

# CENTRUM CYKLOTRONOWE BRONOWICE

## ROZPOCZYNA DZIAŁALNOŚĆ

Marek Jeżabek, Paweł Olko

Terapia protonowa jest jedną z najlepszych metod leczenia nowotworów. Jej główną zaletą jest wysoka skuteczność, przy największym obecnie możliwym do osiągnięcia stopniu ochrony zdrowej tkanki. Napromieniając guz nowotworowy protonami można to zrobić bardzo precyzyjnie i zwiększyć prawdopodobieństwo wyleczenia. Pomysł, aby w Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie stworzyć warunki do prowadzenia radioterapii protonowej, pojawił się w latach 90. ubiegłego stulecia. Realizacja przypadła na czas naszej wspólnej pracy w dyrekcji Instytutu, już po jego włączeniu w roku 2003 w strukturę Polskiej Akademii Nauk.

Pierwszy krok polegał na wykorzystaniu w leczeniu czerniaka gałki ocznej protonów przyspieszanych w cyklotronie AIC-144. Urządzenie to, którego budowę rozpoczęto jeszcze w latach 80. XX wieku, wymagało gruntownej modernizacji. Przede wszystkim trzeba było o prawie 50% podwyższyć energię przyspieszanych protonów i uzyskać wiązkę o energii co najmniej 60 MeV, gdyż dopiero wtedy, zasięg protonów przekracza rozmiar ludzkiego

oka. Było to trudne zadanie. Cyklotron AIC-144 został zaprojektowany jako urządzenie badawcze dla fizyki jądrowej. Dzięki wizjonerstwu i niestrudżonym wysiłkom prof. Andrzeja Budzanowskiego, dyrektora Instytutu w latach 1990-2004, realnym stało się użycie tego cyklotronu także dla celów medycznych. Należało jeszcze zdobyć środki na modernizację cyklotronu i zbudowanie stanowiska terapii oka, a następnie skutecznie zrealizować te zamierzenia.

Od samego początku marzyliśmy o nowoczesnym akceleratorze, mogącym przyspieszać protony do energii setek MeV, atrakcyjnym zarówno dla fizyków, jak i lekarzy. Wstąpienie Polski do Unii Europejskiej i przyznanie jej funduszy strukturalnych stworzyło realną szansę realizacji tych zamierzeń. Odtąd nasze wysiłki biegły dwutorowo. Z jednej strony dążyliśmy do szybkiego uruchomienia radioterapii protonowej oka, z drugiej zaś angażowaliśmy się w zabiegi o przyznanie funduszy na budowę zaawansowanego ośrodka badawczego i terapeutycznego. Spośród liczego grona polityków oraz



Fot. 1. Budynek Instytutu Fizyki Jądrowej, Centrum Cyklotronowe Bronowice – maj 2013

foto z archiwum Instytutu Fizyki Jądrowej, Centrum Cyklotronowe Bronowice

przedstawicieli władz centralnych i samorządowych, którzy wspierali nasze starania, ze szczególną wdzięcznością wspominamy prof. Krzysztofa Jana Kurzydłowskiego i prof. Marię Orłowską, wice ministrów w Ministerstwie Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz pośła Wiesława Wodę. Oprócz starań o fundusze wielkim wyzwaniem było powołanie działu Instytutu pod nazwą Centrum Cyklotronowe Bronowice, wyszkolenie personelu oraz zorganizowanie zespołów i grup badawczych liczących kilkadziesiąt osób.



Fot. 2. Przyjazd cyklotronu budził ogromne zainteresowanie mediów. Prof. M. Jeżabek udziela wywiadu

Dwaj pierwsi pacjenci z nowotworami gałki ocznej zakończyli w dniu 18 lutego 2011 r. serię napromieniowań wiązką protonową na stanowisku radioterapii w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Lekarzami okulistami ze Szpitala Uniwersyteckiego w Krakowie, kierowała prof. dr hab. B. Romanowska-Dixon. Wspomagali ich: radioterapeuci z Centrum Onkologii w Krakowie oraz grupa fizyków z IFJ PAN, kierowani odpowiednio przez: prof. M. Reinfussa i dr J. Swakonia. Wiązka protonowa pochodziła ze skonstruowanego w IFJ PAN cyklotronu AIC-144, adaptowanego w ostatniej dekadzie na potrzeby terapii i kierowanego przez mgr J. Sulikowskiego. Do kwietnia 2012 r. napromieniono, w trybie eksperymentu naukowego, 15 pacjentów. Dzięki sukcesowi tej terapii w 2013 r. Szpital Uniwersytecki w Krakowie uzyskał kontrakt z Narodowym Funduszem Zdrowia na regularne leczenie wiązką protonową nowotworów oka. W ten sposób, po trwających ponad 10 lat staraniach i pracy zespołu ponad 50 fizyków, inżynierów, techników, lekarzy i prawników Polska weszła do elitarnego klubu ośmiu europejskich państw dysponujących radioterapią protonową.

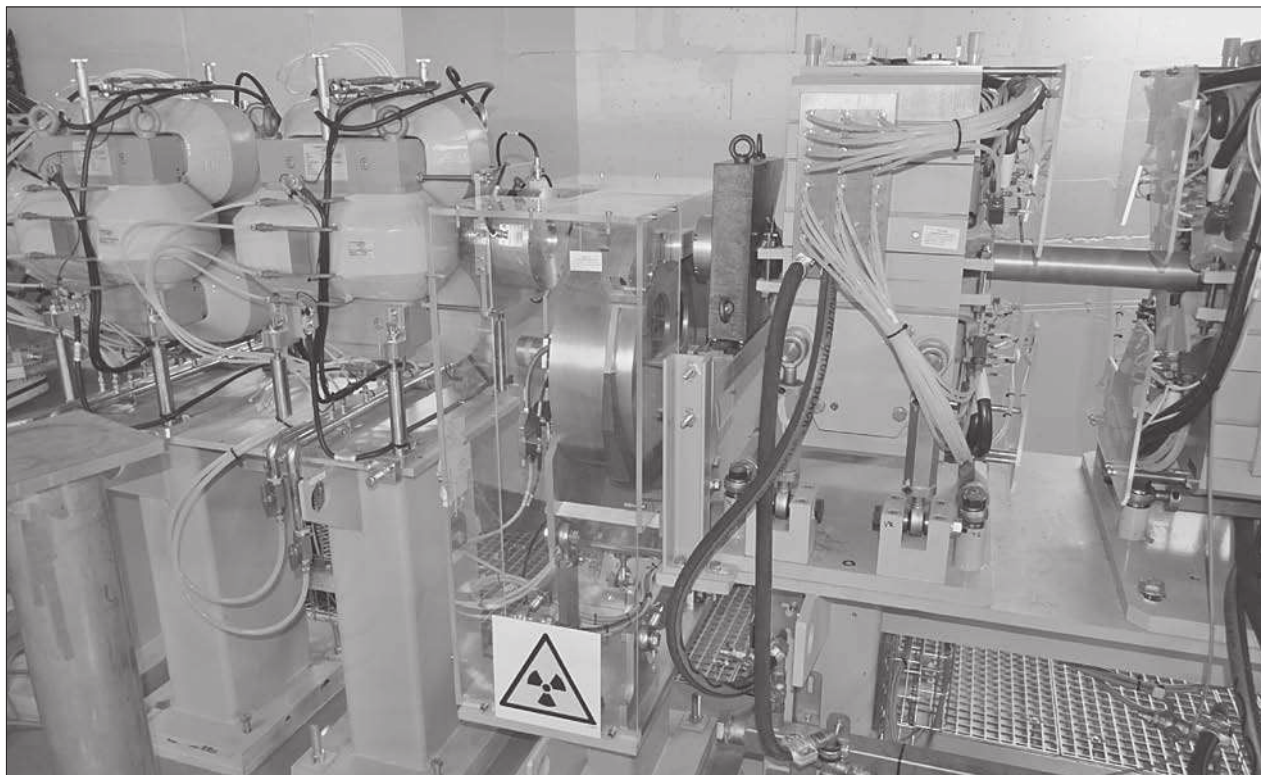
Cyklotron AIC-144 produkuje wiązkę protonów o energii 60 MeV co odpowiada zasięgowi w wodzie wynoszącemu ok. 30 mm. Umożliwia to leczenie tylko nowotworów oka, gdyż dla innych narządów zasięg ten jest na ogół niewystarczający. Prace zespołu IFJ PAN nad rozwojem terapii oka

były inspiracją do zawiązania w 2006 r. konsorcjum Narodowego Centrum Radioterapii Hadronowej. Celem konsorcjum była budowa w Polsce infrastruktury do prowadzenia nowoczesnej radioterapii protonami i jonami węgla, z zasięgiem wiązek, które umożliwiają napromienianie nowotworu niezależnie od jego umiejscowienia. W skład konsorcjum, koordynowanego przez IFJ PAN, weszło kilkanaście czołowych uniwersytetów, uczelni technicznych, instytutów naukowych i ośrodków onkologii z Warszawy, Krakowa, Kielc, Gliwic i Poznania. Wystąpienia IFJ PAN do Ministerstwa Nauki zaowocowały finansowaniem dwóch projektów w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Skomplikowana procedura przetargowa, przygotowana przez zespół kierowany przez M. Zydek, doprowadziła do wyłonienia jako wykonawcy belgijskiej firmy Ion Beam Application z Louvain-la-Nouve. Umowa na dostawę nowoczesnego cyklotronu Proteus C-235 wraz z budynkiem została podpisana 8 sierpnia 2010 r. Akt erekcyjny został wmurowany w dniu 17 marca 2011 r., a 11 maja 2011 r. w gotowym budynku zainstalowano nowy cyklotron.

Sercem nowego budynku cyklotronu jest bunker, o grubości ścian do 5,5 m oraz sufitów do 4 m, przeznaczony na cyklotron, selektor energii oraz system jonowodów i magnesów, dostarczających wiązkę protonów do hali eksperymentalnej i nowego pokoju terapii oka. Oprócz pomieszczeń technicznych, koniecznych do funkcjonowania skomplikowanej aparatury, ośrodek mieści laboratoria dla fizyków, elektroników i radiobiologów. Są w nich przygotowywane eksperymenty naukowe, głównie z fizyki jądrowej, fizyki medycznej i radiobiologii.

Operacja przyjazdu i instalacji cyklotronu była niezwykle widowiskowa. Dwie części akceleratora, każda o wadze ponad 110 ton, dotarły do Krakowa na dwóch 20-osiowych, 160-kołowych platformach. Ze względu na rozmiary transportu konieczne było wstrzymanie przez policję ruchu kołowego na ruchliwym Rondzie Ofiar Katynia w Krakowie. Przy asyście licznych ekip telewizyjnych obie półki cyklotronu zostały wsunięte poprzez otwór w dachu bunkra z wykorzystaniem jednego z największych w Europie dźwigów o nośności 700 ton. Części dźwigu, montowanego na miejscu, dotarły do Krakowa w 20 ciężarówkach. Samo posadowienie cyklotronu musiało zostać wykonane z milimetrową dokładnością dla zapewnienia prawidłowego prowadzenia wiązki.

Cyklotron Proteus C-235 jest cyklotronem izochronicznym, z magnesami klasycznymi, utrzymującymi pola magnetyczne w zakresie od 1,9 T do 2,9 T. Z cyklotronu wyprowadzana jest wiązka o stałej energii 230 MeV i prądzie od 0,1 nA do 600 nA. Wiązka trafia następnie do tzw. selektora



fot. z archiwum Instytutu Fizyki Jądrowej, Centrum Cyklotronowego Bronowice

Fot. 3. Skomplikowany system prowadzenia wiązki

energii, który umożliwia obniżenie energii protonów do 70 MeV. Jest to nieodzowne w terapii nowotworów, gdyż umożliwia dostosowanie energii wiązki do głębokości guza. Oddanie do użytku cyklotronu Proteus C-235 nastąpiło w grudniu 2012 r., po trwających ponad dwa miesiące szczegółowych testach akceptacyjnych, podczas których cała instalacja spełniła wszelkie wymagania zapisane w kontrakcie. Jednocześnie pomiary dozymetryczne, prowadzone przy współudziale zespołu prof. N. Golnik z Narodowego Centrum Badań Jądrowych i potwierdzone następnie przez inspektorów Państwowej Agencji Atomistyki pokazały, że przy zachowaniu wymaganych parametrów pracy nie ma zagrożenia radiologicznego dla załogi i osób postronnych. Warto zaznaczyć, że nowa instalacja cyklotronowa jest źródłem neutronów o najwyższych w Polsce energiach dochodzących do 200 MeV. Wymaga to stosowania w pomiarach specjalnych liczników neutronowych, takich jak komory rekombinacyjne, liczniki mikrodozymetryczne, czy liczniki z He-3.

Oprócz zastosowań medycznych cyklotron Proteus jest cennym źródłem protonów dla eksperymentów fizycznych i radiobiologicznych. We wrześniu 2011 r. i we wrześniu 2012 r., z inicjatywy grupy kierowanej przez prof. A. Maja, odbyły się w IFJ PAN spotkania potencjalnych użytkowników nowego cyklotronu, na których sformułowano propozycje programu badań (<http://experimentsccb.ifj.edu.pl>). Pierwszy eksperyment z fizyki jądrowej odbył się

w nowym ośrodku w marcu 2013 r. z udziałem zespołów z Francji, Hiszpanii, Japonii, Niemiec, Polski, Rumunii, Szwecji, Turcji, Węgier i Włoch. Grupy te prowadziły testy elementów nowoczesnych systemów detekcyjnych, konstruowanych dla dużych międzynarodowych eksperymentów z fizyki, takich jak SPIRAL2 i FAIR. W lecie tego roku rozpocznie się eksperyment z wykorzystaniem układu eksperymentalnego BINA, służący badaniu trójciałowych reakcji jądrowych. Również radiobiolodzy z szeregu ośrodków z Polski, którzy obradowali w nowym ośrodku w marcu br., przygotowują swój program na wykorzystanie wiązki protonowej z C-235.

Obecnie trwają prace nad instalacją i uruchomieniem nowych stanowisk do radioterapii protonowej oka oraz tzw. stanowiska gantry (instalacja ramienia obrotowego) do prowadzenia najbardziej zaawansowanego leczenia nowotworów skanującą wiązką protonów o średnicy kilku mm. Część medyczna ośrodka zostanie oddana do użytku w połowie 2014 r. Niecierpliwie oczekują na ten moment lekarze i pacjenci.

*prof. dr hab. Marek Jeżabek,  
dyrektor Instytutu Fizyki Jądrowej PAN,  
Kraków*

*prof. dr hab. Paweł Olko,  
z-ca dyrektora ds. naukowych  
dyrektor Centrum Cyklotronowego Bronowice,  
Instytutu Fizyki Jądrowej PAN,  
Kraków*