

Raport nr 2005/AP

**Propozycje modernizacji sondy izotopowej
do cyklotronu AIC-144**

Barbara Petelenz ^a, Mirosław Szalkowski

Kraków, 2007

^a Instytut Fizyki Jądrowej PAN, 31-342 Kraków, ul. Radzikowskiego 152, Zakład Fizykochemii Jądrowej,
tel. 012-66-28-399, e-mail: Barbara.Petelenz@ifj.edu.pl

Spis treści

1. Wstęp 5
2. Opis sondy izotopowej 7
 - 2.1. Układ mechaniczny 7
 - 2.2. Układ chłodzenia tarczy 8
 - 2.3. Układ próżniowy 8
 - 2.4. Układ pneumatyczny 9
 - 2.5. Układ elektryczny 9
 - 2.6. Układ sterowania i kontroli 10
3. Podsumowanie prób technicznych 11
 - 3.1. Działanie układu mechanicznego 11
 - 3.2. Działanie układu chłodzenia tarczy 11
 - 3.3. Działanie układu próżniowego 12
 - 3.4. Działanie układu pneumatycznego 12
 - 3.5. Działanie układu elektrycznego 12
 - 3.6. Działanie układu sterującego 12
4. Podsumowanie prób eksploatacyjnych 13
 - 4.1. Eksploatacja układu mechanicznego 13
 - 4.2. Eksploatacja układu chłodzenia tarczy 14
 - 4.3. Eksploatacja układu próżniowego 14
 - 4.4. Eksploatacja układu pneumatycznego 15
 - 4.5. Eksploatacja układu elektrycznego 15
 - 4.6. Eksploatacja układu sterującego 15
5. Raport z przebiegu aktywacji tarcz na wiązce wewnętrznej 16
 - 5.1. Aktywacja miedzi protonami 16
 - 5.2. Otrzymywanie izotopu arsenu ^{73}As z germanu, w reakcji $\text{Ge}(p,xn)^{73}\text{As}$ 16
6. Propozycje zmian projektowych i wykonawczych 17
 - 6.1. Propozycje zmian w układzie mechanicznym 17
 - 6.2. Konieczne zmiany w układzie chłodzenia tarczy 18
 - 6.3. Konieczne zmiany w układzie próżniowym 18
 - 6.4. Konieczne zmiany w układzie pneumatycznym 18
 - 6.5. Konieczne zmiany w układzie elektrycznym 18
 - 6.6. Konieczne zmiany w układzie sterującym 18
 - 6.7. Inne konieczne zmiany wykonawcze 19
7. Zakończenie 19
8. Podziękowania 20
9. Rysunki 20
10. Zestawienie części sondy izotopowej cyklotronu AIC-144 (stan w roku 2007) 22
11. Tabela gatunków stali według norm różnych krajów 30
12. Odsyłacze 30

Abstract

The report describes a prototype of the remotely controlled internal target assembly, designed and built in the Institute of Nuclear Physics. After a series of technical tests, the machine was used in 2006 to produce ^{73}As from proton bombarded germanium targets. Before this, distribution of the proton beam on the target was checked by autoradiography of irradiated copper foils exposed on large area thermoluminescence detectors. Since the experiments exhibited some severe drawbacks of the machine, the report gives hints how to get rid of them, which is the answer to the question asked by the Deputy Director of the Institute on the topic. The construction parts of the assembly are listed in the Chapter 10.

Captions to Figures.

Fig. 1. Design of the internal target assembly; version of 1998.

1 – target head; 2 – bearing tube; 3 – contour of the acceleration chamber; 4 – place of the hand-actuated gate valve; 5 – sight glass; 6 – vacuum sensor; 7 – shaft seals; 8 – target clamps actuator; 9 – water inlet; 10 – 100 mm gate valve; 11 – 160 mm gate valve.

Fig. 2. Internal target assembly during technical tests; year 2005.

1 – target head with clamps open; 2 – transition chamber (front) and two 160 mm gate valves; 3 – sight glass; 4 – vacuum sensor; 5 – linear motion X; 6 – angle valve; 7 – linear motion Z.

Fig. 3. Internal target assembly integrated with the AIC-144 cyclotron; year 2006.

1 – keeper of the magnet; 2 – pole shoe; 3 – acceleration chamber; 4 – hand-actuated 160 mm gate valve; 5 – electropneumatic 160 mm gate valve; 6 – electropneumatic 50 mm angle valve; 7 – vacuum sensor; 8 – shaft seal feedthrough; 9 – bearing tube and the linear motion X; 10 – actuator of the target clamps and water inlet; 11 – mounting plate for water and air valves; 12 – top of the linear motion Z.

Fig. 4. Dose rate distribution on proton irradiated copper target, measured by autoradiography on large area thermoluminescence detectors. The beam direction is from the top of the Figure.

The maximum dose rate is represented by the round spot and its „halo” at the top of the picture.

Captions to Table headers

1. Vacuum system
2. Clamps and actuators
3. Target transport
4. Pneumatics system
5. Cooling system
6. Remote control

1. Wstęp

W latach 1996-2005 w Instytucie Fizyki Jądrowej wiele pracy poświęcono zaprojektowaniu, budowie i uruchomieniu „zautomatyzowanego urządzenia do otrzymywania izotopów promieniotwórczych na wiązce wewnętrznej cyklotronu AIC-144”, które dalej będzie nazywane sondą izotopową (ang.: *internal target assembly*, ros.: *probnik*). Celem tej pracy było wytworzenie profesjonalnego narzędzia mogącego zastąpić sondę pomiarową cyklotronu, prowizorycznie zaadaptowaną do aktywacji tarcz i otrzymywania izotopów – jednego ze statutowych zadań Zakładu Fizykochemii Jądrowej IFJ PAN. Nowa sonda izotopowa była potrzebna, bo sonda pomiarowa nie zapewniała ani dostatecznego odprowadzenia ciepła z tarczy, ani wymaganej powtarzalności geometrii, tak, że wiele podejmowanych aktywacji kończyło się niepowodzeniem.

Pierwsza połowa roku 2006 była początkiem eksploatacji nowej sondy. Wykonano na niej około 10 aktywacji, badawczych lub użytkowych. To doświadczenie wykazało, że mimo starań włożonych w projekt sondy, ma ona istotne wady, o których usunięcie próbowaliśmy się starać.

W lipcu 2006 roku decyzje Dyrektora IFJ PAN nadały wyłączność wykorzystania cyklotronu AIC-144 projektowi terapii hadronowej¹. Rozumiejąc ich przesłanki, uznaliśmy prace związane z sondą za zakończone, choć przedstawiciele naszego Zakładu nadal są zapraszani na regularnie odbywające się „narady cyklotronowe”. Obecnie wracamy do tematu sondy, gdyż na niedawnej naradzie Wicedyrektor IFJ PAN² zadał pytanie:

„Jakie zmiany w konstrukcji nowej sondy izotopowej byłyby potrzebne, aby osiągnąć odpowiednie warunki aktywacji tarcz wiązką wewnętrzną?”

Oprócz pytania (odtworzonego tu z pamięci) padło zapewnienie, że Warsztaty IFJ pod nowym kierownictwem mogą takiemu zadaniu dać pomoc projektową i wykonawczą. Respektując decyzję Dyrektora IFJ PAN, wykluczając obecnie program aktywacji tarcz wiązką wewnętrzną, przedstawiamy poniżej próbę odpowiedzi na powyższe pytanie.

Przez „odpowiednie warunki aktywacji” rozumiemy:

- a) Optymalny dla danej reakcji jądrowej zakres energii przyspieszanych cząstek, tj. zakres obejmujący maksimum przekroju czynnego reakcji prowadzącej dożądanego produktu, przy minimalizacji przekrojów czynnych reakcji konkurujących. W przypadku wiązki wewnętrznej oznacza to ustawienie tarczy na orbicie akceleracji o promieniu R odpowiadającym najwyższej energii zżądanego zakresu.

- b) Maksymalny prąd wiązki, co jest najbardziej ekonomiczne, ponieważ skraca niezbędny czas aktywacji. W przypadku wiązki wewnętrznej wymaganie to jest zawsze spełnione, gdyż unika się strat intensywności wiązki związanych z defleksją.
- c) Minimalizację prawdopodobieństwa awarii cyklotronu, zwłaszcza takiej, która mogłaby wykluczyć lub zdeorganizować jego pracę dla innych użytkowników.
- d) Jak najlepszą (zgodną z zasadą ALARA^a) ochronę radiologiczną ludzi pracujących przy aktywacjach tarcz lub w sąsiedztwie cyklotronu.

Założenia użytkowe do projektu sondy izotopowej zebrano w Raporcie IFJ z roku 1996³, a projekt jej części mechanicznej opisano w Raportach z lat 1997 i 1998^{4,5}. Założenia do projektu zostały napisane na podstawie informacji od ówczesnego kierownika Działu Cyklotronowego IFJ, sugerujących, że w cyklotronie AIC-144 nigdy nie będzie możliwe wyprowadzenie wiązki o energii i natężeniu, pozwalających na opłacalną produkcję izotopów. Na podstawie elementarnej wiedzy o wadach i zaletach aktywacji wiązką wewnętrzną staraliśmy się o projekt urządzenia do aktywacji tarcz w stanie stałym, głównie z czystych metali, choć dopuszczaliśmy także użycie substancji bardziej złożonych lub półmetalicznych, pod warunkiem skutecznego odprowadzenia ciepła z tarczy. Kwestii chłodzenia tarcz zostało poświęcone specjalne opracowanie⁶.

Aby zapewnić maksymalną ochronę radiologiczną personelu, przy jednoczesnym dążeniu do dużych aktywności otrzymywanych produktów, zakładaliśmy, że nowa sonda izotopowa musi być urządzeniem sterowanym zdalnie, a program sterujący musi kontrolować wszystkie etapy procesu aktywacji i uwzględniać liczne możliwe stany awaryjne. Program sterujący został opracowany przez inżyniera-automatyka⁷ według katalogu spodziewanych normalnych i awaryjnych stanów sondy izotopowej, sporządzonego na podstawie konsultacji ze specjalistą⁸ oraz doświadczeń zdobytych przez nasz zespół⁹ na cyklotronie U-120.

Szczegółowe dane techniczne sondy można znaleźć w cytowanych publikacjach.

W dalszych częściach tego raportu zostaną przedstawione następujące informacje:

- Skrócony opis sondy izotopowej, zaprojektowanej i zbudowanej w IFJ;
- Podsumowanie prób technicznych sondy, wykonanych na hali montażowej;
- Podsumowanie prób eksploatacyjnych sondy, wykonanych na hali cyklotronu;
- Propozycje zmian projektowych.

Pierwotny projekt sondy izotopowej, wykonany w IFJ PAN, pokazano na Rys. 1.

^a ALARA (ang.) = *as little (dose) as reasonably achievable*.

2. Opis sondy izotopowej

2.1. Układ mechaniczny

2.1.1. Rama główna sondy, prowadnice liniowe i płyta montażowa

Rama główna, zbudowana w większości z ceowników ze stali węglowej, zmontowana jest na kółkach, które umożliwiają przewożenie całej sondy po posadzce. Na szczycie ramy spoczywa prowadnica wzdłużna (Isel Automation, DE) z silnikiem krokowym i hamulcem, zapewniająca przesuw rury stalowej niosącej tarczę w kierunku $\pm X$, czyli wzdłuż promienia akceleracji, w przód albo w tył; a „w przód” oznacza: w głąb komory akceleracji. Mechanizm prowadnicy jest stalowy, obudowa – aluminiowa. Do przedniej części ramy głównej przymocowane są 2 analogiczne prowadnice: Y (ruch poziomy prostopadły do X , zespolony z napędem Z) oraz Z (ruch pionowy). Skok śrub przesuwów liniowych wynosi 2,5 mm. W dolnej części ramy z tyłu umocowany jest sterownik silników krokowych, a w środkowej – aluminiowa płyta montażowa z układem elektrozaworów pneumatycznych i wodnych. Na górze ramy z przodu znajduje się komora próżni wstępnej, opisana niżej w punkcie dotyczącym układu próżniowego.

2.1.2. Rura nośna

Jest to polerowana stalowa rura bez szwu, o średnicy zewnętrznej 48 mm. Wewnątrz tej rury znajdują się: 2 równoległe pręty stalowe, obsługujące mechanizm szczęk przytrzymujących wymienną część tarczy; 2 rury obiegu wody chłodzącej tarczę; 1 koncentryczny ekranowany kabel do pomiaru prądu na tarczy; 1 kabel czujnika temperatury. Rurę nośną i pręty wykonano z niemagnetycznych odmian stali AISI 316L lub AISI 321L.

2.1.3. Głowica tarczy

Głowicą tarczy nazywamy zakończenie rury nośnej od strony komory akceleracji. Głowica, izolowana galwanicznie od reszty układu, jest chłodzona od wewnątrz wodą. Jej zamknięciem od strony padania wiązki przyspieszonych cząstek jest płaska płytka z elektrolitycznie czystego aluminium, przykręcana na uszczelce z odpornego termicznie fluoroelastomeru (Viton®). Do kanału nawierconego w płytce wsunięty jest oporowy czujnik temperatury. Z przodu głowicy, szczęki z twardej stali dociskają wymienną część tarczy do chłodzonej powierzchni. Wymienna część tarczy to cienka blacha, zwykle miedziana, z naniesioną warstwą materiału do aktywacji. Założenia projektowe wymagały, aby wiązka padała na tarczę pod ostrym kątem, bo to zwiększa powierzchnię chłodzenia tarczy oraz efektywną grubość drogich na ogół materiałów tarczowych.

2.1.4. Zespół chwytaków

W sondzie współpracują stale 2 chwytaki, aktywowane pneumatycznie. Pierwszy, zamocowany na przewodnicy *Y*, chwytka wymienną część tarczy podawaną ręcznie. Zacisk jego szczęk następuje po ręcznej aktywacji zaworu w układzie pneumatycznym, a reszta czynności odbywa się pod kontrolą programu sterującego. Po wyniesieniu tarczy na pozycję roboczą (ruchy przewodnic *Y* i *Z*) automatycznie zaciskają się szczęki chwytaka umieszczonego na głowicy tarczy (2.1.3.), szczęki pierwszego chwytaka są zwalniane, a napęd *Y* rozpoczyna ruch wsteczny. Po zakończeniu aktywacji zwalniają się szczęki drugiego chwytaka, pierwszy chwytak przejmuje tarczę i po osiągnięciu żądanej pozycji na dole upuszcza ją do pojemnika oczekującego na stacji początkowej transportera płytkowego.

2.1.5. Transporter płytkowy

Przemysłowy transporter płytkowy (Translog, PL), obsługiwany z tablicy rozdzielczej w korytarzu, jest zainstalowany poniżej poziomu podłogi w hali cyklotronu, a dalej jego tor wznosi się kanałem w ścianie osłonowej, po czym osiąga poziom 1,2 m nad podłogą obok końcówki jonowodu na hali sąsiedniej. Początkowa stacja transportera znajduje się pod skrajnym zewnętrznym położeniem przewodnicy *Y*. Pojemnik oczekujący na stacji początkowej jest wykonany z plastiku. Po dowiezieniu tarczy na stację końcową ma on być zdejmowany ręcznie (manipulatorem) z transportera i ładowany do pojemnika ołowianego. Pojemnik ołowiany z materiałem radioaktywnym ma być wywożony na wózku ręcznym do miejsca obróbki tarczy.

2.2. Układ chłodzenia tarczy

Chłodziwem tarczy jest strumień wody dejonizowanej, dostarczanej do tylnej części sondy z sieci obsługującej chłodzenie całego cyklotronu AIC-144. Wewnątrz stalowej rury nośnej woda płynie do tarczy i z powrotem dwoma równoległymi rurami z PCW, izolowanymi galwanicznie od reszty układu. W przestrzeni między wlotem i wylotem rur a powierzchnią płytki aluminiowej, zamykającej głowicę od strony próżni cyklotronu, woda przepływa w sposób burzliwy. Od strony przepływu wody płytka jest nafrezowana w żeberka tak, aby ułatwić wymianę ciepła między metalem a chłodziwem. Od strony kontaktu z wymienną częścią tarczy płytka ta ma powierzchnię gładką.

2.3. Układ próżniowy

Na układ próżniowy sondy składa się komora załadunku tarczy z zaworami, przyłączami i czujnikiem próżni (inaczej: komora próżni wstępnej). Komora próżni wstępnej to układ zespawanych grubościennych rur ze stali niemagnetycznej (typ 1.4541 i 1.4435) o średnicach 160 i 100 mm oraz długości około 40 cm, nie licząc kołnierzy przyłączeniowych. Służy ona do szybkiego osiągnięcia niskiej próżni po każdym kolejnym załadunku nowej tarczy. Komora próżni wstępnej jest odgradzona od komory akceleracji dwoma zasuwami próżniowymi DN160 (Vakuumventile VAT, CH): normalnie otwartą, obsługiwaną ręcznie i normalnie zamkniętą, aktywowaną elektropneumatycznie. Tarcze do

napromieniania są ładowane z prawej strony komory przez okno zabezpieczone zasuwą DN100 (Vakuumventile VAT, CH), aktywowaną elektropneumatycznie, normalnie zamkniętą. Naprzeciw zasuwie DN100 znajduje się wziernik szklany o tej samej średnicy, a na górze zamontowany jest czujnik próżni i aktywowane elektropneumatycznie zawory: kątowy DN50, odpowietrzający i prosty DN16, zapowietrzający, z dławikiem (wszystko z firmy Pfeiffer-Balzars, DE). Kontroler próżni TPG 251A (Pfeiffer, DE), współpracujący z czujnikiem, jest zainstalowany w pulpicie nr 7, w dyspozytorni cyklotronu. Do zaworu DN50 przyłączona jest elastyczna rura stalowa o tej samej średnicy i długości 1 m, którą można połączyć z dowolnie dobraną pompą próżniową (obecnie układ nie ma swojej dedykowanej pompy). Tylna część komory załadowniczej oddzielona jest od ciśnienia atmosferycznego układem simeringów oraz uszczelkach teflonowych (wszystko na smarze próżniowym), obejmujących szczelnie rurę nośną tarczy, poruszającą się w komorze ruchem posuwisto-zwrotnym. Aktualne stany położenia wszystkich zaworów (oprócz zasuw ręcznej) są kontrolowane przez program sterujący. Kontrola zasuw ręcznej wymaga uwagi operatora. Zasuwa ta jest i musi być normalnie otwarta, a zamknąć ją trzeba tylko (i koniecznie) w przypadku zamierzonego odłączenia całej sondy od komory akceleracji. Ze względu na silne pole magnetyczne cyklotronu, wszystkie zawory są aluminiowe.

2.4. Układ pneumatyczny

Układ pneumatyczny składa się z dedykowanego kompresora, kompletu węży ciśnieniowych i zaworów aktywowanych elektromagnetycznie. Służy on do uruchamiania kątowych i zasuwowych zaworów próżniowych oraz do obsługi chwytaków, działających w różnych fazach procesu załadunku, aktywacji i demontażu tarczy. Ciśnienie robocze w układzie to 6-8 atm.

2.5. Układ elektryczny

Wszystkie zawory są zasilane napięciem 24 V DC, a silniki krokowe i kompresory – 230 V AC. Ekranowany kabel koncentryczny do pomiaru prądu na tarczy jest wyprowadzony przez przepust próżniowy w tyle rury nośnej, do połączenia z mikroamperomierzem cyfrowym N12S-501005 (Lumel, PL). Kupiono 2 takie mierniki, ale żaden nie jest podłączony do sondy. Pracownicy Działu Cyklotronowego IFJ uważają, że tutaj powinien być miernik analogowy.

Wszystkie kable sygnałowe sondy mają swoje zakończenia na listwie przyłączeniowej na ramie nośnej. Odpowiednia druga listwa, spełniająca rolę gniazda przyłączeniowego, jest zamocowana przy jarzmie elektromagnesu, skąd kable są doprowadzone do pulpitu kanałem w posadzce hali. Obecność dwóch współpracujących listew przyłączeniowych pozwala w razie potrzeby łatwo odpiąć sondę od cyklotronu i przewieźć ją np. na stanowisko remontowe.

2.6. Układ sterowania i kontroli

Układ sterujący sondy to zespół sterowników OMRON z dedykowanym oprogramowaniem SYSWIN 3.4 i ekranem dotykowym, zainstalowany w pulpicie nr 7 w dyspozytorni cyklotronu. Sterownik CQM1H ma 32 wejścia binarne 24VDC, po 4 wejścia i wyjścia analogowe 4-20mA, 24 wyjścia przekaźnikowe oraz po 1 porcie szeregowym RS232C i RS422/485. Podtrzymaniu napięcia w stanach awaryjnych sondy służy UPS (SU 1400 INET z kartą relay I/O AP 9610) o mocy i kształcie impulsu (sinusoidalny) dobranych przez inżyniera-automatyka do właściwości zasilanych urządzeń. Podzespołem układu sterującego jest sterownik 3 silników krokowych (C116-4, Isel Automation, DE), będący integralną częścią zespołu napędów *X*, *Y* i *Z*. Jedną z opcji oprogramowania sterowników, wykorzystywaną w czasie prób technicznych sondy, jest możliwość uruchomienia każdego z podzespołów sondy osobno i niezależnie od innych.

Do podglądu pracy sondy z pulpitu sterowniczego została zakupiona kamera CCD oraz obiektyw, statyw, monitor i kable sygnałowe. W czasie remontu w IFJ w 2006 roku kamera została ukradziona. Pozostałe elementy są przechowywane w Zakładzie 57 IFJ PAN.

3. Podsumowanie prób technicznych

Przez „próby techniczne” rozumiemy wszystkie próby działania sondy izotopowej wykonane przed przyłączeniem jej do komory akceleracji cyklotronu AIC-144 (Rys. 2).

3.1. Działanie układu mechanicznego

3.1.1. *Działanie elementów konstrukcyjnych i napędów*

- a) W czasie przetaczania sondy w budynku cyklotronu (07.07.2004) stwierdzono, że jej kółka mają istotny błąd projektowy: przegubowe osadzenie powoduje, że gdy napotkają większą nierówność posadzki (np. szyny wbudowane w podłogę), to następuje „podwinięcie się” ruchomej oprawy koła i uwięzienie ciężkiej maszyny na przeszkodzie.
- b) Układ tablicy z zaworami jest źle zaprojektowany. Przewody pneumatyki krzyżują się, układ uzdatniania sprężonego powietrza nie jest umieszczony w najniższym punkcie, niektóre zawory są stłoczone, a wolne przestrzenie montażowe nie są zagospodarowane. Tablica ta nie spełnia też roli usztywnienia układu nośnego, a mogłaby (jest to potrzebne).
- c) W trybie sterowania ręcznego (02-04.01.2006) sprawdzono działanie napędów *Y* i *Z* w polu elektromagnesu cyklotronu, zasilanego prądem 600 A. Stwierdzono, że pole magnetyczne nie zaburzyło działania silników krokowych.

3.1.2. *Działanie rury nośnej*

- a) Na polerowanej powierzchni rury zauważono kilka zgorzelin o średnicy około 1 mm, które prawdopodobnie są wadą fabryczną. Wypełniono je żywicą epoksydową, wypolerowano ręcznie, a dla uszczelnienia i poślizgu zastosowano smar próżniowy (listopad 2005).
- b) Według pomiarów wykonanych z dokładnością 0,02 mm, średnica rury nośnej ma średnio 48,33 mm. Rozrzut wartości na całej długości roboczej rury (90 cm) dochodzi do 0,2 mm. (23.11.2005). Może to utrudniać zachowanie próżnioszczelności na simeringach.

3.1.3. *Działanie głowicy tarczy*

Bez zastrzeżeń.

3.1.4. *Działanie zespołu chwytaków*

Każdy chwytak z osobna działał prawidłowo.

3.2. Działanie układu chłodzenia tarczy

- a) Według pierwotnej koncepcji, wymienna część tarczy miała być jednocześnie zamknięciem chłodnicy wodnej od strony próżni cyklotronu i tak wykonano prototyp. Później z tego

zrezygnowano z powodu trudności w zaprojektowaniu i wykonaniu głowicy wodoszczelnej i próżnioszczelnej oraz odpowiednio lekkiej.

- b) Stwierdzono błąd projektowy: realizacja pierwotnej koncepcji osuszania wymiennej tarczy sprężonym powietrzem spowodowała zassanie wody do układu pneumatyki (06.01.2005), a po jakimś czasie – korozję i zatarcie niektórych tłoków. Błąd usunięto, rozdzielając obiegi wody i powietrza. Po oczyszczeniu tłoków układ znowu działał prawidłowo (09.05.2005).
- c) Czujnik przepływu wody chłodzącej działał prawidłowo (02.06.2004).

3.3. Działanie układu próżniowego

- a) Użyto zespołu pomp olejowych: rotacyjnej i dyfuzyjnej (Tepro, PL). Sama pompa rotacyjna pozwala osiągnąć ciśnienie rzędu 10^{-2} mbar w komorze próżni wstępnej (25-26.02.2004). Włączenie pompy dyfuzyjnej poprawia próżnię do wartości 10^{-5} mbar (04.07.2005).
- b) Próżnioszczelność sondy, sprawdzana szukaczem helowym na stanowisku montażowym, była zadowalająca (12.03.2004). Kolejne próby wskazały potrzebę poprawienia spawu komory próżni wstępnej (17.05.2004) oraz oczyszczenia i konserwacji zasuw DN100 (lipiec 2005). Wszystkie potrzebne poprawki wykonano.
- c) Zauważono, że po odpompowaniu komory próżni wstępnej do 10^{-6} mbar, ruch wzdłużny rury nośnej powodował miejscowe nacieki do 10^{-4} – 10^{-3} mbar (26-27.09.2005). Wypełnienie wżerów i posmarowanie powierzchni rury (p. 3.1.2.a) skutecznie zmniejszyły naciek. Docisk simeringów wydaje się wystarczający do utrzymania żądanej próżnioszczelności (p. 3.1.2.b).

3.4. Działanie układu pneumatycznego

Błędem projektowym okazało się użycie zbyt szerokich i miękkich przewodów pneumatyki. Winyłowe przewody pneumatyczne wymieniono więc na węższe i bardziej twarde, poliuretanowe, oraz zamontowano szybkozłączki i reduktory średnic $\varnothing 10/6$ i $\varnothing 10/4$ mm (14.05.2003). Po tych zmianach układ pneumatyczny działał znacznie bardziej skutecznie (15.05.2003).

3.5. Działanie układu elektrycznego

Bez zastrzeżeń.

3.6. Działanie układu sterującego

W trybie automatycznym i ręcznym symulowano wielokrotnie aktywacje tarcz w warunkach prawidłowych oraz w hipotetycznych stanach awaryjnych (utrata próżni, chłodzenia, zasilania). Na wszystkie symulowane stany awaryjne system sterujący reagował zgodnie z założeniami projektowymi.

4. Podsumowanie prób eksploatacyjnych

Pod nazwą „próby eksploatacyjne” rozumiemy wszystkie próby działania sondy, wykonane po:

- a) przyłączeniu komory próżniowej sondy do komory akceleracji cyklotronu AIC-144;
- b) prawidłowym ustawieniu połączeń elektrycznych, pneumatycznych i wodnych;
- c) otwarciu ręcznej zasuwki próżniowej między komorą załadunku tarczy a komorą akceleracji;
- d) założeniu wymiennej części tarczy do pierwszego chwytaka;
- e) uruchomieniu programu sterującego sondą;
- f) otrzymaniu zezwolenia dyspozytora cyklotronu na początek akceleracji cząstek.

Poniżej podany jest wykaz obserwacji związanych z eksploatacją sondy.

4.1. Eksploatacja układu mechanicznego

4.1.1. *Eksploatacja elementów konstrukcyjnych i napędów*

- a) Od strony komory akceleracji występuje nadmierne stłoczenie przyrządów sondy (Rys. 3). Utrudnia to czynności operatorskie i zwiększa zagrożenie radiacyjne, gdyż wymusza manipulacje ręczne zbyt blisko aktywnych części cyklotronu.
- b) Mimo masywności elementów konstrukcyjnych, pionowa paleta napędów Y i Z chwieje się przy przypadkowym dotknięciu przez operatorów, co skutkuje brakiem powtarzalności geometrii i trudnościami w osadzeniu wymiennej części tarczy.
- c) Mechaniczne wyłączniki krańcowe na prowadnicach liniowych są umieszczone w sposób narażający je na uszkodzenie przez nieuwagę osób pracujących w pobliżu (16.01.2006).

4.1.2. *Eksploatacja rury nośnej*

- a) Przedni koniec rury ma skłonność do opadania pod ciężarem niesionej głowicy, zwłaszcza jeżeli rośnie odległość między osadzeniem rury w simeringach a wybraną orbitą akceleracji. Przy suwie $\Delta X = 125$ cm wielkość strzałki ugięcia rury grozi zwarem głowicy z dnem komory akceleracji i awarią cyklotronu (18.01.2006).

4.1.3. *Eksploatacja głowicy tarczy*

- a) Zmienny i zależny od promienia akceleracji kształt toru wiązki powoduje, że stały kąt, pod jakim tarcza wchodzi do komory cyklotronu, jest dla wielu wartości R nieoptymalny. Brakuje dodatkowego stopnia swobody $\delta\varphi$, czyli możliwości małych zmian kąta między osią X sondy a styczną do aktualnej orbity akceleracji. Stosowane dotąd przez nas formowanie wymiennych części tarczy w kształt cienkich klinów wymaga indywidualnego frezowania wymiennych płytek, jest niewygodne i bardzo podwyższa koszty materiałowe.

- b) Brakuje stałego połączenia głowicy tarczy z miernikiem natężenia prądu na tarczy.

4.1.4. *Eksploatacja chwytaków*

- a) Sposób mocowania wymiennej części tarczy w szczękach pierwszego chwytaka nie jest wystarczająco dokładny, stabilny, ani powtarzalny. Wiotka blaszka montażowa, z założenia amortyzująca niewielkie niedokładności położenia tarczy w szczękach, jest zbyt podatna na wyboczenia w czasie ruchu wzdłuż osi Y , co w niekorzystnym przypadku może doprowadzić do zgniecenia tarczy i uszkodzenia zasuw próżniowej DN100.
- b) Błąd operatorski w eksploatacji układu sterującego (p. 4.6.) spowodował że w czasie aktywacji (nawet tak krótkim jak 15 minut) szczęki chwytaka nr 2 nie utrzymały docisku wymiennej części tarczy do powierzchni chłodnicy (27.04.2006). Brak docisku zawsze pogarsza wydajność chłodzenia tarczy i może prowadzić do jej stopienia, a nawet odparowania w komorze akceleracji.

4.1.5. *Eksploatacja transportera płytkowego*

- a) Transporter prawidłowo przenosi plastikowy pojemnik z wymienną częścią tarczy, ale tylko jeżeli włoży się ją tam ręcznie. Brakuje odcinka toru, który po aktywacji kierowałby tarczę na stację początkową transportera.
- b) Stacja końcowa transportera, gdzie zatrzymuje się aktywna tarcza, nie ma osłony radiacyjnej.

4.2. Eksploatacja układu chłodzenia tarczy

- a) Po kilku zaledwie próbach eksploatacyjnych stwierdzono korozję chemiczną na chłodzonej wodą aluminiowej powierzchni głowicy. Podejrzewa się złą jakość wody chłodzącej.
- b) Wymienna część tarczy nie ma dobrego kontaktu termicznego z chłodnicą, co powoduje lokalne przegrzania od strony wiązki.

4.3. Eksploatacja układu próżniowego

- a) W zakresie niskiej próżni (do 10^{-3} bar) i bez suwu rury nośnej wzdłuż osi X , komora załadowcza jest szczelna (08.01.2006). Po przerwie w eksploatacji (od 01.02.2006) próżnioszczelność w warunkach suwu była zadowalająca (20.04.2006). Odpompowywanie komory załadowczej za pomocą starej pompy rotacyjnej uznano za niewydajne (24.04.2006).
- b) Po uzyskaniu niskiej próżni w komorze załadowczej ($\sim 10^{-3}$ bar), otwarcie zasuw DN160 (elektropneumatycznej i ręcznej) powoduje pogorszenie próżni cyklotronu do $1,3 \times 10^{-3}$ bar, po czym stan próżni w komorze akceleracji powoli poprawia się (08.01.2006).
- c) W polu elektromagnesu zasilanego prądem ≥ 570 A zawieszają się wyłączniki krańcowe zasuw DN160 (18., 25. i 27.01.2006). Jest to bardzo poważna wada, gdyż pozostanie zaworów w przy-

padkowych położeniach, niemożliwych do zinterpretowania przez program sterujący, skutkuje utratą zdalnej kontroli nad działaniem sondy. Kłopot wynika stąd, że aluminiowe są tylko korpusy zaworów, a kulki w łożyskach ślizgowych i rury ciśnieniowe pneumatycznych aktywatorów zasuw są ferromagnetyczne, o czym producent nie informuje klienta.

4.4. Eksploatacja układu pneumatycznego

Bez zastrzeżeń.

4.5. Eksploatacja układu elektrycznego

Odizolowano galwanicznie napędy *Y* i *Z* od obudowy (19.04.2006), ale (21.04.2006) stwierdzono przebicie galwaniczne na napędzie *X*. Przyczyny tego przebicia nie wyjaśniono.

4.6. Eksploatacja układu sterującego

- a) Pracownicy Działu Cyklotronowego połączyli kabel pomiaru ładunku na tarczy z miernikiem zainstalowanym na głównym pulpicie w dyspozytorni cyklotronu, po czym sonda (z tarczą miedzianą) została wprowadzona do komory akceleracji pod kontrolą układu sterującego w trybie pracy ręcznej. Po włączeniu akceleracji sonda pomiarowa cyklotronu wykazała obecność wiązki, ale miernik dedykowany do tarczy nie pokazywał żadnego sygnału. Aby wyeliminować podejrzenie upływu ładunku z tarczy do napędów liniowych (masa), dodano izolację galwaniczną w punktach ich zawieszenia na ramie, po czym użyto czulszego miernika prądu. Na tym mierniku stwierdzono przekroczenie spodziewanego zakresu pomiarowego, bez możliwości obserwacji wartości pośrednich prądu wiązki (26.04.2006).
- b) Chcąc wyjaśnić przyczyny niemożności zmierzenia prądu zaczęto szukać możliwych źródeł zakłóceń elektrycznych. Podejrzewając, że jednym z nich jest sterownik silników krokowych odłączono go, gdy głowica sondy znajdowała się w komorze akceleracji (26.04.2006). Wtedy wskazania miernika dedykowanego do tarczy i miernika obsługującego sondę pomiarową okazały się zgodne, ale odpięcie sterownika silników krokowych spowodowało także odłączenie zasilania wszystkich elektrozaworów. Aby zachować możliwość zasilania zaworów wprowadzono niezależny analogowy zasilacz 24 V DC.

5. Raport z przebiegu aktywacji tarcz na wiązce wewnętrznej

Reakcje $^{nat}\text{Cu}(p,x)^{62-65}\text{Zn}$, ^{56}Co w miedzi są wygodne do monitorowania wiązki protonów¹⁰. W celu diagnostyki wewnętrznej wiązki protonów na różnych orbitach akceleracji, wykonano serię aktywacji folii miedzianej (25-30.01. i 30.05.2006), po czym wykonano autoradiografię tarcz. Na podstawie otrzymanych map rozkładu aktywności zaplanowano i wykonano 3 aktywacje tarcz germanowych protonami. W międzyczasie, wykonano po 1 aktywacji tarcz z bizmutu i wolframu cząstkami alfa (tutaj nie opisane) oraz 1 aktywację blachy kadmowej protonami. W dniu 12.06.2006 sondę odpięto od cyklotronu na czas nieokreślony.

5.1. Aktywacja miedzi protonami

Kąt padania wiązki był dostosowywany do obliczonego kształtu orbity¹¹ przez profilowanie tarcz w kształt grubszych lub cieńszych klinów (1-3 mm) o powierzchni dopasowanej do czoła chłodnicy wodnej. Aktywne tarcze były badane metodą spektrometrii gamma, a zaraz potem eksponowane na detektorach termoluminescencyjnych (TL) o dużej powierzchni. Dozymetria TL pozwoliła na sporządzenie map rozkładu wiązki na tarczach i wykrycie na nich „gorących obszarów” (Rys. 4). Przy dokładnym justowaniu położenia tarczy na osi X pozwala to planować powtarzalny rozkład materiału tarczowego na podkładce.

5.2. Otrzymywanie izotopu arsenu ^{73}As z germanu, w reakcji $\text{Ge}(p,xn)^{73}\text{As}$

German o czystości półprzewodnikowej, pocięty na płytki o grubości około 1 mm i masie około 100 mg, był mocowany ciasno we wgłębieniu podkładki miedzianej i zabezpieczony od strony wiązki folią aluminiową. Promień akceleracji dobrano według energii optymalnej dla reakcji $\text{Ge}(p,xn)^{73}\text{As}$. Położenie germanu na „gorącym obszarze” tarczy wybrano według map rozkładu wiązki protonów, wykonanych wcześniej metodą TL. Aktywacje trwały od 1 do 4 godzin (01.06., 06.06. i 07.06.2006).

Widma gamma aktywnych tarcz wykazały obecność arsenu ^{73}As , w ilości odpowiadającej zamówieniu klienta. Zauważono też, że część germanu z 2 ostatnich tarcz uległa uszkodzeniu pod wpływem działania wiązki. Po otwarciu komory akceleracji (12.06.2006) stwierdzono zaczernienie jej dna, co przypisano kondensacji substancji utraconych z tarczy. W wymazie z dna komory wykryto izotopy $^{71-76}\text{As}$, ^{24}Na i ^{65}Zn (29.06.2006). Izotopy arsenu i sodu niewątpliwie pochodziły z reakcji (p,n) i (p,alfa) na jądrach germanu i zabezpieczającej go folii aluminiowej. Izotop cynku mógł wzbudzić się w miedzi, najprawdopodobniej tej, z której jest wykonane dno komory akceleracji. Przyczyną odparowania materiału tarczy był zły kontakt termiczny tarczy z chłodnicą oraz 1 błąd operatora przy eksploatacji układu chłodzenia.

6. Propozycje zmian projektowych i wykonawczych

6.1. Propozycje zmian w układzie mechanicznym

6.1.1. *Zmiany w konstrukcji ramy głównej oraz układzie prowadnic i płyty montażowej*

- a) Potrzebna jest zmiana geometrii eliminująca stłoczenie przyrządów sondy od strony komory akceleracji. Z przyczyn wytrzymałościowych nie należy rozładowywać stłoczenia kosztem wydłużania rury nośnej.
- b) Konieczne jest usztywnienie pionowej palety napędów Y i Z (powtarzalność geometrii).
- c) Konieczne jest dodanie stopnia swobody φ , czyli umożliwienie małych zmian kąta między osią X sondy a styczną do aktualnej krzywizny orbity akceleracji. Do tego jest konieczny napęd justujący orientację osi X dla danych warunków aktywacji i mechanizm przegubowy umożliwiający małe zmiany kąta φ . Takie rozwiązanie jest przyjęte np. w Duke University, USA ¹². Alternatywą byłaby zmiana stopni swobody samej głowicy (p. 6.1.3.).
- d) Sonda powinna być łączona z komorą akceleracji za pośrednictwem elastycznego mieszka próżniowego. Połączenie sztywne grozi nadmiernymi naprężeniami w układzie.

6.1.2. *Potrzeba usztywnienia rury nośnej*

W razie potrzeby aktywacji na małych promieniach akceleracji (głębiej w komorze próżniowej) konieczne jest zmniejszenie strzałki ugięcia rury nośnej.

6.1.3. *Potrzebne zmiany w głowicy tarczy*

Korekty kąta padania wiązki na tarczę, zależnego od promienia akceleracji R , mogą być dokonywane przez zmiany kąta między napędem liniowym X a komorą akceleracji (p. 6.1.1.c), albo przez ruch kątowy samej głowicy. Trzeba przedyskutować wady i zalety obu rozwiązań i wybrać najlepsze. Kryteria to: niezawodność eksploatacyjna, prostota i koszt.

6.1.4. *Potrzebne modyfikacje chwytaków*

- a) Należy poprawić niezawodność chwytów i powtarzalność przekazywania wymiennej części tarczy między chwytakami.
- b) Dodatkowe modyfikacje chwytaków będą potrzebne, jeżeli głowica zostanie wyposażona w kątowy stopień swobody φ .

6.1.5. *Niezbędne uzupełnienia do transportera płytkowego*

- a) Potrzebny jest projekt i wykonanie krótkiej rynny z materiału niemagnetycznego, kierującej upuszczaną przez chwytak tarczę na stację początkową transportera płytkowego.

- b) Ze względu na bezpieczeństwo radiacyjne, stacja końcowa transportera, gdzie zatrzymuje się radioaktywna tarcza, musi zostać osłonięta warstwą ołowiu.

6.2. Konieczne zmiany w układzie chłodzenia tarczy

- a) Niezbędne jest wyjaśnienie i usunięcie przyczyny korozji wnętrza aluminiowej części tarczy.
- b) Niezbędne jest wprowadzenie substancji poprawiającej kontakt termiczny między chłodnicą a wymienną częścią tarczy.

6.3. Konieczne zmiany w układzie próżniowym

- a) Niezbędne jest zainstalowanie dedykowanej, wydajnej, szerokogardzielowej gałęzi układu próżniowego do szybkiego i niezawodnego odpompowywania komory próżni wstępnej.
- b) Zasuwa DN160 musi być zawsze mocowana tak, aby jej ferromagnetyczny tłok był ustawiony prostopadle do linii sił pola magnetycznego.
- c) W przerwach między aktywacjami komora próżni wstępnej powinna być stale zamknięta i wypełniona azotem w celu szybszego osiągnięcia próżni po załadunku tarczy (06.01.2005).

6.4. Konieczne zmiany w układzie pneumatycznym

Brakuje możliwości korzystania z centralnej sieci sprężonego powietrza w IFJ z przyłącza dedykowanego do pneumatyki sondy (nie ma takiego na hali cyklotronu). Zasilanie pneumatyki z jednego małego kompresora wydaje się zbyt zawodne. Kompromisem jest układ dwóch wzajemnie uzupełniających się kompresorów. Należy sprawdzić, jak dalece jest on niezawodny.

6.5. Konieczne zmiany w układzie elektrycznym

- a) Dedykowany obecnie do sondy zasilacz 24 V DC jest impulsowy. W czasie eksploatacji sondy stwierdzono, że jedynym sposobem zasilania elektrozaworów, nie powodującym zakłóceń w układzie pomiaru prądu na tarczy, jest zasilanie analogowe 24 V DC. Pracownicy Działu Cyklotronowego uważają, że powinno być ono docelowe.
- b) Należy rozdzielić układy zasilania elektrozaworów i silników krokowych. Oczywiście, zasilanie silników krokowych musi być impulsowe.

6.6. Konieczne zmiany w układzie sterującym

- a) Podstawową sprawą – wielokrotnie podkreślaną przez Zakład Fizykochemii Jądrowej IFJ, ale nie doprowadzoną do końca w czasie prac projektowych – jest konieczność zapewnienia współpracy programu sterującego sondą izotopową z oprogramowaniem i zabezpieczeniami całego cyklotronu. Jest to zadanie trudne, gdyż programy te pracują w różnych systemach, a jesienią 2007 r. doszła potrzeba uwzględnienia programu sterującego zabezpieczeniami hali 1102.

- b) Praca sterownika silników krokowych zaburza pomiar prądu na tarczy (p.5.5.a). Aby tego uniknąć trzeba tak ustawić program sterujący, by w czasie aktywacji sterownik silników krokowych był wyłączony, a podejmował pracę tylko po otrzymaniu sygnału o zakończeniu aktywacji (zarówno w warunkach planowego zakończenia jak i w trybie awaryjnym).
- c) Z obawy przed uszkodzeniami radiacyjnymi w układzie elektronicznym konieczne jest osłonięcie sterownika silników krokowych przed promieniowaniem neutronowym i gamma (zalecenie to jest przypominane od 28.10.2003).

6.7. Inne konieczne zmiany wykonawcze

6.7.1. *Konieczne zmiany w instalacji TV przemysłowej*

- a) Konieczne jest zakupienie nowej kamery TV, instalacja jej na statywie oraz połączenie kabli z posiadanym monitorem, który trzeba zainstalować na pulpicie sterowniczym.
- b) Trzeba osłonić elektronikę kamery przed wpływem promieniowania neutronowego i gamma.

6.7.2. *Pomiar temperatury*

Czujnik temperatury głowicy musi być otoczony odpowiednim medium, zapewniającym dobry kontakt termiczny między nim a tarczą.

7. **Zakończenie**

Projekt nowej sondy izotopowej dla cyklotronu AIC-144 opierał się na studiach literaturowych oraz na bezpośrednim oglądzie urządzeń działających od wielu lat w kilku cyklotronach europejskich (Uniwersytet Birmingham, UJV Řež, ZIBJ Dubna). Zbudowana w IFJ sonda nie jest kopią żadnego z nich. Specjaliście z UJV Řež wydaje się zbyt skomplikowana¹³. Nasza praktyka wykazała też, że jest ona dość podatna na awarie, których przykładem może być zagrożenie mechanizmu zasuw próżniowych przez bezpośrednie sąsiedztwo wody chłodzącej. Najślabszym punktem omawianej sondy jest jej głowica. Wydaje się, że konstruktorzy nie całkiem rozumieli hierarchię ważności przedstawionych im założeń użytkowych, lub też nie umieli pogodzić w projekcie wygórowanych wymagań co do wydajności odprowadzenia ciepła, wodoszczelności, próżnioszczelności, izolacji galwanicznej i powtarzalności geometrii głowicy przy wielokrotnych wymianach aktywowanej części. W razie wznowienia prac nad sondą trzeba będzie od nowa przedyskutować wszystkie te założenia.

Za najpilniejszą sprawę uważamy obecnie zapewnienie zgodności między geometrią i własnościami magnetycznymi sondy izotopowej a parametrami akceleracji, optymalizowanymi teraz na potrzeby wyprowadzenia terapeutycznej wiązki protonów (jesień 2007 roku).

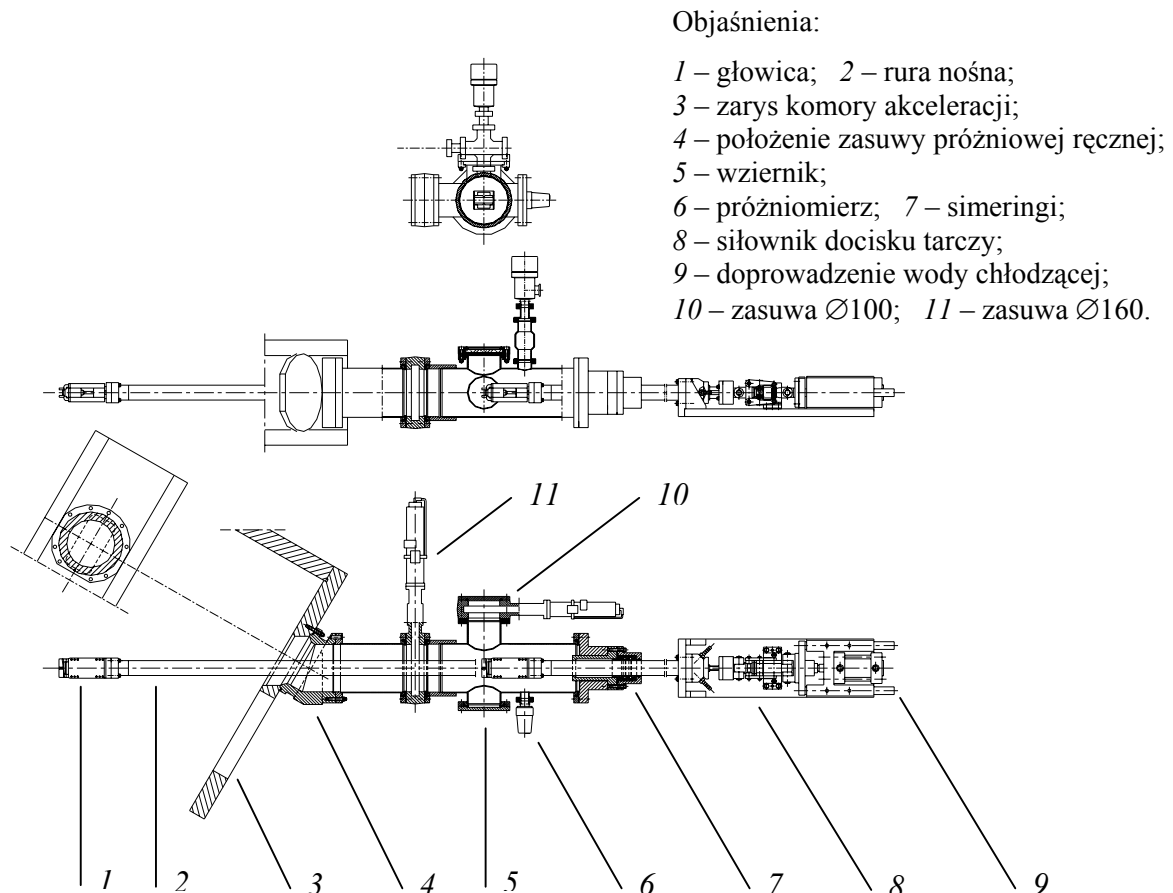
Sprawą drugą (niemniej ważną, ale nie aż tak pilną) jest uzgodnienie wszystkich programów sterujących, obsługujących cyklotron AIC-144 i jego peryferie.

Za najważniejszą sprawę uważamy podjęcie decyzji – nie tylko w sprawie sondy izotopowej, ale w ogóle w sprawie planów otrzymywania izotopów promieniotwórczych w IFJ PAN. W razie decyzji o kontynuacji takich prac musi być powołany odpowiednio kompetentny zespół ludzi oraz zapewnione finansowanie. Trzeba jednak pamiętać, że większość ludzi z IFJ PAN, którzy mieli doświadczenie w dziedzinie otrzymywania izotopów „cyklotronowych”, albo już nie żyje, albo nie pracuje w Instytucie, albo zajmuje się w nim teraz zupełnie innymi zagadnieniami.

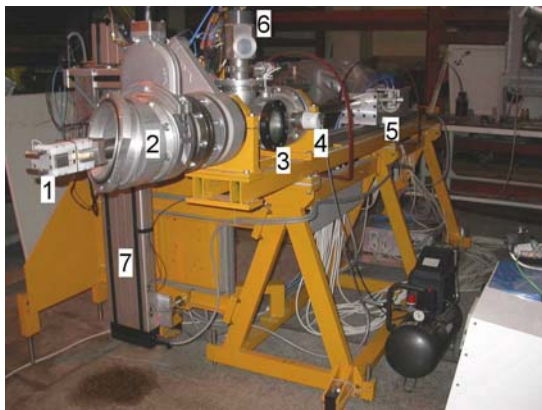
8. Podziękowania

Budowa sondy to był wieloletni zbiorowy wysiłek kilku zespołów osób – autorów wcześniejszych opracowań cytowanych w niniejszym raporcie. Nieocenioną pomocą w tym zadaniu służył zawsze poprzedni Dyrektor IFJ PAN, profesor Andrzej Budzanowski, a później także jego zastępca ds. technicznych, dr Grzegorz Polok. Prace były finansowane z funduszy KBN, PAA oraz z rezerwy budżetowej Dyrektora IFJ PAN. Odpowiednie numery grantów podano w cytowanych publikacjach.

9. Rysunki



Rys. 1. Projekt sondy izotopowej, wersja z roku 1998.



Objaśnienia:

- 1 – głowica z otwartymi szczękami dociskowymi;
- 2 – kołnierze przyłączeniowe komory próżni wstępnej, a za nimi zasuwę $\varnothing 160$ (ręczna i pneumatyczna);
- 3 – wziernik;
- 4 – próżniomierz;
- 5 – zespół napędu X;
- 6 – zawór odpowietrzający;
- 7 – zespół napędu Z.

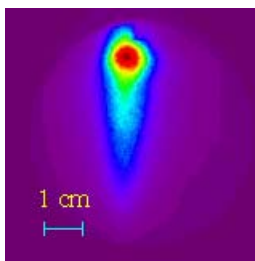
Rys. 2. Sonda izotopowa na hali remontowej cyklotronu. Stan z roku 2005.

Objaśnienia:

- 1 – jarzmo elektromagnesu;
- 2 – nabiegunnik magnesu;
- 3 – komora akceleracji;
- 4 – zasuwę $\varnothing 160$, ręczna;
- 5 – zasuwę $\varnothing 160$, elektropneumatyczna;
- 6 – zawór odpowietrzający;
- 7 – próżniomierz;
- 8 – oprawa simeringów;
- 9 – rura nośna, a pod nią przewodnik X;
- 10 – mechanizm chwytaka „2” i doprowadzenie wody chłodzącej;
- 11 – paleta z wyspami zaworowymi;
- 12 – wierzchołek napędu Z.



Rys. 3. Sonda izotopowa podpięta do komory akceleracji cyklotronu AIC-144. Stan z roku 2006



Objaśnienia:

- Pomiar wykonano metodą dozymetrii termoluminescencyjnej ¹⁴.
- Kierunek padania wiązki: od góry rysunku.
- Obszary największej dawki to czarny punkt i jego czerwone „halo” w górnej części obrazu.
- Moc dawki maleje monotonicznie ku obrzeżom obszaru.

Rys. 4. Rozkład mocy dawki od produktów aktywacji protonowej na tarczy miedzianej.

10. Zestawienie części sondy izotopowej cyklotronu AIC-144 (stan w roku 2007)

1. Układ próżniowy						
Lp	Szt	Określenie podzespołu	Symbol katalogowy	Zasilanie / sterowanie	Data zakupu, producent / pośrednik	Uwagi
1	2	3	4	5	6	7
1.	1	Rura DN160 ISO ze stali 1.4541, L=1000 mm	N 1914 516 1S	–	VII.1998 Softrade, Poznań	Z niej zrobiono korpus komory próżni wstępnej.
2.	1	Rura DN160 ISO ze stali 1.4435, L=500 mm	N 1912 328 AS	–	VII.1998 Softrade, Poznań	Z niej zrobiono korpus komory próżni wstępnej.
3.	1	Zawór próżniowy zasuwowy DN160 ISO-F z rozdzielaczem 5/2	12044-PA44	Elektropneumatyczne 24V DC	XII.1997 VAT Vakuumentile / Softrade, Poznań	Korpus zasuwowy jest aluminiowy, ale rura pneumatyki i kulki łożysk są ferromagnetyczne!
4.	1	Zawór próżniowy zasuwowy DN100 ISO-F z rozdzielaczem 5/2	12040-PA44	Elektropneumatyczne 24V DC	XII.1997 VAT j.w.	Korpus zasuwowy jest aluminiowy, ale rura pneumatyki i kulki łożysk są ferromagnetyczne!
5.	2	Cewki dwustronnego działania		24 V DC	X.2000, FESTO	Zamontowano je w zaworach DN160 i DN100 zamiast cewek 1-stronnego działania
6.	2	Cewki jednostronnego działania		24 V DC	XII.1997 VAT j.w.	Wymontowane z zaworów zasuwowych.
7.	1	Zawór zasuwowy R12 DN160 ISO-F	12144-PA03	ręczne	V.2003 VAT j.w.	Główne zabezpieczenie próżni komory akceleracji.
8.	1	Zawór próżniowy kątowy Ø25 typ EVL 025 P	BPV 51225	Elektropneum. 24V DC	XII.1997 Balzers-Pfeiffer., j.n.	W r.2004 wymieniono go na Ø50, bo gardziel Ø25 była za wąska.
9.	1	Zawór próżniowy kątowy DN50 ISO-KF, ze wskaźnikiem położenia	26334-KA41-X	Elektropneum. 24V DC	V.2004 Balzers-Pfeiffer / Softrade, P-ń.	Zamontowano zamiast zaworu EVL 025 P
10.	1	Zawór zapowietrzający Ø10 typ EVC 110 M	BPV 53503	24 V DC	XII.1997 Balzers etc. j.w.	
11.	2	Komplet uszczelek do zaworów DN160 i 100		–	IV.1998 VAT j.w.	

1	2	3	4	5	6	7
12.	1	Komplet uszczelek do zaworu EVC 110 M	BN 841-251-T	–	IV.1998 Balzers ... j.w.	
13.	1	Komplet uszczelek do zaworu EVL 025 P	BN 841-282-T	–	IV.1998 Balzers ... j.w.	
14.	1	Filtr stożkowy	B 4161 210-4F	–	IV.1998 Balzers ... j.w.	Do zaworu zapowietrzającego EVC 110 M
15.	1	Filtr, pierścień, klamra	BP 413 607-T	–	IV.1998 Balzers ... j.w.	
16.	1	Pierścień centrujący	BP 213 326-T	–	IV.1998 Balzers ... j.w.	
17.	3	Pierścień centrujący	BP 217 328-T	–	IV.1998 Balzers ... j.w.	
18.	2	Klamra spinająca DN16 ISO KF	BP 217 426-T	–	IV.1998 Balzers ... j.w.	
19.	3	Klamra spinająca DN20-25 ISO KF	BP 217 427-T	–	IV.1998 Balzers ... j.w.	
20.	1	Wziernik DN 100 ISO-KF	BP 419 102-T	–	IV.1998 Balzers ... j.w.	
21.	1	Czwórnik NW 40 ISO-KF	AP40Z-33-00	–	1998?	
22.	1	Wąż próżniowy DN 50 ISO-KF, L=1000 mm	PF131510-X	–	III.2004, Balzers... j.w.	
23.	1	Wąż próżniowy DN 50 ISO-KF, L=500 mm	PF131550-X	–	III.2004, Balzers ... j.w.	
24.	3	O-ring DN 50 ISO-KF	PF110250-T	–	III.2004, Balzers ... j.w.	
25.	3	Klamra spinająca DN 50 ISO-KF	PF105050-T	–	III.2004, Balzers ... j.w.	
26.	1	Głowica pomiarowa próżni typ PKR 250 DN25 ISO-KF i kabel 15 mb z wtykiem	BG G20 000	15-30V DC	IV.1998 Balzers-Pfeiffer., j.w.	

2. Siłowniki i chwytaki						
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
1.	1	Siłownik pneumat. D80 dwustronnego działania z amortyzacją pneumat. z 1-stronnym tłoczyskiem z BSPT. Skok stand. 25 mm	10.016.J.0025A	zasil. spręż. pow.	IX.1998 CCP-Prema / Skamer, Kraków	wg ISO 6431, VDMA 24562
2.	1	Prowadnik siłownika ISO DN80 (z 1-stronnym tłoczyskiem). Skok standard. 25 mm	10.014.J.90.0025		IX.1998 CCP-Prema j.w.	wg ISO 6431, VDMA 24562
3.	2	Czujnik kontakt-ronowy typ CKB do siłownika DN80	17.003J.CKB	12÷250 V	IX.1998 CCP-Prema/Skamer j.w.	wg ISO 6431, VDMA 24562
4.	1	Ucho proste kompletne do siłownika DN80	10.014.J.01.1		IX.1998 CCP-Prema, j.w.	w zestawieniu z 01.07.1997 figurują widelki 10.004J.02
5.	1	Chwytnak 2-stronnego działania typ: MHQ2-25D (DN 25, skok 14 mm)	wg katalogu firmy SMC str.85÷90		SMC	
6.	2	Czujnik położenia D-Y59BL z kablem dwużyłowym 3mb do przekaźnika 24 V	wg katalogu firmy SMC str. 102		SMC	

3. Transport tarczy						
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
1.	1	Prowadnica wzdłużna, LF4-ISEL, śruba toczna o skoku h=2,5mm L=1790mm z wbudowanym napędem 398020 0003	235421 2179	Sterownik C 116-4	I.1998, Isel Automation DE / Transpol W-wa	oś X
2.		Napęd silnika krokowego z hamulcem magnet. 24V/DC, 2Nm; wbudowany do 235421 2179	398020 0003	Sterownik C 116-4	I.1998, Isel Automation, j.w.	

1	2	3	4	5	6	7
3.	1	Prow. wzdłużna, LF5-ISEL z silnikiem krokowym 160Ncm i hamulcem magnet., śruba toczna o skoku h=2,5 mm, prowadzenie na 2 wałkach L=1290 mm	235633 2129	Sterownik C 116-4	I.1998, Isel Automation, j.w.	oś Z
4.	1	Prow. wzdłużna, LF4-ISEL, śruba toczna o skoku h=2,5 mm L=490 mm, z siln. krok. 160Ncm	235421 2049	Sterownik C 116-4	I.1998, Isel Automation, j.w.	oś Y
5.	1	Transporter płytkowy			XI.2004 Translog W-wa	

4. Układ pneumatyki

1	2	3	4	5	6	7
1.	1	Kompresor o poj. zbiornika 24 dcm ³ powietrze wysane 240 l/min, p=6 bar	FX 90	3x220 V	III.1998 Dieffe / Kupeczyk, Kraków	
2.	1	Kompresor 20L		230V	XI.2004 SPAW, Kraków.	Zapasowy, zamiast zasilania z centr. układu sprężonego powietrza.
3.	1	Blok przygotowania sprężonego powietrza – trójelementowy G3/4”	50.0503.3412.10		IX.1998 CCP-Prema/Skamer j.w.	
4.	1	Przełącznik pneumatyczno-elektryczny G1/4”	50.5009.14	220 V ~	IX.1998 CCP-Prema/Skamer j.w.	
5.		Złącza pneumatyczne (szybkozłączki)			IV.2003 Legris / Pneumat Serwis, Kraków	Redukcja przewodów i złącz fi10 na fi6 i fi4
6.	25	Przewody pneumatyczne 6/4 i 4/2,5	1025U06 04 1025U04 04		IV.2003 Legris j.w.	Poliuretanowe, niebieskie (a/b = średn. zewn./wewnętrzna)

5. Układ chłodzenia						
1	2	3	4	5	6	7
1.	1	Blok płyt przyłączeniowych G3/8 - 1/2" n=4 do zaworów serii DTE	26.0102.5238.04		IX.1998 Prema/Skamer j.w.	
2.	4	Zawór rozdzielający 5/3 sterowany elektromagnetycznie, seria DTE, zasilany płytowo, z zaworem wspomagającym EVP G1/4-3/8"Ø12.	22.0110.531438B	24 V	IX.1998 CCP-Prema/Skamer j.w.	W położeniu środkowym wszystkie drogi odcięte.
3.	10	Zawór dławiąco - zwrotny G3/8"	50.5001.38		IX.1998 Prema... j.w.	
4.	2	Zawór zwrotny G3/8"	50.5002.38		IX.1998 Prema... j.w.	
5.	1	Zawór z regulacją przepływu G3/8"		24 V	1997 ASCO	
6.	1	Manometr 1,6 bar (w oprawie) G3/8" (do wody)			1997? Prema... j.w.	
7.	1	Śruba potrójna do przyłączy kątowych G3/8"	60.0007.38		IX.1998 Prema... j.w.	
8.	5	Nakrętka do przyłączy do przewodów z tworz. sztucz. 16x2	60.0011.1602		IX.1998 Prema... j.w.	
9.	10	Podkładka z tworz. sztucz. G3/8" Ø17/22x1,5	60.0202.38		IX.1998 Prema... j.w.	
10.	3	Korpus przyłączy kątowej dwustronnej G3/8"	60.0005.38.1602		IX.1998 Prema/Skamer j.w.	
11.	1	Czujnik przepływu GENTECH 3/8"	FS-0197-41		1997 ???	
		Czujnik przepływu 15 mm DIA Beige, 1.5-30 L/min	257-133		IX.1998 Euro-Impex, Kraków	
12.	2	Zawór odcinający, kulowy G3/4" WW	50.5006.343W		IX.1998 Prema, j.w.	

1	2	3	4	5	6	7
13.	1	Zawór G1/2" do wody stale zamknięty		24 V 5 W	1997	
14.	1	Waż zbrojony PCV Ø16x2 - 20 mb.	60.0050.1602B		IX.1998 Prema /Skamer, j.w.	

6. Układ sterowania i kontroli

1	2	3	4	5	6	7
1.	1	Kontroler próżni jednokanałowy TPG 251 A, z wyj- ściem przekaźni- kowym i wtyczką	PTG28020	230 V AC	X.2000 Pfeiffer j.w.	Jest zamontowany w pulpicie nr 7 w dyspozytorni cyklotronu
2.	1	Kabel ekranowany do kontrolera próżni, 40 mb	PT448258-T		I.2002 Pfeiffer j.w.	Jest zamontowany w kanale technolo- gicznym cyklotronu.
3.	1	Sterownik silników skokowych, 3- osio-wy, z osprzętem (CNC Controlle C 116-4), w tym: 1 karta interface VI 4.C-E/A 3 karty kontroli siln. krokowych 3 podłączenia silników krok. 1 łącze seryjne 1 podłączenie prądu 24V/DC	383210 (13157/97)	+24V/ 2.6A	I.1998, Isel Automation, j.w.	Obsługuje napędy X, Y i Z. Pracuje w hali cyklotronu. Podobno powoduje zakłócenia pomiaru prądu na tarczy. Musi być osłonięty przed promieniowaniem gamma i neutronowym.
4.	1	Sterownik silnika skokowego IT 116 G	381012	44V/3.5A eurokasetta 230V	XII.1997, Isel Automation j.w.	Nie jest jasny cel tego zamówienia. Tego sterownika nie zamontowano.
5.	1	SMART UPS 1400 INET Wyjście: sinusoida. Prze- łączenie trasa sieciowa-bateria: 2-4 msek. Pod- trzymanie pracy przez 7 min przy pełnym obciążeniu.	SU 1400 INET		XII.2000, Optimus	Do sterowników OMRON.

1	2	3	4	5	6	7
6.	1	Relay I/O card	AP 9610		XII.2000, Optimus	Do UPS1400 INET
7.	1	Zasilacz impulsowy S82K-1024		220V/ 24V DC	XII.2000, Skamer	Do montażu na szynę (nie jest jasna intencja projektanta).
8.	1	CQM1H-CPU61 16 wejść			XII.2000, OMRON Warszawa	Jednostka centralna sterowania sondą.
9.	1	CQM1H-MAB42, 4wejścia /4wyjścia analogowe			XII.2000, OMRON, j.w.	Wmontowany w CPU
10.	1	CQM1H-SCB41 1xRS232C / 1xRS422/485			XII.2000, OMRON	Wmontowany w CPU
11.	1	Zasilacz CQM1-PA206			XII.2000, OMRON	Do sterownika OMRON
12.	1	CQM1-ID212 16 wejść			XII.2000, OMRON	Do sterownika OMRON
13.	1	CQM1-OC222			XII.2000, OMRON	Do sterownika OMRON
14.	1	CQM1-OC221			XII.2000, OMRON	Do sterownika OMRON
15.	1	Oprogramowanie sterownika Syswin v.3.4			XII.2000, OMRON	Pełna wersja SYSWIN-LIC v.3.4
16.	1	Rezystor termometryczny Pt100 Ø2,5x50mm (-100 ÷ +400°C), kabel 3000 mm	TP-362		2003 Czaki THERMO-PRODUCT	Do pomiaru temperatury głowicy tarczy.
17.	2	Przetwornik pomiarowy 0-100°C	TCD-2120-Pt100		XII.2000 Czaki, j.w.	Do pomiaru temp. głowicy tarczy.
18.	2	Miernik cyfrowy N1 265 100 04 (do 200 uA)		24 V DC	IV-V.2004 LUMEL, Z.Góra	Niepodłączony! Dział Cyklotronowy twierdzi, że miernik musi być analogowy.
19.	1	Kamera CCD	C3102-01A1	12 V DC	MegakamTV, Kraków	Została ukradziona w czasie remontu w IFJ.
20.	1	Obiektyw szklany autoirys, f=5-50mm, 1:1.8	NVL-550D	-	MegakamTV	Do współpracy z kamerą CCD.

1	2	3	4	5	6	7
21.	1	Zasilacz 12 V		12 V DC	MegakamTV	Do kamery CCD.
22.	1	Monitor BW 14"		230V AC	MegakamTV	Do współpracy z kamerą CCD.
23.	3	Gniazda BNC		–	MegakamTV	Do kamery CCD.
24.	1	Zawieszenie kulowe		–	MegakamTV	Do współpracy z kamerą CCD.
25.	1	Karta pomiarowa AX5411 +Interface do szyny PCI	11100046	16 wejść ADC + 24I/O cyfr.	I.1998, Axiom /Lantech Kraków	Niewykorzystana z powodu wprowadzenia sterowników OMRON
26.	1	Kaseta 3U/160-84-00	W02000031841	24V	III.1998 POLON Kraków	Niewykorzystane j.w.
27.	1	Zestaw B84-3U	W04000030841		III.1998 POLON j.w.	Niewykorzystane j.w.
28.	1	Zasilacz MPS-70-2/24	W05502031120		III.1998 POLON j.w.	Niewykorzystane j.w.
29.	10	Prowadnik P-160-42	W04202001840		III.1998 POLON j.w.	Niewykorzystane j.w.
30.	2	Płytki PC-3U-4	W03100030041		III.1998 POLON j.w.	Niewykorzystane j.w.
31.	2	Płytki PC-3U-8	W03100030081		III.1998 POLON j.w.	Niewykorzystane j.w.
32.	2	Oslona OS-160-84	W04300001841	–	III.1998 POLON j.w.	Niewykorzystane j.w.

Zebrała: Barbara Petelenz:

a) Na podstawie zestawienia: L.Żródłowski

Stanowisko do aktywacji tarcz do produkcji izotopów cyklotronowych.

Wykaz zasadniczych urządzeń pomocniczych zakupionych dla stanowiska.

Kraków, dn. 10.12.1998 r.

b) wg dokumentacji zakupów z lat 1997-2006, przechowywanej w Zakładzie 57 IFJ PAN.

Sprawdził i uzupełnił: Mirosław Szalkowski.

11. Tabela gatunków stali według norm różnych krajów

EN 10088 europejska	PN polska	AISI/ ASTM amerykańska
-	Stal węglowa	-
1.4404	00H17N14M2	316L
-	-	321L
1.4541	1H18N9T 1H18N10T 0H18N10T	321
1.4435	-	316L

12. Odsyłacze

- ¹ m.in. P. Olko (wicedyrektor IFJ PAN ds. naukowych). Centrum Cyklotronowe Bronowice – referat na seminarium IFJ PAN w dniu 18.10.2007.
- ² G. Polok (wicedyrektor IFJ PAN ds. technicznych). dyskusja na zebraniu w dniu 13.09.2007.
- ³ B. Petelenz. Założenia użytkowe do projektu stanowiska do aktywacji tarcz w stanie stałym na wiązce wewnętrznej cyklotronu AIC-144. Raport nr 1740/C, IFJ, Kraków, 1996 oraz prace tam cytowane.
- ⁴ B. Petelenz, B. N. Gikał, R. Misiak, E. Ochab, M. Szalkowski, J. Halik, L. Źródłowski, J. Ligocki, J. Kotuła. Stanowisko do aktywacji tarcz metalicznych na wiązce wewnętrznej cyklotronu AIC-144. Część 1. Założenia eksploatacyjne i projekt wstępny. Raport nr 1783/C, IFJ, Kraków, 1997.
- ⁵ B. Petelenz, E. Ochab, E. Bakewicz, R. Misiak, J. Halik, L. Źródłowski, J. Ligocki, J. Kotuła. Stanowisko do aktywacji tarcz metalicznych na wiązce wewnętrznej cyklotronu AIC-144. Część II. Projekt mechaniczny stanowiska - etap I. Raport nr 1813/C. IFJ, Kraków, 1998.
- ⁶ M. Szalkowski, B. Petelenz. Optymalizacja warunków chłodzenia tarczy bombardowanej wewnętrzną wiązką protonów w cyklotronie AIC-144. Raport nr 1778/C, IFJ, Kraków, 1997.
- ⁷ S. Knappek. Próbnik do naświetlania tarcz. Dokumentacja techniczno-ruchowa. Kraków, 2004.
- ⁸ B. N. Gikał. Informacje na podstawie osobistych doświadczeń, jako kierownika Działu Cyklotronów w ZIBJ Dubna.
- ⁹ J. Mikulski, T. Petryna, E. Ochab, J. Kwaśnik, M. Bartyzel, R. Misiak, P. Grychowski, Z. Mazgaj, M. Szalkowski, B. Wąs – prace wykonane przez tę grupę w IFJ w latach 1958-2005.
- ¹⁰ Charged particle cross-section database for medical radioisotope production: diagnostic radioisotopes and monitor reactions. IAEA-TECDOC-1211, IAEA, 2001.
- ¹¹ K. Daniel, informacje bezpośrednie, lata 2005-2007.
- ¹² R. H. Larsen, B. W. Wieland, M. R. Zalutsky. Evaluation of an Internal Cylotron Target for the Production of ^{211}At via the $^{209}\text{Bi}(\alpha,2n)^{211}\text{At}$ Reaction. Appl Radiat Isot 47 (1996) 135-143.
- ¹³ O. Lebeda (UJV Řež), komentarz w czasie wizyty w IFJ PAN w kwietniu 2006 roku.
- ¹⁴ Ł. Czopyk i M. Kłosowski (IFJ PAN), dane nieopublikowane.