

BLASKI I NĘDZE „ŻYCIA” KILKU CYKLOTRONÓW W POLSCE I NA ŚWIECIE

Edward Rurarz

*Samodzielnie myślący
ludzie są utrapieniem
dla każdego rządu*

F. Spotts

Jakiś czas temu dowiedzieliśmy się ze zdumieniem, że Anglicy hucznie uczcili pięćdziesiątą rocznicę pracy cyklotronu na wydziale fizyki i astronomii Uniwersytetu w Birmingham. Nasuwa się pytanie, czym sobie ten akcelerator zasłużył na takie wyróżnienie?

Jako pierwszy na świecie nową koncepcję przyspieszania jonów (cząstek naładowanych) przedstawił amerykański fizyk, Ernest O. Lawrence, profesor uniwersytetu w Berkeley (Kalifornia); według niej zbudował w 1931 r. nietypowe na owe czasy urządzenie: cyklotron. Fakt ten spotkał się w świecie z dużym uznaniem, a prof. Lawrence otrzymał w 1939 r. Nagrodę Nobla z fizyki. W latach trzydziestych XX wieku kilka państw europejskich posiadających kadrę naukową oraz przemysł, dysponujący wysoko rozwiniętymi technologiami (metalurgia, technika wysokich próżni, elektronika itd.), zabrało się do budowy tego typu akceleratorów.

W Wielkiej Brytanii, na Uniwersytecie w Birmingham, grupa fizyków i inżynierów podjęła w 1938 r. odważną decyzję zaprojektowania i zbudowania własnego cyklotronu. Grupa ta uzyskała wsparcie finansowe lorda Nuffielda. Niestety, wybuch II wojny światowej w 1939 r. przerwał prace związane z budową tego urządzenia. Powrócono do nich w 1945 r. Mimo że gospodarka angielska boleśnie odczuła skutki wojny, udało się wyprodukować w angielskich hutach wielotonowy magnes, stanowiący główną część cyklotronu. Prace montażowe trwały trzy lata. W 1948 r. uroczyście oddano cyklotron do eksploatacji. Jak na „pierworodne dziecko” angielskiej myśli technicznej parametry eksploatacyjne miał imponujące. Energia maksymalna wyprowadzonej z niego wiązki deuteronów wynosiła 25 MeV (rutynowo pracowano przy energii 20 MeV), maksymalny prąd wiązki: 600 μA (w codziennej eksploatacji cyklotronu stosowano prądy wiązki

10-krotnie mniejsze). Łatwo zauważyć z tych liczb, że moc wiązki na materiale bombardowanym (zakładając przykładowo energię deuteronów 20 MeV i prąd 50 μA) była rzędu: $(50 \mu\text{A} \times 20 \text{ MeV} = 50 \times 10^{-6} \text{ A} \times 20 \times 10^6 \text{ V} = 1000 \text{ W} = 1 \text{ kW})$ kilowatów. Aby naświetlany materiał nie uległ zniszczeniu, opracowano specjalne systemy chłodzenia komór do naświetlań materiałów stałych, ciekłych i gazowych. Cyklotron brytyjski był eksploatowany dniem i nocą. W ciągu dnia produkowano różnego rodzaju radioaktywne izotopy zgodnie z zamówieniami przemysłu, rolnictwa i instytutów stosujących je w pracach naukowych. Przykładem mogą być ^{22}Na ($T_{1/2} = 2.6$ lat), wytwarzany w reakcjach $^{24}\text{Mg} (\alpha, d) ^{22}\text{Na}$ lub $^{19}\text{F} (\alpha, n) ^{22}\text{Na}$ (emituje kwanty gamma o energiach 511 keV i 1.28 MeV), stosowany



w agrotechnice do badania metabolizmu i pochłaniania sodu w roślinach albo ^{109}Cd ($T_{1/2} = 1.26$ lat), wytwarzany w reakcjach $^{109}\text{Ag} (\alpha, 2n)^{109\text{m,g}}\text{Cd}$ lub $^{109}\text{Ag} (p, n)^{109\text{m,g}}\text{Cd}$ (emitujący promieniowanie rentgenowskie o energiach 22, 24.9 i 25.5 keV oraz „miękkie” promieniowane gamma o energii 88 keV), stosowany chętnie w analizach chemicznych i badaniach stopów metali.

Dla szpitali i klinik uniwersyteckich produkowano w ciągu nocy ^{81}Rb ($T_{1/2} = 4.58$ godziny) w reakcji $^{79}\text{Br} (\alpha, 2n)^{81}\text{Rb} \rightarrow ^{81\text{m}}\text{Kr}$. Rubid 81 rozpada się do stanu izomerycznego kryptonu 81, mającego półokres rozpadu 13 sek i rozpadającego się z emisją promieniowania gamma o energii 190.3 keV. Krypton, powstający z rozpadu rubidu, jest gazem szlachetnym (ale promieniotwórczym) chemicznie i biologicznie obojętnym. Jego kinetyka w organizmie ludzkim jest taka sama, jak innych gazów szlachetnych. W medycynie stosuje się $^{81\text{m}}\text{Kr}$ do badania chorób układu oddechowego. Jego obecność w organizmie ludzkim łatwo wykrywa się detektorami promieniowania gamma. Cyklotron z Birmingham dostarczał ^{81}Rb do 48 szpitali w całej Anglii! Całodobowa niezawodność w działaniu i bezawaryjność w ciągu 50 lat budzi podziw i szacunek zarówno dla konstruktorów, jak dla ich „dziecka”, które od początku aż po wiek dojrzały nie zawiodło ani razu. Zorganizowanie „jubileuszu 50-lecia pracy twórczej” tego cyklotronu było wręcz obowiązkiem jego użytkowników!

Europa „kontynentalna” nie pozostawała w tyle. Francuzi, mający sporą grupę świetnych fizyków i inżynierów różnych specjalności oraz dobrze rozwinięty przemysł, zbudowali i uruchomili cyklotron w pobliżu Paryża tuż przed wybuchem II wojny światowej. Dokonał tego Fryderyk Joliot (profesor w Collège de France i zarazem dyrektor laboratorium fizyki jądrowej w tejże uczelni) wraz ze swoimi współpracownikami, Halbanem i Kowarskim. Niestety, militarna klęska Francji w maju 1940 r. zaważyła nie tylko na losach kultury i nauki.

Profesor Joliot wraz z żoną Ireną (córką Marii Skłodowskiej-Curie) uczestniczyli w międzynarodowych konferencjach i kongresach naukowych, poświęconych odkryciom w fizyce jądrowej. Spotykali się także z naukowcami niemieckimi. Profesor nie zdziwił się więc, gdy grupa niemieckich fizyków złożyła mu w podbitym Paryżu wizytę, interesując się szczególnie jego cyklotronem. Jako zwycięzcy dyktowali warunki pracy tego urządzenia. Uzgodniono podział godzin pracy na wiązce cyklotronu między fizykami niemieckimi a francuskimi. Uчени niemieccy chętnie przyjeżdżali do Paryża i korzystali

z atrakcji, jakie, mimo okupacji, oferowało to miasto. Jak w każdym społeczeństwie, znaleźli się kolaboranci, mający nadzieję na powstanie „nowej” Francji w „zjednoczonej”, hitlerowskiej Europie (Rzesza miała wszak trwać tysiąc lat!). Dopiero po klęsce Niemiec pod Stalingradem i po lądowaniu aliantów w Afryce Północnej Francuzi nabrali nadziei, że wojna się skończy. Trzeba jednak zauważyć, że gdy Amerykanie, Brytyjczycy, Kanadyjczycy i Polacy walczyli o przełamanie niemieckiej linii obrony w Normandii w 1944 r., Edith Piaf śpiewała w Paryżu dla pełnych widowni, a Sacha Guitry układał plany na następny sezon!

A gdy w latach czterdziestych propaganda radziecka rozpętała propagandową „Walkę o Pokój”¹, sztandarową jej postacią stał się nie kto inny, jak profesor Joliot...

Polska przedwojenna znajdowała się w tej europejskiej czołówce. Działała wówczas w Warszawie filia holenderskiej firmy Philips (powojenne zakłady Róży Luksemburg). Rodakom była znana dzięki aparatom radiowym, produkcji lamp (radiowych różnego typu i dla generatorów wysokiej częstotliwości), oporników, kondensatorów itp. Jej bazę w Holandii, w Eindhoven, stanowiły biura konstrukcyjne, laboratoria, działające przy silnym wsparciu uczonych z różnych wydziałów politechniki, istniejącej w tym samym mieście. Firma pilnie obserwowała wszystkie nowinki naukowe, nie wyłączając akceleratorów cząstek naładowanych. W ich planach znalazł się cyklotron, który miał powstać w Warszawie. Do jego budowy zaprosili polskiego fizyka jądrowego doc. dr. Andrzeja Sołtana. W czasie okupacji niemieckiej chronili go przed aresztowaniem, a kiedy armia radziecka zbliżała się do Warszawy, ewakuowali swoich pracowników oraz dr. Sołtana wraz z rodziną. Gdyby nie wybuch II wojny światowej, mielibyśmy w Polsce cyklotron z prawdziwego zdarzenia. Inteligencja, wiedza, zdolności eksperymentalne doc. dr. A. Sołtana oraz wsparcie Philipsa były gwarancją sukcesu w budowie tego urządzenia. Wszak po wojnie to właśnie Philips, jako pierwszy w Europie, zbudował kilka cyklotronów. Wsparciem dla doc. dr. A. Sołtana byłby zapewne wybitny specjalista w dziedzinie elektroniki, prof. Janusz Groszkowski, który tuż przed wojną zbudował pierwszy w Polsce nadajnik telewizyjny!²

Po II wojnie światowej fizyka jądrowa nabrała znaczenia w polityce wielu państw. I choć w powojennej Polsce specjalistów z dziedziny fizyki jądrowej można było policzyć na palcach jednej ręki, znaleźliśmy się wśród państw, gdzie ta dziedzina nauki zaczęła się dynamicznie rozwijać.

¹ Tę „walkę o pokój” bezbłędnie wyjaśniło radio Erewań. Na pytanie: „Czy będzie III wojna światowa?”, odpowiedziało: „Nie, ale będzie taka walka o pokój, że nawet kamień na kamieniu nie zostanie”. Niestety, po jakimś czasie radio zamilkło...

² Gdy akowcom udało się wymontować układ sterujący z rakiety V2, to właśnie prof. Groszkowski skopiował schemat tego układu i przesał go do Anglii, a oryginał został przemycony do Anglii inną drogą.

W Krakowie, ocalała z pożogi wojennej, grupa fizyków i inżynierów zbudowała własnymi siłami mały cyklotron, przyspieszający protony do energii 3 MeV. Choć jego istnienie uległo zapomnieniu, gdy na początku lat sześćdziesiątych zainstalowany został cyklotron kupiony w ZSRR (przyspieszał protony do energii 7 MeV, deuterony do energii 14 MeV i cząstki alfa do 25 MeV), to przypominano sobie o nim, kiedy na rynku pojawiły się detektory krzemowe i germanowe do detekcji promieniowania rentgenowskiego i gamma o bardzo wysokiej zdolności rozdzielczej. Okazało się, że te 3 MeV-owe protony z małego cyklotronu doskonale nadają się do nieniszczących analiz składu pierwiastkowego różnych materiałów (np. są przydatne specjalistom dokonującym ekspertyz dzieł sztuki). Podczas jednego z moich pobytów w Krakowie ze wzruszeniem przypatrywałem się krzątaniu grupki starszych panów, którzy właśnie uruchamiali cyklotron, (który sami zbudowali) na prośbę mojego krakowskiego kolegi do przeprowadzenia naświetleń badanych próbek.

Atmosfera chroni Ziemię przed niebezpiecznymi dla zdrowia i życia wysokoenergetycznymi cząstkami, emitowanymi przez Słońce i inne źródła w głębi kosmosu. Podobnie jądra atomowe pierwiastków i zawarta w nich energia otoczone są barierą kulombowską. Żeby ją pokonać, protony muszą mieć na przykład energię dużo większą niż 7 MeV, a tylko taką emitowały cyklotrony radzieckie. Z tego właśnie powodu Węgrzy kupili od Rosjan tylko reaktor, podczas, gdy my kupiliśmy i reaktor, i cyklotron.

Urządzenia jądrowe, podobnie jak artykuły gospodarstwa domowego mają swój czas trwania. To samo dotyczy reaktorów jądrowych, a także akceleratorów. Jedne pracują dłużej (jak ten w Birmingham), inne krócej (w Krakowie).

Na świecie obserwuje się niezwykle dynamiczny rozwój różnych technik akceleracji cząstek naładowanych (nie wyłączając elektronów). Są one błyskawicznie przechwytywane przez firmy dysponujące wysoko rozwiniętymi technologiami. Efektem takiego „przejęcia” są akceleratory elektrostatyczne typu tandem. Najprościej mówiąc, jest to „związek partnerski” dwóch akceleratorów elektrostatycznych. Wytwarzają one przyspieszone protony o energiach od kilku do 16 MeV (a nawet więcej), prądy wiązek do 10 μA , z dokładnością energii przyspieszonych cząstek ± 5 keV (w cyklotronach do ± 100 keV), płynną zmienność energii w całym zakresie akceleracji przy użyciu jednego pokrętki oraz istotną dla eksperymentów możliwość odchylenia i kierowania wiązki do różnych komór naświetlań. Przy tych parametrach istnieje możliwość produkcji ^{18}F dla tomografii pozytonowej, przy naświetleniu protonami wody, wzbogaconej izotopem tlenu o masie 18 (H_2^{18}O).

Zdzisław Wilhelmi, profesor fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, podczas pobytu w Stanach Zjednoczonych w latach siedemdziesiątych XX w. miał możliwość zapoznać się z różnymi modelami akceleratorów. Po powrocie do kraju rozpoczął starania o zakup tego typu urządzenia dla Polski. Niestety, najlepsze modele tandemów były produkowane wyłącznie przez firmy amerykańskie. Władze PRL z wiadomych przyczyn były przeciwne zakupowi. Podobne starania czynili fizycy rumuńscy. Im udało się nawet kupić używany tandem od jednego z krajów zachodnich, ale podczas trzęsienia ziemi w Rumunii uległ on poważnemu uszkodzeniu. Batalia o tandem dla Polski trwała kilka lat.

Na początku lat osiemdziesiątych Stany Zjednoczone zaproponowały Polsce bezpłatne przekazanie cyklotronu, który wcześniej pracował przez kilka lat na Uniwersytecie w East Lansing w stanie Michigan. Pracownicy uczelni zdecydowali o zmianie tematyki badawczej i zakupie akceleratora na wyższe energie. Parametry cyklotronu, który mieliśmy dostać, były wprost wymarzone dla naszych potrzeb: energia maksymalna protonów 56 MeV, natężenie wyprowadzonej wiązki protonów na zewnątrz cyklotronu 20 μA , wiązki deuteronów można było przyspieszyć do energii 26 MeV, a energię cięższych jonów (istniała taka możliwość!) określał wzór $E = 58 q^2/A$ MeV, w którym q – to liczba porządkowa jonu pierwiastka, zaś A – liczba masowa przyspieszanego jonu. Na przykład jony ^3He (wg tego wzoru) osiągały energię 76 MeV. Krótko mówiąc, cyklotron ten rozwiązałby problem produkcji różnego rodzaju izotopów promieniotwórczych dla użytkowników w całej Polsce.

Władze uniwersytetu obiecywały pomoc inżynierów i techników amerykańskich przy demontażu cyklotronu w USA i jego montażu w Polsce. Zaplanowano transport urządzenia drogą morską. Cała operacja miała kosztować 100 000 dolarów. Również ten gest dobrej woli ze strony Amerykanów odrzucono.

Nie ma na świecie drugiego państwa, w którym władze wyraziłyby zgodę na budowę trzech cyklotronów – wszystkich w oparciu o dokumentację radziecką, nadających się tylko na radioaktywny złom. Trwało to wszystko kilkadziesiąt lat, a finał był żałosny. Żadne z trzech urządzeń nie osiągnęło obiecywanych parametrów. Cyklotron ciężkich jonów na Uniwersytecie Warszawskim zamiast obiecanych 10 MeV/nukleon przyspieszonej cząstki z trudem osiąga 5 MeV/nukleon, a prądy wiązki jonów też ma bardzo małe. Cyklotron w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku zamiast obiecanych 30 MeV (dla protonów) przyspiesza je tylko do 25 MeV, wyprowadzana wiązka protonów zamiast 50 μA osiąga wartość 50 nA, czyli nie 10, nie 100,

DESCRIPTION AND APPLICATION

The small isochronous C-30 Cyclotron with 105 cm diameter poles is intended to accelerate H^- particles to a maximum energy of 31 MeV and D^- to a maximum energy of 16 MeV. The protons and deuterons extracted by stripping technique are employed for production of short life isotopes that are most often used in industry and medical applications. The magnet structure consists of four pairs of shimmed-surfaced sectors with straight edges and provides an average magnetic field strength of 1.743 T (H^-) and 1.765 T (D^-) at the centre. The accelerating system consists of two 45° interconnected dees. The H^- particles are accelerated by second harmonic of the 53.14 MHz generator frequency, and the D^- particles by fourth harmonic of the 53.84 MHz generator frequency. The C-30 Cyclotron features are: compact construction, low electric power consumption, low cooling water consumption. It can be installed on a small shielded area of 5m x 5m. Due to its basically constant generator frequency, without adjusting coils, the operation of C-30 is simple and easy.


BASIC SPECIFICATIONS:

Type of cyclotron	- isochronous with four sectors with straight edges
Accelerated particles	- H^- and D^-
Maximum energy	- 31 MeV for H^- 16 MeV for D^-
Beam intensity	- 50 μA
Frequency range of generator	- 53.14 MHz for H^- (second harmonic) 53.84 MHz for D^- (fourth harmonic)
Accelerating system	- two 45° interconnected dees
Poles diameter	- 105 cm
Magnetic gap	- 100 mm


Strength of magnetic field in centre	- 1.743 T for H^- - 1.765 T for D^-
Extraction	- stripping with change of particle charge H^- to proton D^- to deuteron
R.F. power supply for accelerating system	- high-stability generator, power output 40 kW
Power supply for electromagnet	- two high-stability rectifiers (maximum power 23 kW and 68 kW)
Weight of whole cyclotron	- 40 t.

LIST OF ISOTOPES WHICH MAY BE PRODUCED ON C-30 CYCLOTRON

isotope	Half life time
^{11}C	20.4 min
^{13}N	10 min
^{15}O	2 min
^{18}F	109.8 min
^{67}Ga	78.1 h
^{85m}Kr	4.5 h
^{83}Rb	83 days
^{85}Sr	64.5 days
^{111}In	67 h
^{123}I	13.3 h
^{157}Dy	8.1 h
^{197}Hg	23.8 h
^{203}Pb	52 h
^{204}Bi	11.3 h



INSTITUTE OF NUCLEAR STUDIES
Experimental Establishment
For Nuclear Equipment
Swierk 05-400 OTWOCK POLAND
Telex: 813244
Telephone: 798 722, 796 726



METRONEX
FOREIGN TRADE ENTERPRISE
00-496 Warszawa, POLAND
ul. Mielni 2
Telex: B14477
Telephone: 26 12 69

Fot. 1. Tablica reklamowa cyklotronu C-30

ale 1000 razy mniejszą (zob.: tablica reklamowa cyklotronu C-30 w Świerku). Projekt cyklotronu krakowskiego na 55 MeV dla protonów jest uderzająco podobny do tego, który chcieli nam ofiarować fizycy z Uniwersytetu Stanu Michigan. Niestety, wyprowadzana z niego wiązka protonów jest podobna do tej z cyklotronu w Świerku. Polskimi rękami zrealizowano perfidny plan „gdzieś” i „przez kogoś” wymyślony i wykonany z żelazną konsekwencją, który sprowadził się do hasła: „cyklotrony mieć będziecie, ale nie będziecie mieć z nich żadnego pożytku.”

Życie codzienne w Polsce pokazuje, że szukanie winnych braku jednego przyzwoitego akceleratora w Polsce jest bezcelowe. Nic się w końcu nie stało. Nikt z tego powodu nie umarł. A sytuacja jest naprawdę dramatyczna.

*Nie wiem czy to lat mych skutek
Czy mi co innego wadzi,
Dość, że coraz częściej smutek
Na mym czole się gromadzi.*

(Boy, *Słówka*, rok 1913)

dr Edward Rurarz,
emerytowany pracownik,
Instytut Badań Jądrowych,
Świerk