

60-ta ROCZNICA PIERWSZEJ OBSERWACJI PROMIENIOWANIA SYNCHROTRONOWEGO

B.A. Orłowski

Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

Streszczenie: W roku 1947 przyspieszenie elektronów do energii 70 MeV w szklanym pierścieniu akumulacyjnym synchrotronu umożliwiło pierwszą obserwację emisji tego promieniowania z maksimum natężenia strumienia fotonów w obszarze widzialnym. Aktualnie używane synchrotrony wysyłają promieniowanie ciągle w zakresie energii od mikrofal do kilkuset keV. Laboratoria synchrotronowe prowadzą podstawowe badania naukowe w zakresie optycznym i rentgenowskim w wielu dziedzinach nauki (fizyka, chemia, technologia materiałów, biologia, geologia, medycyna, farmacja i inne).

60-th anniversary of first observation of synchrotron radiation.

Abstract: In year 1947, the electrons accelerated up to energy 70 MeV in a storage ring made of glass tube permitted to observe, for the first time, synchrotron radiation with the maximum photon flux in the visible region. Modern synchrotrons emit continuous radiation in the region of energy from microwaves up to hundreds keV. Synchrotron laboratories perform fundamental scientific studies in optical and X-ray range in many domains of science (physics, chemistry, material technology, biology, geology, medicine, pharmacy and other).

W latach czterdziestych ubiegłego stulecia w laboratoriach naukowych fizyki jądrowej pracowano nad synchronicznym sposobem przyspieszania elektronów do najwyższych osiąganych w tym czasie energii w obszarze około 100 MeV. Już wtedy spodziewano się, że przyspieszone do prędkości bliskiej prędkości światła elektrony będą emitowały promieniowanie elektromagnetyczne, przez co będą wytracały swoją energię, oraz że zjawisko utraty energii przez przyspieszane elektrony będzie utrudniał dalsze ich przyspieszanie i będzie wymagał dostarczenia dodatkowej energii kompensującej poniesione straty. Efekt strat energii rozprędzonych elektronów obserwowano, lecz nie zauważono związanego z nim promieniowania. Jeżeli przypuszczano, że „jakieś” promieniowanie jest emitowane, to należało je zaobserwować, poznać jego własności i zmierzyć jego parametry. Dalsze badania grup budujących akceleratory miały iść w kierunku zmniejszenia tych strat energii i uzyskiwania coraz większych energii przyspieszanych elektronów. Między innymi w tym celu w 1947 roku w laboratorium General Electric Research w stanie Nowy York, USA zbudowany został kołowy, synchroniczny akcelerator przyspieszający elektrony do energii 70 MeV [1-5]. W trakcie badań, w dniu 24 kwietnia 1947 roku, po raz pierwszy obserwowano promieniowanie w obszarze widzialnym wysyłane stycznie do toru przyspieszanych elektronów podczas pracy tego akceleratora. Stwierdzono doświadczalnie, że obserwowane promieniowanie ma szczególny charakter ze względu na jego własności i naturę pochodzenia. Jego wiązka jest intensywna, spolaryzowana i bardzo słabo rozbieżna. Nazwano je promieniowaniem synchrotronowym. Nazwa promieniowania pochodzi od metody synchronicznego przyspieszania elektronów w

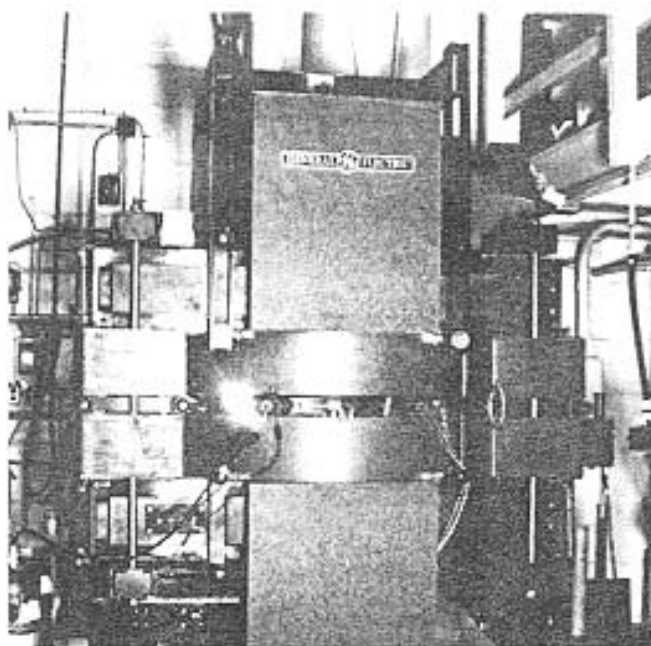
obiegu kołowym. Polega ono na synchronicznej zmianie częstotliwości zasilania zgodnie z częstotliwością i kierunkiem obiegu kołowego paczki elektronowej w pierścieniu akumulacyjnym synchrotronu.

Grupę prowadzącą budowę zorganizował i kierował nią H.C. Pollock [1-3]. Zbudowany synchrotron posiadał ośmiotonowy magnes z biegunami o średnicy 27 cali (68.58 cm) i szczeliną między nimi wynoszącą 2.5 cala (6.35 cm). W szczelinie umieszczony był pierścień z rurki szklanej (pierścień akumulacyjny) w którym przyspieszana była synchronicznie wiązka elektronowa. Promień orbity w stanie równowagi pracy synchrotronu wynosił 29.2 cm. Użycie rurki szklanej miało tu zasadnicze znaczenie ponieważ umożliwiało bezpośrednią obserwację wysyłanego promieniowania o maksymalnym natężeniu w obszarze widzialnym. Wcześniej zbudowany synchrotron (w 1945 roku, 100 MeV) [4,5] posiadał pierścień akumulacyjny całkowicie osłonięty i obserwacja promieniowania synchrotronowego na zewnątrz tego pierścienia nie była możliwa. Układ zasilający opracowany został przez Franka Eldera, a magnes był przygotowany przez asystenta, Floyda Habera. Zmienne pole elektryczne przyspieszające elektrony synchronicznie do częstości ich kołowego obiegu wytwarzane było przez wneki rezonansowe o częstości około 163 MHz, które zaprojektował Anatol Gurevitsch, a Phil Noble opracował układ do ich zasilania. Przyspieszaczem 2 MeV wstrzeliwano paczki elektronów do pierścienia akumulacyjnego synchrotronu. W pierścieniu akumulacyjnym następowało synchroniczne ich przyspieszanie do energii 70 MeV.

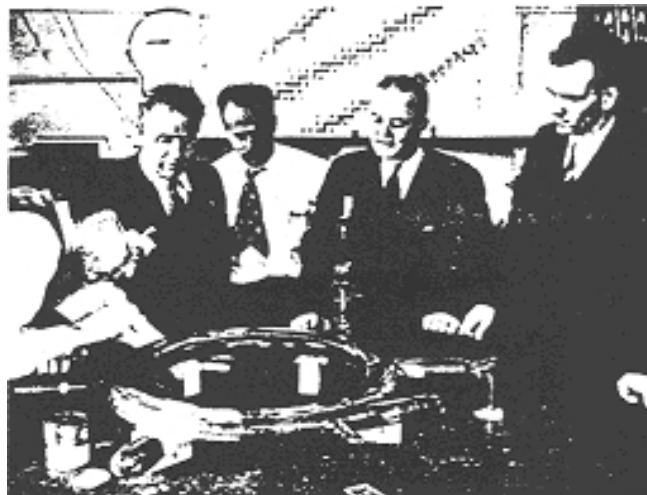
Pierścień akumulacyjny synchrotronu znajdował się w pomieszczeniu zabezpieczającym obserwatorów przed

szkodliwym promieniowaniem jonizującym. Promieniowanie to powstawało w wyniku bombardowania ścianek pierścienia akumulacyjnego przez rozproszoną część wiązki wysoko energetycznych elektronów. W tych warunkach bezpośrednia obserwacja promieniowania synchrotronowego byłaby niebezpieczna. Pomysł Floyd Habera, aby ustawić lustro w pomieszczeniu gdzie pracował synchrotron, pozwolił na obserwację obszaru gdzie znajdował się pierścień akumulacyjny i na pierwszą obserwację gołym okiem wiązki promieniowania w obszarze widzialnym widma. Wiązka ze szklanego pierścienia akumulacyjnego przechodziła przez ściankę styrcznie do tego pierścienia. Było to promieniowanie wysyłane przez elektrony przyspieszone do prędkości bliskiej prędkości światła poruszające się w polu magnetycznym – promieniowanie synchrotronowe (zob. Rys. 1).

Robert Langmuir tak przypomina przebieg doświadczenia w liście do H.C. Pollocka [3]:



Rys. 1. Zbudowany w 1947 roku [3,5] w laboratorium General Electric synchrotron 70 MeV z dobrze widoczną wiązką promieniowania synchrotronowego (biała plamka widoczna w dolnej lewej części środka zdjęcia). Główną część zdjęcia zajmują obudowy magnesów w szczelinie których umieszczony jest pierścień z rurki szklanej przedstawiony na Rys. 2. Elektrony przyspieszane są polem o częstości około 163 MHz podawanym synchronicznie do częstości obiegu tych elektronów (stąd pochodzi nazwa synchrotron). Stycznie do pierścienia wychodzi wiązka promieniowania synchrotronowego (bardzo słabo rozbieżna, spolaryzowana, intensywna) widoczna w postaci jasnej plamy. (Reproduced with permission of copyright holder, Internationa Union of Crystallography, from the paper by J.P. Blewett, *J. Synchrotron Radiat.* 5 (1998) 135-139.)



Rys. 2. Pierścień akumulacyjny synchrotronu [5] wykonany z rurki szklanej. W rurce szklanej pierścienia wytworzona była próżnia i w niej poruszały się przyspieszane synchronicznie elektrony. Zewnętrzna średnica pierścienia wynosiła 21 cali (53.34 cm), a rurka mieściła się w szczelinie magnesu o wysokości 6.35 cm. Średnica orbity elektronów w stanie ustalonym pracy synchrotronu wynosiła 58.4 cm. Osoby od lewej do prawej: R.V. Langmuir, F.R. Elder, A.M. Gurewitsch, E.E. Charlton i H.C. Pollock. (Reproduced with permission of copyright holder, Internationa Union of Crystallography, from the paper by J.P. Blewett, *J. Synchrotron Radiat.* 5 (1998) 135-139.)

„Pamiętam bardzo dokładnie i klarownie wydarzenie jakim było odkrycie promieniowania synchrotronowego. Przypuszczam, że było to wieczorem dnia 24 kwietnia 1947 roku kiedy jeden z pracowników powiadomił mnie o wyladowaniach w rurce synchrotronu. Oglądał je patrząc na duże (6 stóp wysokie i 3 stopy szerokie) lustro, które pozwalało na obserwację pierścienia akumulacyjnego bez możliwości naświetlenia obserwatora zbyt dużą dawką szkodliwego promieniowania. Ty (H.C. Pollock) kontrolowałeś pracę urządzenia. Widząc to światło poprosiłem o zmniejszenie synchronizacji. Zrobiliś to i świecenie znikło. Wróciło, kiedy ustawiłeś poprzednią synchronizację”. W dalszej części listu pisze:

„Następnie zmieniliśmy energię wiązki elektronowej i zauważyliśmy, że niebiesko-biały kolor obserwowany przy energii elektronów 70 MeV przechodzi w żółty przy energii około 40 MeV. Nie pamiętam czy mieliśmy w tym czasie dobre osłony na oknach, ale później widzieliśmy, że wiązka staje się czerwona (i dosyć słaba) przy energii 30 MeV”.

Początkowo przypuszczano, że jest to promieniowanie Czerenkowa, ale szybko stało się jasnym, że obserwowane promieniowanie opisywane jest przez obliczenia Iwanowa i Pomeranczuka [6] oraz Schwinglera [7, 8].

Główny kierunek badań zmierzał w tym okresie ku osiągnięciu coraz większych energii cząstek przyspieszanych w synchrotronach. Z niepokojem spodziewano się promieniowania synchrotronowego jako zjawiska prowadzącego do utraty energii przez z trudem przyspieszane elektrony. Zjawisko uznano za efekt szkodliwy, ponieważ jego występowanie ograniczało możliwości osiągnięcia wyższych energii przy

przyspieszaniu elektronów. Prowadzone w tym okresie badania wytworzyły przełomową, historyczną sytuację w której mógł być zbudowany odpowiedni synchrotron i to promieniowanie mogło być zaobserwowane. Liczna grupa osób przyczyniła się do uzyskanego sukcesu (aprobata finansowa administracji państwowej) - zbudowania urządzenia i zaobserwowania występującego zjawiska (naukowcy, inżynierowie, technicy) i następnie jego interpretacji i opisu teoretycznego (naukowcy, zespoły naukowe).

Interesująca jest wielka rola przypadku – pierścien akumulacyjny wcześniej zbudowanego synchrotronu nie był wyposażony w przezroczysty element (np. okienko) aby można było obserwować wysyłane promieniowanie synchrotronowe. Obserwację umożliwił opisany wyżej szklany przezroczysty pierścien akumulacyjny [9] oraz prosty pomysł z lustrem [9, 10].

Wciąż istnieją różne subiektywne poglądy na temat tego kto był pierwszym obserwatorem promieniowania synchrotronowego [3, 5, 9]. Rozstrzygnięcie nie jest zapewne możliwe bez szczegółowych badań. Zostawmy je tym którzy bezpośrednio w obserwacjach uczestniczyli albo historykom i psychologom badającym ludzkie możliwości, potrzeby i reakcje.

Przez następną prawie 20 lat badań szukano sposobu aby zmniejszyć szkodliwość powstającego promieniowania prowadzącego do strat energii przyspieszanych elektronów. Jednocześnie wraz ze wzrostem energii przyspieszanych elektronów wzrastały natężenie promieniowania oraz maksymalna energia ciągłego promieniowania do obszaru nadfioletu próżniowego i miękkiego promieniowania X. Dopiero w latach sześćdziesiątych, głównie fizycy i chemicy zaczęli wyprowadzać wiązkę promieniowania synchrotronowego z pierścienia akumulacyjnego łącząc rurami stalowymi pierścien akumulacyjny (stycznie do tego pierścienia) z monochromatorem próżniowym UHV pracującym w interesującym ich zakresie energii. Następnie, monochromatyczną wiązkę np. nadfioletu próżniowego czy miękkiego promieniowania X wprowadzano do próżniowego układu pomiarowego bez jakichkolwiek okienek. Były to pionierskie prace wymagające opanowania trudnych technik prowadzenia i kontrolowania pomiaru w warunkach UHV i z zachowaniem zasad bezpieczeństwa układu próżniowego, w którym pierścien akumulacyjny połączony jest bezpośrednio z układem pomiarowym.

W roku 1965 powstaje w USA komitet, powołany przez Panel Ciała Stałego Narodowej Akademii Nauk [5], którego celem jest ocena możliwości zastosowania promieniowania synchrotronowego do badań naukowych. W latach sześćdziesiątych prowadzone były także pionierskie przygotowania do badań na europejskich synchrotronach. Pierwszy numer pisma *European Radiation News* ukazuje się we wrześniu 1978 roku a drugi w styczniu 1979 r. W 1984 roku powstaje pod redakcją Bronisława Burasa i Sergio Tazzariego *Report of the ESRP*[&] p.t. *European Synchrotron Radiation Facility* (zob. Ref. [11]).

Dziś, synchrotrony trzeciej i czwartej już generacji stanowią, razem z towarzyszącą im aparaturą pomiarową, nowoczesne, doskonale wyposażone laboratoria do

prowadzenia badań w zakresie od podczerwieni (energii rzędu ułamków elektronowolta) poprzez nadfiolet próżniowy i miękkie promieniowanie X aż do twardego promieniowania X (energia rzędu kilkuset keV). Pozwalają one na prowadzenie badań z różnych dziedzin nauki (fizyka, chemia, technologia materiałów, biologia, geologia, medycyna, farmacja) i dotyczą zarówno podstawowych zjawisk fizycznych jak i nowych materiałów.

Stopniowo rosła też liczna i aktualnie znacząca grupa polskich pracowników naukowych prowadzących badania przy użyciu promieniowania synchrotronowego. Wielu jej członków uzyskało wyniki wyróżniające się i znaczące w skali światowej. Od roku 1991 działa Polskie Towarzystwo Promieniowania Synchrotronowego, a pierwszy numer Biuletynu PTPS ukazał się w 2002 roku [12].

Literatura:

- [1] H.C. Pollock, R.V. Langmuir, F.R. Elder, J.P. Blewett, A.M. Gurewitsch, R.L. Watters, "Design of a 70-MeV Synchrotron", Komunikat na Zjeździe American Physical Society w dniach 12 i 13 lipca 1946 r. w Berkeley, USA.
- [2] F.R. Elder, A.M. Gurewitsch, R.V. Langmuir, H.C. Pollock, "Radiation from Electrons in a Synchrotron", *Phys. Rev.* **71** (1947) 829.
- [3] H.C. Pollock, "The discovery of synchrotron radiation" *Am. J. Phys.* **51** (3) (1983) 278.
- [4] J.P. Blewett, *Phys. Rev.* **70** (1946) 798 – "The transition from Betatron to synchrotron Operation", Komunikat na Zjeździe American Physical Society, w dniach 12 i 13 lipca 1946r w Berkeley, USA.
- [5] J.P. Blewett, *J. Synchrotr. Radiat.* **5** (1998) 135-139.
- [6] D. Iwanenko, I. Pomeranchuk, On the Maximal Energy Attainable in a Betatron, *Letter to the Editor, Phys. Rev.* **65** (1944) 343.
- [7] J. Schwinger, *Phys. Rev.* **70** (1946) 798-799 – Zaproszony referat pt. "Electron radiation in high energy accelerators" wygłoszony na Zjeździe American Physical Society, w dniach 12 i 13 lipca 1946 r. w Berkeley, USA.
- [8] J. Schwinger, "On the classical radiation of accelerated electrons", *Phys. Rev.* **75** (1949) 1912-1925.
- [9] G.C. Baldwin, *Physics Today*, January 1975, p. 9.
- [10] Internetowa strona Floyda Habera:
<http://www.oneaccordfoodpantry.org/whatsthis.htm>.
- [11] B. Buras i S. Tazzari, *Report of the ESRP*, "European Synchrotron Radiation Facility", CERN, Geneva, Switzerland, October 1984.
- [12] *Synchrotr. Radiat. Nat. Sci* **1** (1), June 2002.



O autorze:

prof. dr hab. Bronisław A. Orłowski,
Instytut Fizyki PAN,
prezes PTPS w latach 1999-2005