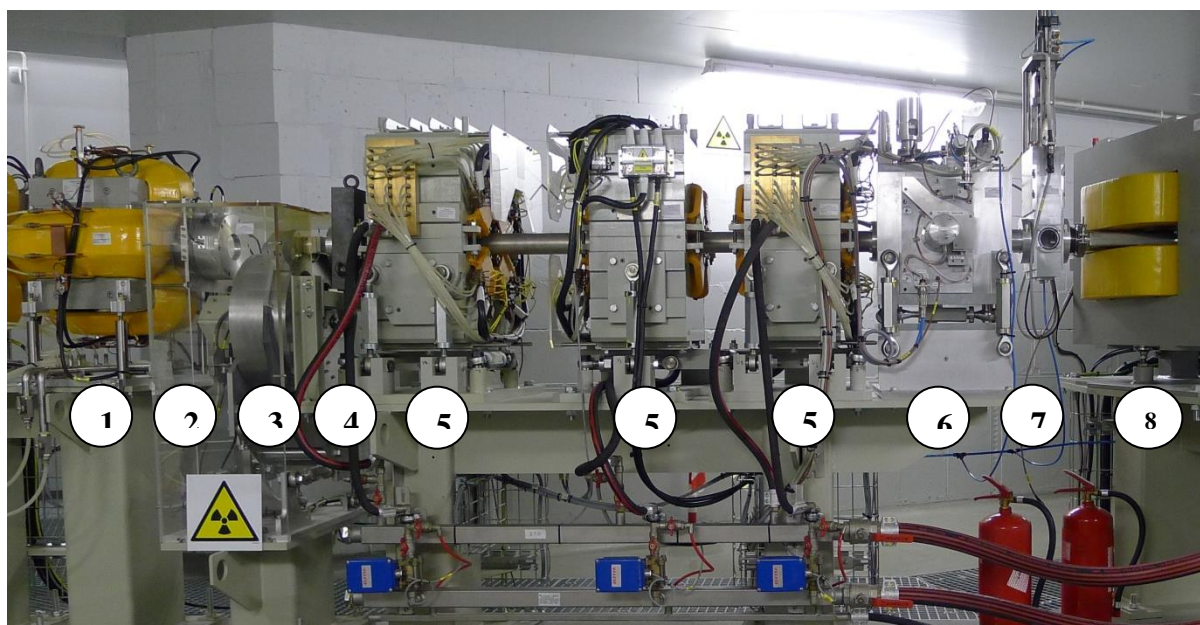


Rysunek 8. Dolna połowka cyklotronu C-230. (autor Krzysztof Daniel)

1. Dolna elektroda duantu, pod elektrodą znajduje się rezonator
2. Dolny nabiegunnik głównego elektromagnesu
3. Dolna część uzwojenia głównego, składa się z 8 sekcji, chłodzenie wodą
4. Deflektor elektrostatyczny
5. Korektor gradientu pola magnetycznego
6. Korektor deflektora
7. Soczewki ze stałymi magnesami

## 2. Elementy diagnostyki wiązki

Wiązka jonów opuszczająca cyklotron jest mierzona przez układy BPM (Beam Profil Monitor) . Usytuowanie pierwszych profil omierzy pokazano na rysunku 9.

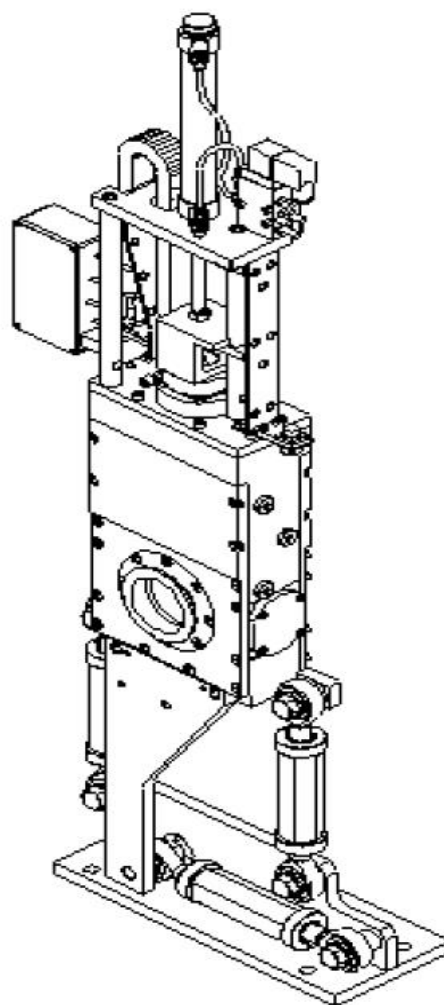
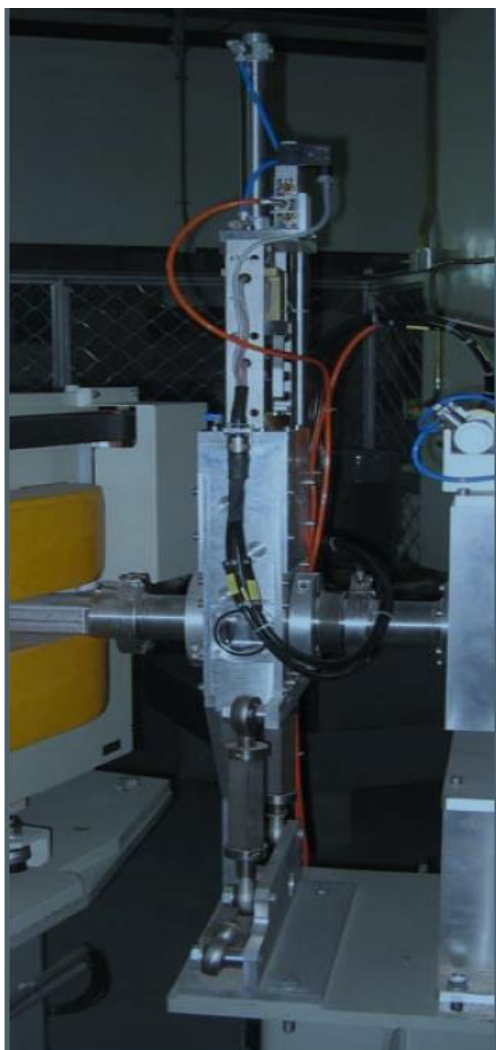


Rysunek 9. Początkowy odcinek jonowodu z układami do diagnostyki wiązki jonów. (autor Krzysztof Daniel)

1. Magnes korekcyjny XY
2. Komora jonizacyjna do pomiaru prądu jonów (BCM)
3. Degradator do zmniejszania energii jonów, układ do pomiaru profili wiązki jonów (BPM) oznaczany w pracy jako P1 i zawór odcinający wiązkę (beamstop)
4. Stały kolimator
5. Soczewki kwadrupolowe
6. Zawór odcinający wiązkę jonów (beamstop) i regulowany kolimator
7. Układ do pomiaru profili wiązki jonów (BPM), oznaczany w pracy symbolem P2
8. Magnes zakrzywiający tor wiązki protonów

## 2.1. Monitory profilu wiązki

Na system terapii protonowej składają się m.in. monitory profilu wiązki BPM (ang. Beam Profile Monitor), które rozlokowane są na całej długości linii prowadzenia wiązki w kilkunastu miejscach ważnych z punktu widzenia sprawdzania optyki wiązki. Monitory profilu wiązki to komory jonizacyjne znajdujące się w powietrzu pod ciśnieniem atmosferycznym, wsuwane w oś wiązki w trakcie pomiaru profilu poprzecznego x-y wiązki protonów. Ich zadaniem jest pomiar kształtu wiązki oraz śledzenie jej położenia w płaszczyźnie pionowej i poziomej w trakcie regulacji magnesów linii transportu wiązki. BPM śledzi i mierzy wiązkę o energii, która waha się pomiędzy 70 MeV a 230 MeV. (rys.10).



Rysunek 10. Monitor profilu wiązki zamontowany na jonowodzie. [1]

Każdy BPM posiada elektrodę wysokonapięciową (wartość znamionowa: +1500 V; wartość nominalna: +750 V), oraz dwie elektrody pozycjoczułe. Elektrody pozycjoczułe to bardzo cienkie płytki drukowane (PCB), podzielone na długie, prostokątne paski przewodzące z niewielkimi szczelinami między nimi. Każda płytka PCB zawiera 16 elektrod rozmieszczonych w taki sposób, że jedna PCB mierzy rozkład wiązki w kierunku poziomym, a druga w kierunku pionowym [1].

Sygnaly są zbierane w jednym kablu wielożyłowym sygnałowym, doprowadzonym bezpośrednio do elektrometrów.

## 2.2. Monitory prądu wiązki

System terapii protonowej posiada również monitory prądu wiązki BCM (ang. Beam Current Monitor), na które składają się komory Faradaya wraz z przesłonami.

Monitory prądu wiązki są elektrycznie odizolowane w celu pomiaru prądów wygenerowanych przez ładunki dodatnie protonów zatrzymanych w nich wnętrzu. [1]

## 2.3. Elektrometry

Elektrometry są podłączone do monitorów profilu wiązki (BPM) oraz monitorów prądu wiązki (BCM), przy czym do jednego elektrometru można podłączyć dwa BPM.

Głównym zadaniem elektrometru jest odczytywanie bardzo niewielkich natężeń prądu w maksymalnie 2 x 32 kanałach i przesyłanie odczytanych danych w czasie rzeczywistym do jednostki sterującej energią wiązki ECUBTCU (ang. Energy Control Unit Beam Transport Control Unit) za pośrednictwem sieci Ethernet. Dodatkowo każdy elektrometr automatycznie wykonuje podstawowe obliczenia (m.in. całkowanie, obliczanie średniej) na pozyskanych danych, które wykorzystywane są przez system ECUBTCU do kontroli parametrów wiązki[1].

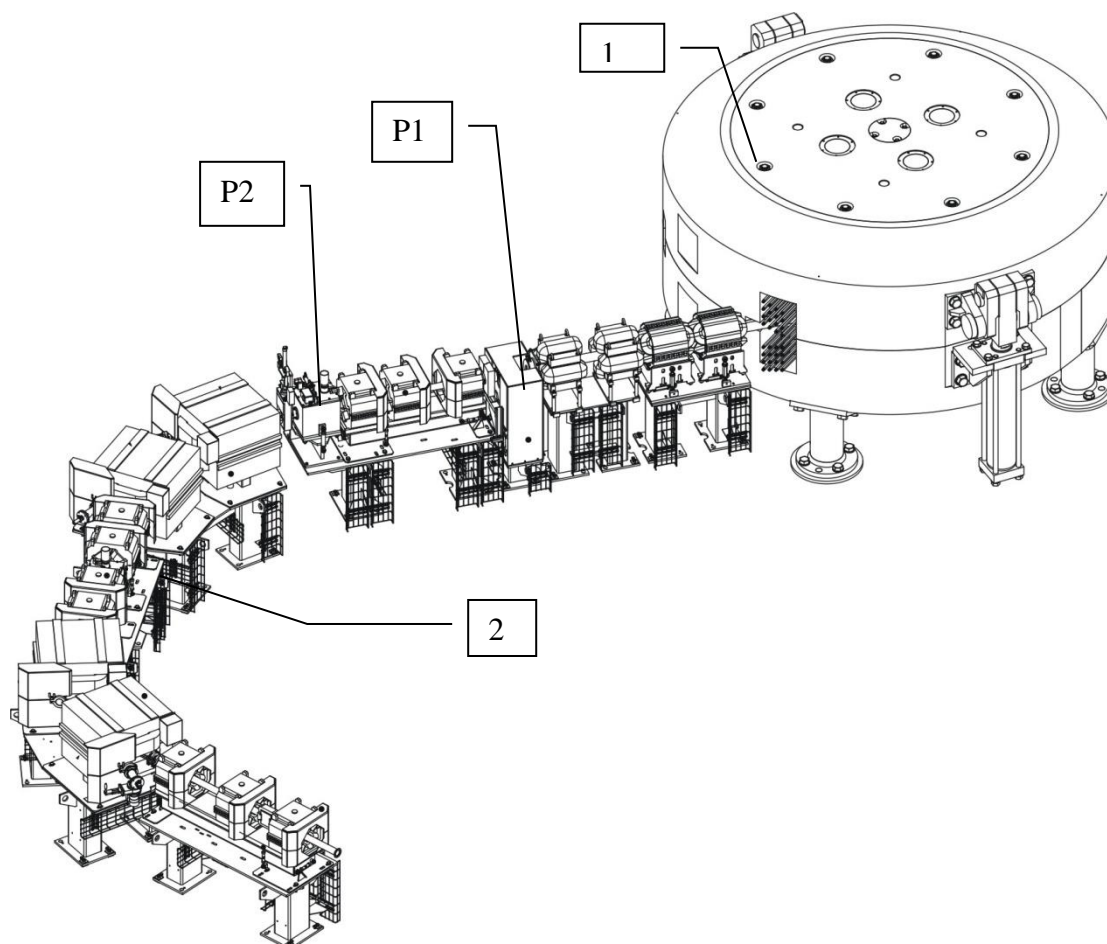
W przypadku gdy elektrometr podłączony jest do monitora profilu wiązki (BPM), elektrometr wzmacnia prąd odczytywany z każdego z 32 kanałów oraz przekształca te wartości w sygnały cyfrowe. Elektrometry są podpięte również do monitorów prądu wiązki (BCM) i umożliwiają pomiar prądu wiązki podczas regulacji cyklotronu.

Elektrometry są umieszczone w pobliżu powiązanych z nimi monitorów profilu wiązki (BPM) i monitorów prądu wiązki (BCM) w celu minimalizacji długości linii pomiarowych, zbędnych zakłóceń

## 3. Pomiary

W celu analizy parametrów wiązki wykonano szereg pomiarów profili wiązki tuż za wyjściem z cyklotronu na profilomierzu nr P1 i nr P2 (rys. 11). Wykonano je dla różnych nastaw prądu wiązki 1 [nA], 2[nA], 5[nA], 10[nA], 20[nA], 50[nA], 100[nA]. Dla tych parametrów natężenia prądu wiązki system sam dobierał automatycznie nastawy prądu wydatkowanego źródła jonów oraz napięcie akceleracji - zgodnie z tabelami odwzorowań prądu wiązki od napięcia duantu (tzw RF lookup table), oraz prądu wiązki protonów od prądu wydatkowanego w łuku źródła jonów (lookup table, rys. 5), [1].

Druga seria pomiarów została wykonana przy różnych prądach wydatkowanych w łuku źródła jonów. Pomiary miały na celu zbadaniu jak zachowuje się wiązka protonów (jak zmienia się jej profil poprzeczny) oraz przetestowanie dostępnego układu diagnostyki wiązki systemu 235 dla różnych wartości wiązki na wyjściu z cyklotronu. Bodźcem do wykonania testów układu diagnostyki były pomiary wykonane przez grupę fizyków [5], i wykrycie wysokiego tła, uniemożliwiającego zebranie pełnego pomiaru.

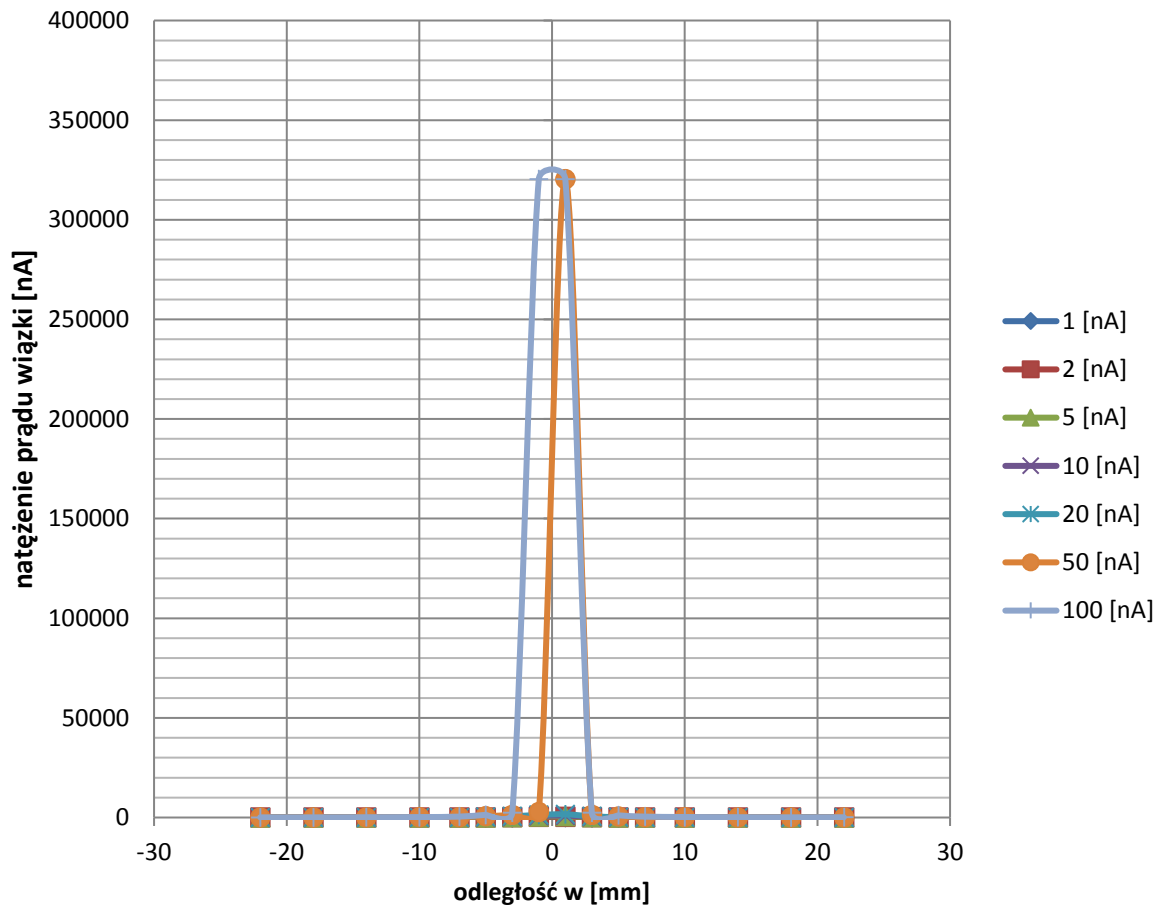


Rysunek 11. Cyklotron C 230 - 1 , razem z selektorem energii - 2 , profilomierz nr P1  
profilomierz nr P2 (autor Krzysztof Daniel)

Na poniższym wykresie nr 1 zestawiono wyniki pomiarów na profilomierzu P1 w kierunku X. Z wykresu widać, że ze względu na wysycenie się elektrometrów dla prądów wiązki rzędu kilkudziesięciu [nA] wygodnie będzie unormować te wartości do pola pod krzywą rozkładu natężenia prądu wiązki od położenia. Dane te zestawiono na wykresie 2. Warto zwrócić uwagę, że wysycenie się elektrometrów ma duży wpływ na pomiar rozkładu natężenia prądu wiązki i w tym przypadku nie należy brać go pod uwagę w analizie, widać tu duże ograniczenie systemu diagnostyki wiązki zastosowanego w systemie Proteus 235, należy rozważyć zastosowanie innego systemu pomiarowego.

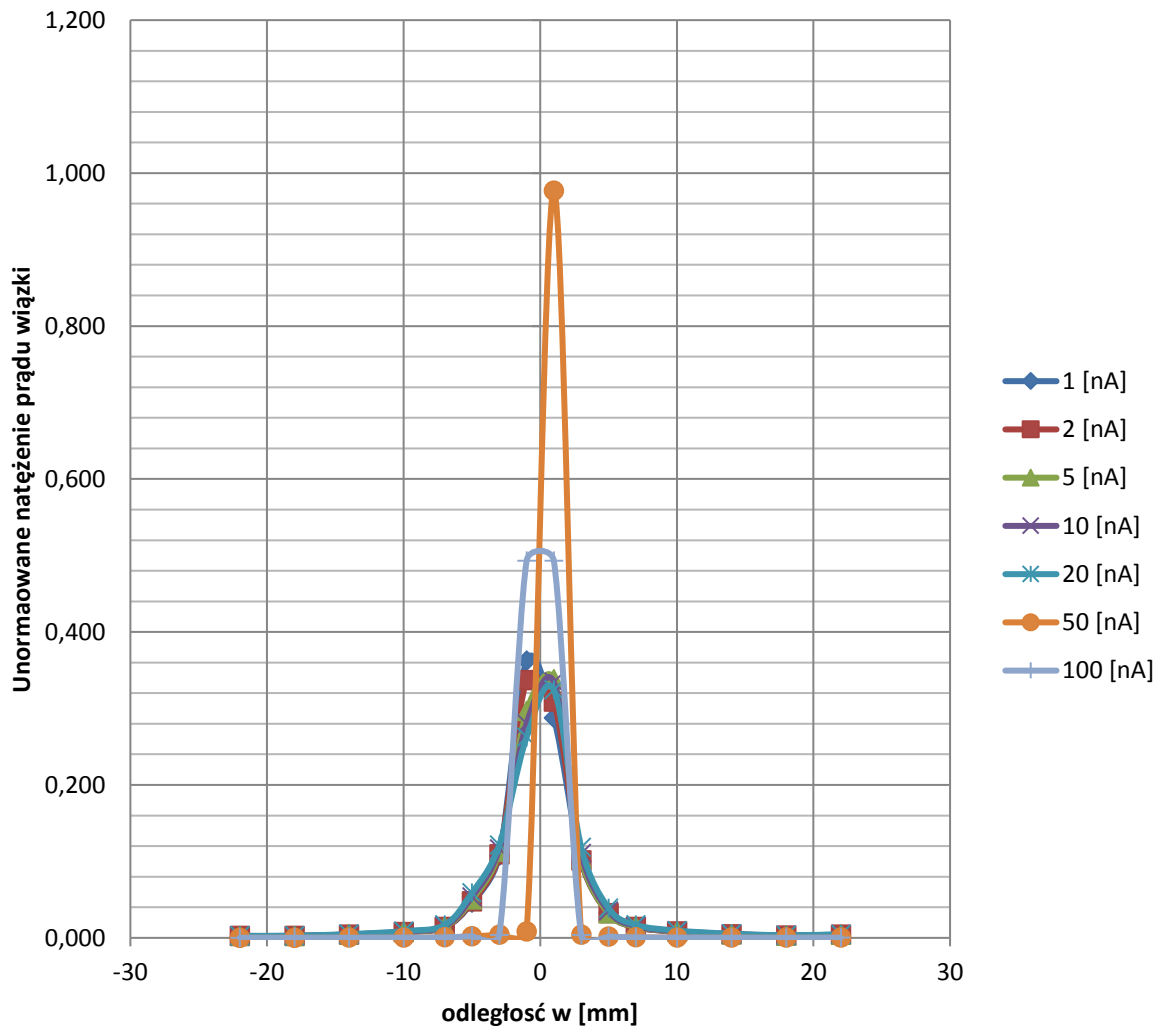
Na wykresie 3, przedstawiono unormowany rozkład natężenia prądu wiązki od odległości od centrum wiązki, dla różnych dni pomiarowych, dla tego samego natężenia prądu wiązki na wyjściu z cyklotronu -20 [nA]

**Wykres zbiorczy rozkładu natężenia wiązki od doległości dla różnych wartości prądu dla profilomierza P1 w kierunku X**



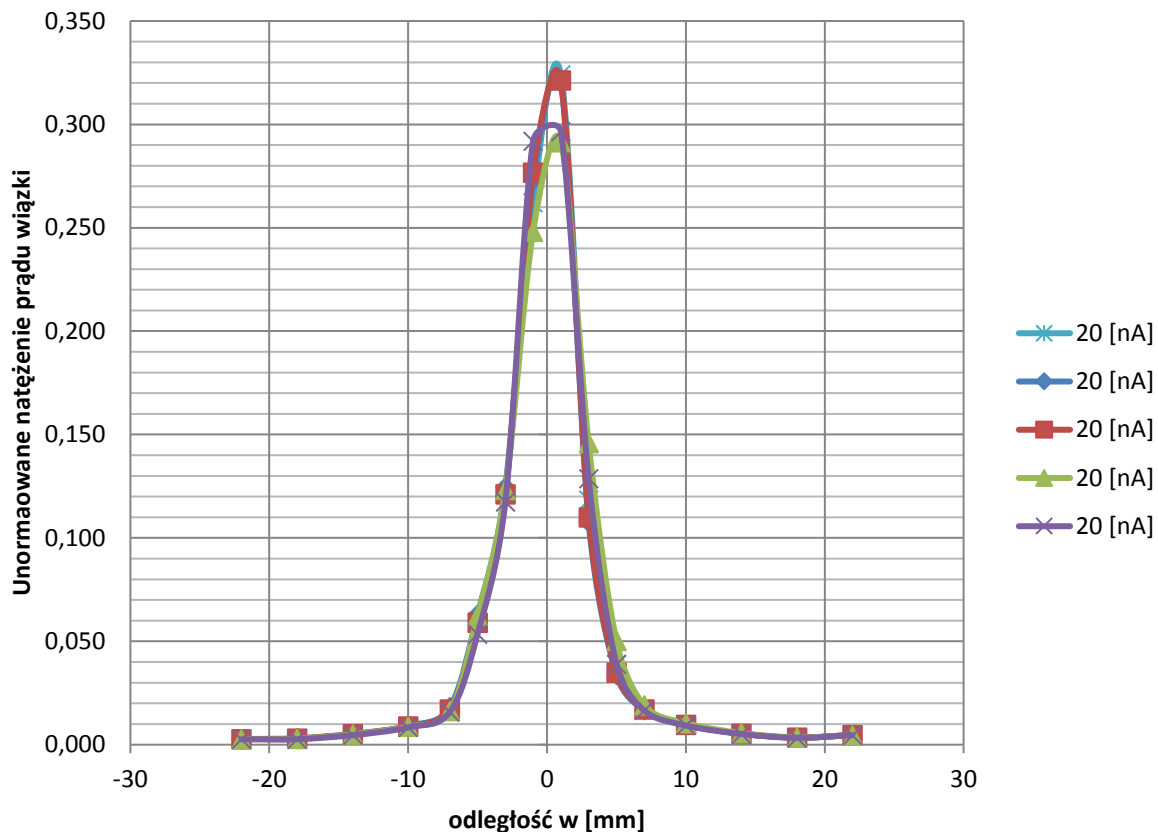
Wykres 1. Wykres zbiorczy rozkładu wiązki dla różnych wartości prądu wiązki protonów na wyjściu z cyklotronu (autor Konrad Guguła)

**Wykres zbiorczy rozkładu natężenia wiązki od doległości dla różnych wartości prądu dla profilomierza P1 w kierunku X**



Wykres 2. Wykres zbiorczy rozkładu natężenia wiązki od odległości dla różnych wartości prądu dla profilomierza P1 w kierunku X unormowany do pola pod krzywą rozkładu (autor Konrad Guguła)

**Wykres zbiorczy rozkładu natężenia prądu wiązki dla takich samych wartości prądu wiązki na wyjściu z cyklotronu, dla profilomierza P1 w kierunku X, w różnych dniach pomiarowych**



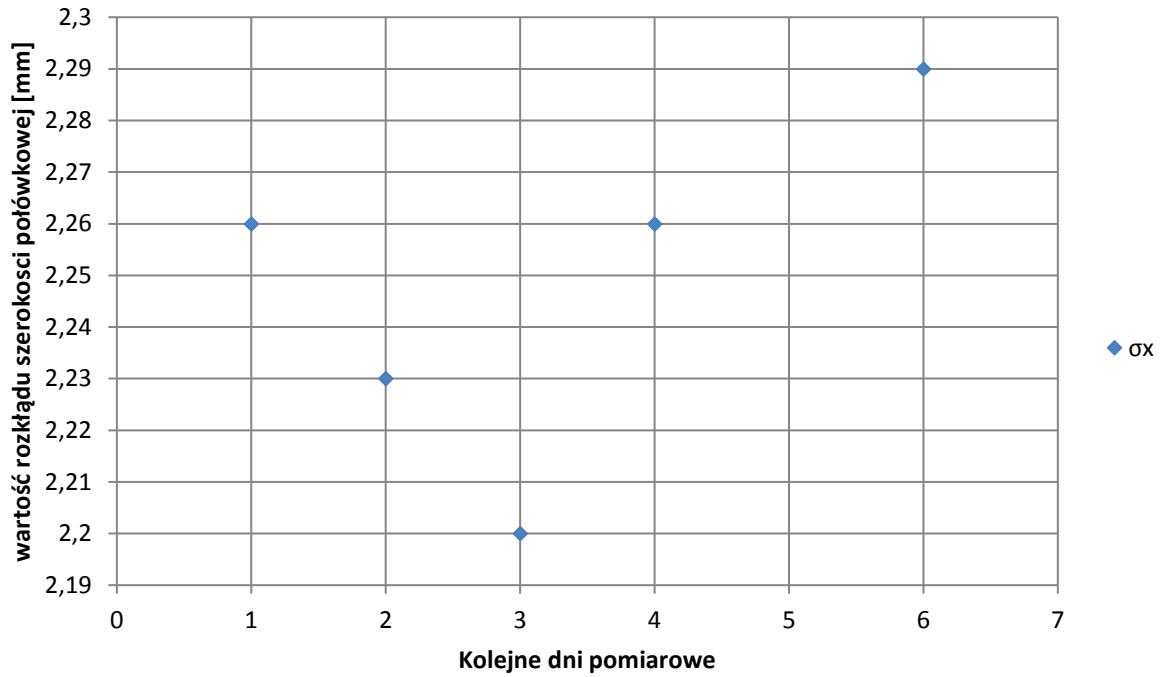
Wykres 3 Wykres zbiorczy rozkładu natężenia prądu wiązki dla takich samych wartości prądu wiązki na wyjściu z cyklotronu, dla profilomierza P1 w kierunku X, w różnych dniach pomiarowych (autor Konrad Guguła)

Należy zauważyć, wykres 3, że stabilność rozmiaru wiązki w zależności od dnia pomiarowego przy stałych parametrach jest bardzo dobra, a zmiana szerokości połówkowej nie przekracza 0,5% wykres 4.

Wykres 5 pokazuje jak zmienia się kształt przekroju poprzecznego wiązki protonów w zależności od prądu wiązki. Do oceny kształtu przekroju zastosowano pomiar szerokości połówkowej  $\sigma_x$  i  $\sigma_y$ . Widoczny wpływ wartości prądu wiązki protonów na parametry  $\sigma_x$  i  $\sigma_y$  należy uwzględnić przy projektowaniu optyki wiązki dla potrzeb eksperymentów fizyki jądrowej i terapii protonowej.

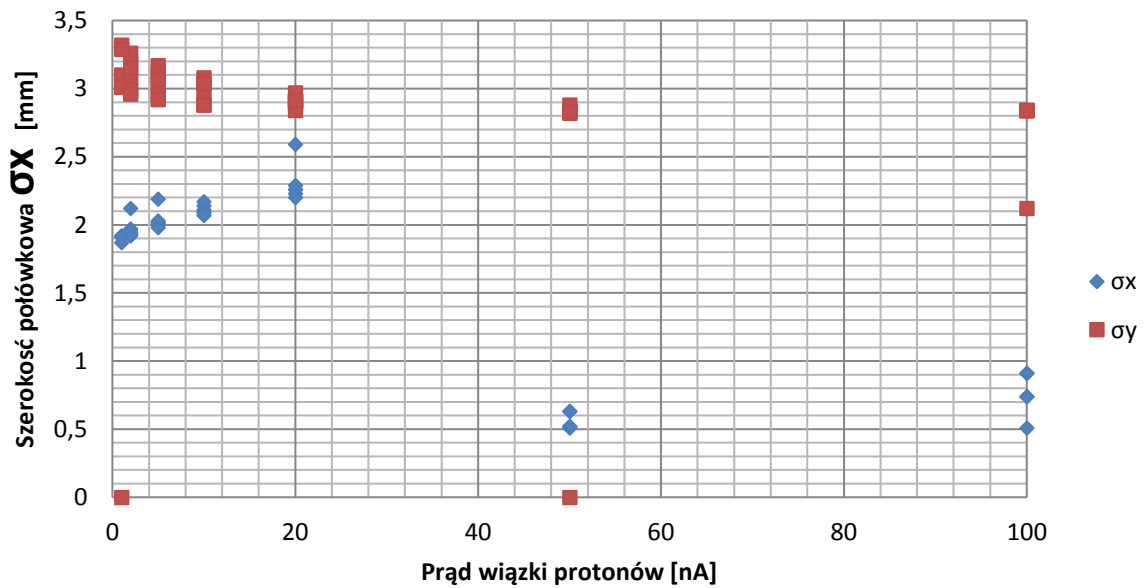


### Zależność $\sigma_x$ [mm] od kolejnych dni pomiarowych



Wykres 4 Zmierzona wartość  $\sigma_x$  w zależności w kolejnych dniach pomiarowych (autor Konrad Guguła)

### Zależność szerokości połówkowej $\sigma_x$ i $\sigma_y$ [mm] od prądu wiązki protonów [nA] zmierzona w kolejnych dniach pomiarowych



Wykres 5 Zależność szerokości połówkowej [mm] od natężenia prądu wiązki protonów [nA]

## 4. Wnioski

Celem analizy było stwierdzenie, czy system Proteus 235 dostosowany do leczenia pacjentów, może mieć ograniczenia w stosowaniu do eksperymentów fizyki jądrowej. Stwierdzono, że system diagnostyki wiązki jest niewystarczający do określenia parametrów wiązki protonów, w szczególności dla skrajnych: niskich i wysokich natężeń prądu wiązki. System nie odwzorowuje dobrze tła wiązki (przy pomiarach do 20 [nA] tło jest prawie niewidoczne, a obserwowane przy natężeniach 50 [nA] i wyżej jest około 10 000 razy mniejsze od maksymalnego natężenia w "jądrze" wiązki protonów).

Drugim ważnym wnioskiem jest stwierdzenie zmiany szerokości połówkowej w zależności od natężenia prądu wiązki na wyjściu z cyklotronu. Na to zjawisko duży wpływ ma wartość napięcia akceleracji [2], natężenie prądu wydatkowanego ze źródła jonów [2] oraz zużycie się szczeliny źródła jonów.

Powyższe spostrzeżenia należy wziąć pod uwagę przy projektowaniu nowej optyki wiązki zarówno na potrzeby eksperymentów fizyki jak i terapii protonowej.

## 5. Literatura

1. IBA. System terapii protonowej. Podręcznik konserwacji dla Instytutu Fizyki Jądrowej. Tom 1.
2. J.B.England, *Metody doświadczalne fizyki jądrowej* PWN warszawa 1980
- 3.E.O. Lawrence, D Cooksay, D.R Corson, L.W. Alvarez, W.MBrobeck, E.M.McMillian, W.W. Salisbury, R.L. Thornton, *Phys. Rev.*,**37**, 1707 (1939)
4. L.J. Laslett, *Focusing of Charged Particle, vol 2* Academic Press, New York and London 1967
5. B. Wasilewska, (M. Kmiecik, A. Maj, J. Łukasik, P. Pawłowski, M. Ciemała, M. Ziębliński, P. Lasko, J. Grębosz, I. Ciepał, B. Fornal, K. Guguła, Ł.W. Iskra, M. Krzysiek, K. Mazurek, W. Parol, B. Sowicki, A. Szperłak) et al.,  
*The first results from studies of gamma decay of proton-induced excitations at the CCB facility*,  
*Acta Phys. Pol. B*, **48** (2017) 415-418