Cena 18,50 zł (w tym "0" VAT)

nr 10/2008
ISSN 0033-2089

Elektronika

konstrukcje • technologie • zastosowania

Miesięcznik naukowo-techniczny Stowarzyszenia Elektryków Polskich

Wydawnictwo SIGMA NOT

ROZWÓJ TECHNIKI AKCELERATOROWEJ W EUROPIE I W POLSCE

CARE

EuCARD

Anglia
Austria
Finlandia
Francja
Hiszpania
Malta
Niemcy
Polska
Rosja
Szwajcaria
Szwecja
Włochy

EUROPEAN COORDINATION FOR ACCELERATOR RESEARCH AND DEVELOPMENT

EuCARD i CARE – rozwój techniki akceleratorowej w Polsce

dr hab. inż. RYSZARD ROMANIUK prof. PW

Politechnika Warszawska, Instytut Elektroniki i Technik Informacyjnych

EuCARD i CARE są przykładami wielkich europejskich programów naukowo-technicznych budowy bardzo dużej, wspólnej infrastruktury badawczo-przemysłowej w zakresie techniki akceleratorowej. Program CARE - *Coordination of Accelerator Research and Development in Europe*, był realizowany latach 2004 - 2008, a EuCARD - *European Coordination of Accelerator Research and Development*, jest jego ścisłą kontynuacją, i będzie realizowany w latach 2009 - 2012.

Na programy te składają się sieci naukowe, ponadnarodowy dostęp do wielkiej infrastruktury badawczej, wiele projektów szczegółowych metod projektowania aparatury oraz rozwoju technologicznego materiałów, elementów i podzespołów istniejącej wielkiej infrastruktury. Polskie środowiska naukowo-techniczne korzystają z uczestnictwa w tych programach w sposób zasadniczy: wymiana i kształcenie kadr, zwiększone uczestnictwo w wielkich eksperymentach, przyciąganie młodzieży zaiteresowanej naukami ścisłymi do ciekawej tematyki, budowa infrastruktury pomocniczej w kraju, dostęp do nowych technologii i wiedzy mających zastosowania przemysłowe, itp. Uczestnictwo w wielkich światowych i europejskich programach badawczych jest ponadto silnym stymulatorem podejmowania w kraju własnych, odważnych przedsięwzięć budowy infrastruktury akceleratorowej. Pod koniec 2007 roku, Krajowa Rada do Spraw Atomistyki, przy Państwowej Agencji Atomistyki zarekomendowała do realizacji w kraju (oprócz zasadniczego programu rozwoju energetyki jądrowej) trzy wielkie projekty akceleratorowe: Centrum Terapii Hadronowej, Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego oraz Polski Laser na Swobodnych Elektronach.

Technika akceleratorowa

Technika akceleratorowa jest dziedziną nauki i techniki zajmującą się przyspieszaniem cząstek naładowanych, ich badaniem i wykorzystaniem [1-19]. Obejmuje ona aspekty teoretyczne i techniczne związane ze strumieniem cząstek przyspieszonych takie jak: urządzenia do przyspieszania cząstek, ich projektowanie, budowa, eksploatacja, zastosowania badawcze i techniczne, właściwości cząstek przyspieszanych indywidualnych i w wiązce, detektory cząstek, miejsca interakcji cząstek, wykorzystanie wiązek, wiązki elektronowe i pozytonowe, mionowe (ciężki elektron), mezonowe (dwa kwarki), protonowe, jonowe. Cząstki są przyspieszane do prędkości relatywistycznych w akceleratorach, kiedyś elektrostatycznych (Van de Graaff), obecnie w elektromagnetycznych, klasycznych tzw. ciepłych, oraz coraz częściej pracujących w temperaturze ciekłego helu, tzw. zimnych. Natężenia pola we wnęce rezonansowej akceleratora EM z falą bieżącą, ciepłego, z wnęką wolframowo-miedzianą, może osiągać wartość ponad 200 MV/m (typowo do 100 MV/m), a zimnego, z wnęką niobową, ponad 40 MV/m (typowo do 30 MV/m). Ograniczeniem wielkości natężenia pola w akceleratorach ciepłych są przebicia i wyrywanie atomów z powierzchni wnęki rezonansowej, dlatego wnęki miedziane są pokrywane twardszym wolframem. W akceleratorach zimnych pole może ulec zwiększeniu we wnęce jeśli materiał nadprzewodzący jest niezanieczyszczony i monokrystaliczny. Ograniczeniem jest tzw. multipakting czyli powielanie i przyspieszanie chmury elektronów wyrwanych powierzchni wnęki rezonansowej. Te elektrony tworzą prąd ciemny akceleratora. Innym ograniczeniem jest istnienie residualnych modów wyższego rzędu (oprócz modu podstawowego - wykorzystywanego do akceleracji) w strukturze rezonansowej akceleratora. Przy wymienionych powyżej natężeniach pola elektrycznego, depozyt mocy (w postaci fali stojącej) w indywidualnej wnęce rezonansowej akceleratora jest znaczny i wynosi nawet kilkaset kW. Zadaniem sprawnej akceleracji jest przekazanie tej mocy, w jak największym stopniu do wiązki elektronowej lub pozytonowej. Popularnie wykorzystywane na świecie wnęki rezonansowe typu TESLA są wykonane z czystego niobu, pracują przy częstotliwości ok. 1,3 GHz i w temperaturze ok. 1,9K. Pojedyncza wnęka ma 9 celi, każda cela o długości połowy fali i o całkowitej długości ok. 1 m.

Oprócz zastosowania wielkich maszyn akceleratorowych, rozwijana jest alternatywna laserowo-plazmowa metoda przyspieszania cząstek. W tworzonym przez laser wielkiej mocy tunelu akceleracyjnym w gęstej plazmie, natężenie pola EM może być ok. 3 rzędy wielkości większe i wynosić dziesiątki GV/m. To pozwala na uzyskanie znacznych energii przyspieszanych cząstek na znacznie krótszej drodze i kosztem mniejszej energii wydatkowanej. Problemem do rozwiązania jest stabilność i długość generowanego dynamicznie, akceleratora plazmowego. Inną metodą pozyskiwania ultrawysokoenergetycznych, relatywistycznych cząstek do badań jest promieniowanie kosmiczne. Jednak cząstki te są rzadkie i praktycznie niekierowane. Można natomiast obserwować efekty ich oddziaływania.

Akceleratory są stosowane także do generacji pośredniej przez rozszczepianie jąder, wiązek cząstek neutralnych: neutronowych i neutrinowych. Technika akceleratorowa, przez wysoką energię wiązek cząsteczkowych jest najbliżej związana z techniką jądrową, a także - co dla nas najciekawsze - jest wykorzystywana do generacji wiązek fotonowych (lasery na swobodnych elektronach), te ostatnie o bardzo szerokim zakresie energii, od dalekiej podczerwieni do fal rentgenowskich, a w przyszłości do promieni gamma. Technika akceleratorowa jest w ten sposób powiązana z fotoniką, optoelektroniką, elektroniką i optyką, a także mechatroniką. Dostępność coraz większych maszyn użytkowych wyodrębnia dziedzinę nauki i techniki nazywaną *fizyką fo-*

tonu. Te działania są jedną z dróg prowadzących do opanowania fotonu, w sposób podobny do tego, w jaki został opanowany elektron. Być może jednak nigdy w taki sposób fotonu nie opanujemy. Na tej drodze jest wiele problemów do rozwiązania jak: znaczne spowolnienie biegu fotonu, a nawet jego zatrzymanie, gromadzenie fotonów, kontrolowane oddziaływanie między fotonami o równych i różnych energiach, prowadzenie fotonu złożoną drogą, optyka refrakcji równej jeden i mniejszej od jedności, optyka ujemnej refrakcji, itp.

Instytucje techniki akceleratorowej

Rozwój techniki akceleratorowej, ze względu na charakter badań eksperymentalnych, wymagających wielkich urządzeń, koncentrowany jest w zaledwie kilku centrach badawczych na świecie. Największy kompleks akceleratorowy znajduje się w CERN [20]. Wielkie centra narodowe znajdują się w Fermi Lab [21], SLAC [22], ORNL-SNS [23], Jefferson LabCEBAF [24], DESY [25], INFN [26], IN2P3 [27], KEK [28], itp. Z wieloma z tych centrów w Szwajcarii, Francji, Anglii, Niemczech, USA i Japonii współpracują zespoły badawcze z Polski. W wielu z nich przebywa na stażach, lub pracuje na stałe, znaczna liczba młodych uczonych z kraju. Wielu z nich utrzymuje ścisłe i aktywne związki z krajem, prowadząc wspólne projekty badawcze. Zdobyte doświadczenie i wiedza, współpraca między dużymi zespołami, prowadzona dyskusja i uczestnictwo we wspólnych programach, staje się czasami zalążkiem odważnych pomysłów na budowę dużej infrastruktury akceleratorowej w kraju. Takimi pomysłami, wartymi setki milionów złotych, są: Polski Synchrotron [29] w Krakowie i Polski Laser na Swobodnych Elektronach - POLFEL [30] w Świerku. Realizacja takich wielkich przedsięwzięć w kraju jest ważna z wielu powodów; uczestnictwa w tworzeniu wiedzy, wychowywania nowych pokoleń uczonych, generacji zastosowań technicznych, itp.

Europejskim koordynatorem badań akceleratorowych na poziomie administracyjnym jest ESGARD - Europejska Grupa Sterująca Badań Akceleratorowych [31]. Grupa składa się z dyrektorów rządowych instytutów techniki akceleratorowej krajów UE posiadających własną znaczącą infrastrukturę akceleratorową. Polska nie ma na razie reprezentanta w Europejskim Komitecie ESGARD. Naturalnymi kandydatami do członkowstwa w ESGARD są dyrektorowie Instytutu Problemów Jądrowych w Świerku [32] lub Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie [33]. Inne organizacje które mogłyby wchodzić w rachubę, jako instytucje rządowe, to IAA - Instytut Energii Atomowej lub PAA - Państwowa Agencja Atomistyki. Jednak warunkiem uczestnictwa w pracach ESGARD jest posiadanie w kraju aktywnej infrastruktury akceleratorowej. Polska obecnie takiej znaczącej infrastruktury nie ma. Obecnie działa Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego [34]. Kiedyś w kraju działały niewielkie liniowe akceleratory elektronowe. Ta infrastruktura nie będzie odnawiana, może jako element większego przedsięwzięcia. Takie plany tworzenia wielkiej infrastruktury akceleratorowej istnieją w postaci dwóch wymienionych programów: synchrotronowego i laserowego. Uczestnictwo w pracach ESGARD jest bardzo istotne dla krajowego środowiska nauki i techniki akceleratorowej z tego powodu, że organizacja ta uczestniczy w przygotowywaniu i zgłaszaniu europejskich programów badawczych w tym zakresie i jest ciałem bardzo wpływowym.

Europejskim koordynatorem kierunków rozwoju techniki akceleratorowej na poziomie naukowym jest ECFA - Europejski Komitet Badań Akceleratorowych [35]. Członkami ECFA są profesorowie, reprezentanci instytucji naukowych krajów członkowskich UE prowadzących badania w zakresie techniki akceleratorowej. Polska jest reprezentowana przez przedstawiciela Instytutu Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana w Świerku. Jest także reprezentowana, jako członek CERN w ICFA - Międzynarodowym Komitecie Badań Akceleratorowych [36]. Część z ogólnych działań koordynacyjnych jest prowadzona przez Międzynarodową Unię Fizyki Teoretycznej i Stosowanej IUPAP [37]. Reprezentantem w IUPAP jest przez przedstawiciela Instytutu Fizyki PAN. Organizacja ECFA współdziała z analogicznymi organizacjami regionalnymi, jak np. Azjatycki ACFA [38] w organizacji międzynarodowej o charakterze globalnym, jaką jest ICFA.

Najważniejszym czynnikiem rozwojowym techniki akceleratorowej (ale także innych dziedzin), jest istnienie w Europie odpowiedniego, lobbystycznego, silnie zorganizowanego środowiska naukowo-technicznego reprezentującego daną dziedzinę na poziomie rządowym, organizacyjnym, finansowym, naukowym, przemysłowym, ale także społecznym. Uczestnictwo Polski w takich dużych, ściśle zorganizowanych, i koordynowanych w skali całej Europy przedsięwzięciach badawczych wymaga istnienia analogicznych środowisk naukowo-technicznych na poziomie kraju, oddziaływujących ze środowiskami Europejskimi.

Te wymienione warunki istnienia ośrodków wpływu, są spełnione względem Europejskiego środowiska techniki akceleratorowej. W Europie, oraz w większości krajów zainteresowanych udziałem w akceleratorowych programach badawczych, istnieją stosowne instytucje, organizacje i ciała rządowe, zawodowe i społeczne. Podobna sytuacja jest w Polsce. Ciałami rządowymi są PAA - Państwowa Agencja Atomistyki [39] i zainteresowane resorty; zawodowymi są badawcze instytuty resortowe; społecznymi są konsorcja tematyczne, sieci naukowe, platformy technologiczne będące Polską stroną dużych eksperymentów, a także społeczne jednostki PAN [40] i stowarzyszenia jak: Komitet Fizyki Wydziału III PAN, Wydział IV PAN Nauk Technicznych, Polskie Towarzystwo Fizyczne [41], Polskie Towarzystwo Promieniowania Synchrotronowego [42], PTN - Polskie Towarzystwo Nukleoniczne [43], itp. Zaplecze kadrowe do udziału w programach stanowią uczelnie, kilka instytutów PAN i JBR - IFPiLM, ICHiTJ, IPJ, IFJ, IEA, ITME, ITE, IF-PAN, MITR-PŁ, itp. Spośród uczelni krajowych bardzo szerokim udziałem w międzynarodowych programach akceleratorowych i jądrowych może pochwalić się Krakowska AGH.

Miejscem cyklicznych spotkań naukowych tych środowisk są konferencje akceleratorowe PAC, EPAC [44], LINAC, FEL, ICALEPCS [45], itp. Materiały tych konferencji są publikowane na wspólnym portalu Internetowym o charakterze globalnym JACoW - *Joint Accelerator Conference Web site* [46] lub Cernowskim portalu INDICO - *International Digital Conference* [47].

Finansowanie techniki akceleratorowej

Finansowanie infrastruktury akceleratorowej na świecie odbywa się głównie na poziomie narodowym. Podobnie jest z dużą infrastrukturą badawczą innego rodzaju, np. kosmiczną, jądrową, astronomiczną, a także energetyczną. Mimo krajowego charakteru, w wielu przypadkach, nawet z nazwy, wielkie laboratoria akceleratorowe są otwarte i przyjmują propozycje badawcze (prawie bez ograniczeń) od zespołów międzynarodowych. Odrębną sprawą jest finansowanie takich grantów badawczych wykonywanych na unikalnej aparaturze. Tylko największe eksperymenty mają charakter w znacznym stopniu "składkowy" pod względem finansowania infrastruktury. Należy tu odróżnić koszty infrastruktury i jej utrzymania podstawowego od kosztów eksploatacji badawczej i kosztów indywidualnych, zróżnicowanych eksperymentów. Podobnie musi być w Polsce. Dwa wymienione projekty - Synchrotron i FEL, musimy zrealizować sami, jednocześnie starając się o jak największy udział partnerów z zagranicy. Partnerzy są konieczni, gdyż przy tak skomplikowanych i zaawansowanych technologicznie przedsięwzięciach, w kraju nie jest dostępna cała niezbędna wiedza. Wokół tych projektów kształcona będzie kadra krajowa. Oprócz budowy infrastruktury, we współpracy międzynarodowej, zasadniczą sprawą jest efektywne wykorzystanie czasu pracy maszyn. Budowana infrastruktura musi mieć charakter badawczy oraz użytkowy. Pogodzenie tych dwóch funkcji i sprawne wykorzystanie całego czasu pracy maszyny jest trudnym zadaniem logistycznym, którego także trzeba w kraju się nauczyć. Finansowanie w kraju takiej infrastruktury odbywa się obecnie, nieco niedostosowaną do skali takich przedsięwzięć metodą aplikacji o grant typu SPUB - specjalne urządzenie badawcze. Taka infrastruktura przekracza jednak znacznie ramy jednej instytucji, a nawet połączonych specjalistycznych instytucji krajowych. Infrastruktura o takich wymiarach musi być wbudowana w sieć analogicznej infrastruktury międzynarodowej. Od momentu akcesji Polski do UE, możliwym źródłem dofinansowania wielkiej infrastruktury badawczo-przemysłowej stały się Programy Ramowe i Operacyjne. Dofinansowania, a nie całkowitego finansowania, ponieważ konieczne jest istnienie bardzo dobrze zdefiniowanego projektu oraz deklaracja udziału własnego w tym projekcie. Programy Strukturalne UE (POKL, POIG,...) oraz kolejny, Siódmy Program Ramowy są naturalnym źródłem dofinansowania dla wymienionych dwóch projektów Synchrotron i FEL. FP7 - Siódmy Program Ramowy Badań Podstawowych i Stosowanych Unii Europejskiej został zaplanowany na lata 2007 - 2013, jako kontynuacja programów poprzednich. Informacje o programie są dostępne przez portal Cordis - Wspólnotowego Serwisu Informacyjnego Badań i Rozwoju [48]. Reprezentanci Polski uczestniczyli w Programach FP5 w okresie przedakcesyjnym i FP6 (2003 - 2008) po akcesji. Budżet siódmego programu ramowego wynosi ponad 50 mld Euro co stanowi ok. 5% akumulowanego wspólnego budżetu naukowego Unii Europejskiej i odrębnych budżetów naukowych jej członków. Przy takim budżecie, wpływ programu jest planowany głównie w regionach ukierunkowywania i wzmacniania integracji Europejskiej w dziedzinie nauki, tworzenia tzw. Europejskiej Przestrzeni Badawczej (ERA - *European Research Area*), inwestycji w kapitał ludzki, wzmocnienia kierunków mobilności kadr, poszukiwanie nowych możliwości zwiększenia konkurencyjności Europy w dziedzinie przemysłu innowacyjnego - silnie opartego na nauce, ewolucyjnego tworzenia społeczeństwa informacyjnego, wykorzystującego wiedzę. Program jest podzielony na kilka filarów wzmacniających niektóre z powyżej wymienionych tendencji rozwojowych. Te filary to: ludzie (*people*) - obejmujący wiele rodzajów inwestycji w rozwój potencjału ludzkiego, w najzdolniejszych uczonych i młodzież; pomysły (*ideas*) - inwestycja w innowacyjne projekty Europejskich zespołów badawczych połączona z powołaniem Europejskiej Rady Badań Naukowych (ERBN); współpraca (*cooperation*) (największa część programu FP7) - budowa nowoczesnych metod współpracy ponadnarodowej między laboratoriami badawczymi połączona z koordynacją krajowych programów badawczych i tworzeniem Europejskich Platform Technologicznych (EPT); możliwości (*capacities*) - rozwój infrastruktury badawczej w celu podniesienia potencjału badawczego i innowacyjnego. Filary te są wzmacniane inicjatywami budowy Wspólnotowego Centrum Badawczego (WCB) [49] - dla wsparcia naukowego i technicznego wspólnej polityki naukowej UE; oraz Europejskiej Wspólnoty Energii Atomowej - Euratom [50].

Możliwości - część dotycząca infrastruktury badawczej FP7 ma budżet bezpośredni nieco ponad 4 mld Euro. Jest to budżet relatywnie niewielki w stosunku do europejskiego, wynoszącego ok. 600 mln Euro rocznie w latach 2007 - 2013, więc jego wpływ na rzeczywiste kształtowanie infrastruktury badawczej może być widoczny jedynie w przypadku bardzo precyzyjnego ukierunkowania na wąskie i najważniejsze cele. Maksymalna dotacja na pojedynczy grant wynosi 10 mln Euro. Ukierunkowanie tematyczne programu Możliwości jest bardzo ściśle określone na poziomie politycznym przez ESFRI - Europejskie Forum Strategiczne Infrastruktury Badawczej [51]. Polska uczestniczy w pracach ESFRI poprzez przedstawicieli NCBR - Narodowego Centrum Badań i Rozwoju [52] oraz Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Budżet programu Możliwości jest podzielony na kilka priorytetów, z których dwa największe to budowa infrastruktury badawczej (> 1700 mln Euro) oraz wspomaganie wysoce innowacyjnych małych i średnich przedsiębiorstw (1300 mln Euro). UE definiuje infrastrukturę badawczą jako: urządzenia, zasoby i usługi używane przez społeczność naukową do prowadzenia wartościowych badań poznawczych, oraz do przekazywania, wymiany i zachowania generowanej wiedzy w wyniku tych badań. Infrastruktura badawcza według tej definicji obejmuje: główne urządzenia badawcze, archiwa, kolekcje i zbiory informacji; sieci teleinformatyczne (GRID, GEANT), unikalne jednostki badawcze. Infrastruktura badawcza ma być narzędziem w tworzeniu e-nauki, której głównymi podmiotami są: naukowiec, eksperyment, oraz zachowanie, analiza i przetwarzanie informacji. Infrastruktura badawcza wypełnia trójkąt wiedzy, którego wierzchołkami są badania, edukacja i innowacja. Ogólnymi, poza tematycznymi priorytetami UE, (tematyczne priorytety definiuje ESFRI) dotyczącymi finansowania infrastruktury badawczej są: optymalizacja użycia i rozwój najlepszej istniejącej infrastruktury, pomoc w tworzeniu nowej, potrzebnej infrastruktury naukowo-technicznej o zasięgu pan-Europejskim, wspomaganie procesów ponad narodowych w tworzeniu i wykorzystaniu infrastruktury.

Skala realizacji indywidualnego programu badawczego o dużym zasięgu w ramach FP7 nie jest wyrażana wyłącznie przez nakłady akumulowane. Nakłada się na to wiele innych czynników jak: deklaracja udziału przemysłu, dodatkowe kontrakty przemysłowe, działania ponadnarodowe, efekty synergetyczne, ilość i jakość instytucji afiliowanych przy programie, zainteresowanie młodych uczonych, prognozowane wyniki programu i zainteresowanie nimi środowisk badawczych i przemysłowych oraz wiele innych. W niektórych, najlepszych

przypadkach, wielu związanych kontraktów przemysłowych, współczynnik powielenia finansowego inwestycji w program, o dużym znaczeniu dla przemysłu, ocenia się w zakresie 2 - 3. W przypadku programu EuCARD oznacza to zakumulowaną, wirtualną inwestycję na poziomie ok. 100 mln Euro. Szanse zatwierdzenia programu badawczego o tak dużej skali są związane z kilkoma kluczowymi czynnikami. Jednym z czynników jest wysokość deklarowanego udziału własnego. Teoretycznie, minimalny deklarowany wkład własny może być zaledwie 25% całości kosztów realizacji programu. W przypadku programu EuCARD jest to ok. 70%.

Konsorcja, sieci i platformy techniki akceleratorowej

Przykładami Sieci Naukowych w dziedzinie techniki akceleratorowej są (FP6): ELAN - Europejska Sieć Elektronowych Akceleratorów Liniowych [53], BENE (MEGLIO) - Europejskie Wiązki do Eksperymentów Neutrinowych [54], HHH - Wysokoenergetyczne, Wysokonatężeniowe Wiązki Hadronowe [55], EuDET - Detektor dla projektu ILC [56], FITAL - Konsorcjum Fizyki i Techniki dla Akceleratorów Liniowych Wysokich Energii [57], Femtofizyka, Konsorcjum Metod i Techniki Jądrowej, itp. Takich konsorcjów, platform i sieci w Europie i w Polsce jest znacznie więcej. Niektóre z nich, jak EuDET, FITAL i Femtofizyka są ściśle związane z programami światowymi np. ILC - Międzynarodowy Zderzacz Liniowy [58]. W większości tych sieci i konsorcjów uczestniczą zespoły badawcze z Polski. Ogólnym zamierzeniem Sieci Naukowych jest budowa kultury współpracy pomiędzy uczestnikami i społecznościami korzystającymi z infrastruktury. Jest to realizowane przez działania na rzecz: użytkowników (szkolenia), społeczności (konferencje, grupy robocze), dobrych praktyk naukowych (wymiana personelu, standardy pracy), dostępu ponadnarodowego, intensyfikacji wspólnych działań badawczych, budowy infrastruktury wirtualnej (dane i oprogramowanie). Celem dostępu ponadnarodowego jest zapewnienie możliwości realnego i wirtualnego szkolenia kadry oraz optymalnego użycia infrastruktury. Celem wspólnych działań badawczych jest rozwój prototypów, metod, protokołów, standardów, oprogramowania, dostarczania próbek badawczych.

Kolaboracja TESLA Technology (TTC) [59] jest kontynuatorem Kolaboracji o tej samej nazwie TESLA, której celem była budowa planowanego elektronowego i pozytonowego liniaka i zderzacza Tera-elektrono-voltowego w DESY. Obecnie ten projekt jest kontynuowany jako ILC - *International Linear Collider* z lokalizacją na terenie Narodowego Laboratorium Fermiego w USA. TTC uległo ewolucyjnej transformacji w ciało konsultatywne o charakterze społecznym. Udział licznych zespołów krajowych w akceleratorowych programach badawczych CARE i EuCARD zaowocował akceptacją Politechniki Warszawskiej i Łódzkiej do tego wpływowego ciała o charakterze ogólnoświatowym. W konsorcjum TTC członkami są polskie instytuty atomistyczne.

Potencjalny udział Polski w projekcie ILC - *International Linear Collider* (Międzynarodowy Zderzacz Liniowy) jest znaczny i może obejmować nawet kilkaset osób. Liczne zespoły krajowe zadeklarowały i uczestniczą w pracach nad projektem i budową liniaka, detektorów, a także infrastruktury oraz proponują nowatorskie eksperymenty badawcze. Wysiłek w skali globalnej jest koordynowany przez ciało o nazwie GDE - *Global Design* Effort. Dla celów usprawnienia współpracy utworzono w kraju konsorcja tematyczne, np. EuDET, FITAL, Femtofizyka oraz inne, jak Warszawska Grupa ILC [60] oraz Warszawska Grupa E-XFEL, Warszawska Grupa ELHEP - Elektroniki i Fotoniki dla Eksperymentów Fizyki Wysokich Energii [61]. Projekt ILC, byłby obok projektów takich jak: ITER [62] i LHC [63] jednym z największych przedsięwzięć badawczych świata o planowanym poziomie finansowania przekraczającym 10 mld Euro.

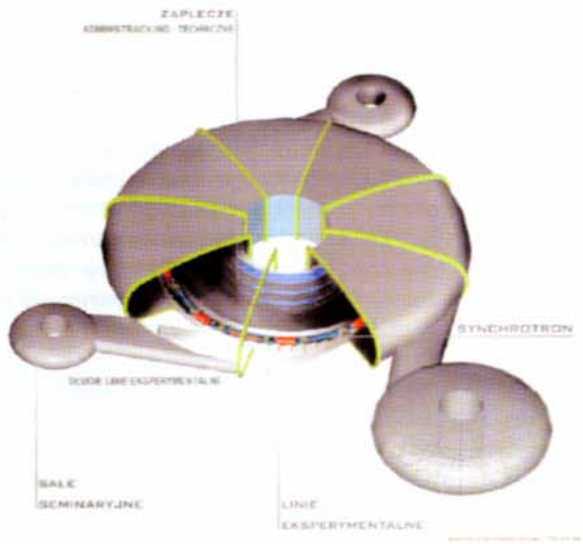
Na terenie DESY eksploatowany jest największy obecnie laser na swobodnych elektronach na świecie - FLASH. Laser zbudowany jest na liniaku elektronowym o długości ok. 200 m, wykorzystującym technologię nadprzewodzącą TESLA [64]. Laser FLASH, promieniujący w zakresie VUV, jest obecnie urządzeniem użytkowym. Równolegle stanowi rozwojowy warsztat badawczy dla prac nad budowanym Europejskim Laserem Rentgenowskim E-XFEL [65] wykorzystującym liniak o ok. dziesięciokrotnie większej długości. Wiele zespołów badawczych z Polski uczestniczy zarówno w rozwoju i budowie obu laserów, jak też w programach obecnego i przyszłego wykorzystania wiązki laserowej.

XFEL-PL w kraju utworzono w 2007 roku. Konsorcjum XFEL-Polska [66] w celu ułatwienia i koordynacji współpracy z E-XFEL. Budowa tej wielkiej maszyny odbywać się będzie na zasadach komercyjnych przez powoływaną właśnie firmę o nazwie E-XFE GmBH. Partnerem tej firmy może być powołana przez polskie konsorcjum XFEL-PL, we współpracy z NSBR, XFEL-PL Sp. z o.o. Wiele krajów Europejskich zadeklarowało udział w budowie E-XFEL. Udział jest deklarowany w postaci procenta całkowitych kosztów maszyny, ocenianych na ok. 1,5 mld Euro. Polska na poziomie rządowym zadeklarowała udział w wysokości ok. 30 mln Euro. W takim procencie będzie współwłaścicielem tej unikalnej maszyny. Udział można deklarować w postaci rzeczowej, tzn. wkładu osobowego i materiałowego, w budowę maszyny.

Równolegle do działań XFEL-Polska, w tym samym czasie i na podobnych zasadach, powstało Konsorcjum FEMTOFIZYKA [67] w celu przygotowania w kraju struktury badawczej i eksperymentalnej oraz prowadzenia prac w międzynarodowym akceleratorowym Ośrodku Badań Antyprotonowych i Jonowych FAIR GSI Darmstadt [68]. Ośrodek jest częścią Centrum Badawczego Ciężkich Jonów i prowadzi badania nad strukturą materii i ewolucją wszechświata. Udział zespołów z Polski jest bardzo liczny. Finansowanie jest koordynowane na poziomie rządowym.

Projekt POLFEL [30] jest związany z realizacją w DESY projektów FLASH oraz E-XFEL. Można powiedzieć, że POLFEL jest projektowanym bliskim partnerem badawczym i użytkowym maszyny E-XFEL. Laser Polfel jest projektowany jako element dużej Europejskiej sieci laserów FEL, współpracujących z laserem E-XFEL. Projekt jest zlokalizowany na terenie IPJ w Świerku. Koszt całkowity jest oceniany na ok. 100 mln zł, a czas realizacji na ok. 10 lat. Polfel będzie wykorzystywał nadprzewodzące ośmiownękowe moduły TESLA. Jednak źródło elektronów - wydaje się - nie będzie impulsowe (klistron) lecz przestrajane o fali ciągłej (klistroda) [69]. Budowa i eksploatacja maszyny zaangażuje wiele zespołów naukowo-technicznych w kraju.

Wizualizacja projektu liniaka elektronowego dla lasera na swobodnych elektronach na terenie Parku Naukowo –Technologicznego Świerk



Wizualizacja projektu synchrotronu w krakowskim krajowym centrum synchrotronowym

Polfel jest częścią projektowanego Parku Naukowo-Technologicznego Krajowego Centrum Atomistyki CEAT w Świerku. Z tym dużym projektem związane są krajowe instytuty atomistyki oraz władze lokalne, uczelnie, Polska Grupa Energetyczna, firmy państwowe i prywatne. W skład projektu wchodzi działalność Polskiej Platformy Technologii Nuklearnych [71]. CEAT została utworzona jako konsorcjum naukowo-techniczne i jednym z jego zadań jest kształcenie kadr dla przemysłu jądrowego [72] obejmującego technikę akceleratorową. Dalsze plany związane z rozwojem tego dużego centrum naukowo-technicznego dotyczą powołania Mazowieckiej Akademii Technicznej, kształcącej inżynierów w nowoczesnych dziedzinach jak: technika akceleratorowa, techniki jądrowe dla przemysłu, energetyki i medycyny itp.

Polski Synchrotron [29] jest bardzo ważnym projektem stworzenia w kraju silnego ośrodka naukowo-technicznego i przemysłowego promieniowania synchrotronowego. Do tej pory wszelkie projekty trzeba było wykonywać za granicą w: Cernie, Desy (HasyLab), Trieście, ESRF, Grenoble, Soleil, Orsay Lure, we Francji [70], lub w USA. Szczególnie ważny jest aspekt dydaktyczny, techniczny i przemysłowy tego projektu.

Obecnie i przez najbliższych kilka lat, najważniejszym projektem akceleratorowym na świecie jest Cernowski LHC - wielki zderzacz hadronowy jego detektory: CMS, ALICE, ATLAS, LHCb. Udział Polski programie LHC [63] jest znaczny. W realizacji akceleratora i detektorów brało i bierze czynny udział łącznie kilkaset osób z Polski, fizyków, inżynierów i techników. Obecnie trwają pierwsze próby uruchomienia całej 27 kilometrowej pętli akceleratora i synchronizacji detektorów z niepełną intensywnością wiązki. Uruchomienie akceleratora poszukującego bozonu Higgsa z pełną mocą jest przewidziane w ciągu dwóch lat. Unikalne doświadczenia tych zespołów przenoszone są do kraju i do innych planowanych eksperymentów międzynarodowych jak: SLHC, ILC, itp. Szczególnie duży zespół specjalistów z kraju brał udział w budowie detektora CMS - kompaktowego solenoidu mionowego. Zespół fizyków i informatyków z kraju bierze udział w tworzeniu globalnej sieci obliczeniowej dla LHC - POLTIER. Pośrednio z tymi eksperymentami związana jest Sieć Polskiej Fizyki Jądrowej oraz PSAC - Polska Sieć Astrofizyki Cząstek.

Program FP7 IA EuCARD

Poprzednikiem programu FP7 EuCARD był program FP6 CARE - Skoordynowane Badania Akceleratorowe w Europie [31], realizowany w Europie w latach 2004 - 2008. programie brali udział reprezentanci Polski jak: Politechnika Warszawska i Łódzka - system sterowania akceleratora, Politechnika Wrocławska - systemy dla ciekłego helu, IPJ - plazmowe pokrywanie miedzianych wnęk rezonansowych niobem. W wyniku udziału w programie CARE na terenie Instytutu Systemów Elektronicznych PW zostało stworzone specjalistyczne, nowocześnie wyposażone laboratorium systemów fotonicznych i elektronicznych dla eksperymentów fizyki wysokich energii. W wymienionych instytucjach z tematyki programu wykonano kilka prac doktorskich i realizowanych jest kilka prac habilitacyjnych. Te same instytucje z podobnymi zespołami badawczymi i tematyką kontynuują uczestnictwo w programie EuCARD.

Zatwierdzony w maju 2008 przez UE do realizacji na lata 2009 - 2012, Program Europejskiej Koordynacji Badań i Rozwoju Akceleratorów - EuCARD [73] - *European Coordination for Accelerator Research and Development*, należy do filaru Możliwości w ramach FP7 związany jest z rozwojem istniejącej wspólnotowej infrastruktury badawczej w zakresie techniki akceleratorowej. Bardzo kosztowna infrastruktura akceleratorowa, przeznaczona zarówno do badań podstawowych (jak LHC CLIC w CERN), a także do badań aplikacyjnych (jak FLASH w DESY), w takich dziedzinach jak biologia i medycyna, inżynieria materiałowa, energetyka, ochrona środowiska i bezpieczeństwo, musi być finansowana ze wspólnych środków ponadnarodowych. Łączny budżet programu (dotacja UE i wkład własny) wynosi ok. 35 mln Euro. Program należy do grupy Działań Integracyjnych (IA

- *Integrating Activities*)) i składa się z Sieci Naukowych (NA - *Networking* Activities), Dostępu Ponadnarodowego i Usług (TA i S - *Transnational Access/Services*) oraz Wspólnych Działań Badawczych (JRA - *Joint Research Activities*).

Program EuCARD rozwoju Europejskiej techniki akceleratorowej realizuje konsorcjum kilkudziesięciu instytucji badawczych: rządowych, uczelnianych i prywatnych, w tym Polski. Z programem związanych jest dodatkowych kilkadziesiąt instytucji wspierających, w tym kilka uczelni krajowych. W programie biorą bezpośredni udział reprezentanci instytucji badawczych (łącznie 40 partnerów) następujących krajów: Anglii, Austrii, Finlandii, Francji, Hiszpanii, Malty, Niemiec, Polski, Rosji, Szwajcarii, Szwecji i Włoch. Instytucjami są głównie uniwersytety oraz duże międzynarodowe lub rządowe laboratoria badawcze. Z Polski w programie EuCARD biorą udział te same instytucje co w programie CARE, czyli Politechniki: Warszawska, Wrocławska i Łódzka oraz instytuty IFJ i IPJ.

Główne cele programu to: pełne wykorzystanie potencjału akceleratora LHC, zwiększenie świetlności LHC, rozwój akceleratora CLIC, udział w projekcie akceleratora ILC, rozwój wysokonatężeniowych akceleratorów jonowych i akceleratorów dla laserów FEL, itp. Główne tematy badawcze programu to: magnesy nadprzewodzące o wielkim natężeniu pola i wysokotemperaturowe materiały nadprzewodzące, materiały i techniki kolimacji dla wiązek akceleratorowych o wielkim natężeniu, ultra-wysoko-gradientowe liniowe akceleratory ciepłe, nadprzewodząca technika wysokiej częstotliwości, fabryka neutrin, alternatywne metody akceleracji i kolimacji wiązek cząsteczkowych. Realizacja tematów programu jest koncentrowana wokół następującej Europejskiej infrastruktury akceleratorowej: CERN w Genewie (LHC, SPS-CNGS, CTF3), INFN we Frascati (DAFNE, SPARCX), STFC/Cockroft w Daresbury (EMMA), GSI w Darmstadt (SIS, FAIR), DESY w Hamburgu (FLASH, PETRA III, TTF), FZD w Dreźnie (ELBE), FZK w Karlsrue (ANKA), LOA w Paryżu (Akcelerator Plazmowy), CEA w Saclay (SupraTech RF), LAL w Orsay (SupraTech RF), BESSY w Berlinie (Hobicat), RAL w Oxfordzie (MICE).

Podsumowanie

Krajowe środowisko naukowo-techniczne techniki akceleratorowej zorganizowało się ostatnio w wiele konsorcjów i sieci naukowych oraz platform technologicznych. Taka społeczna samoorganizacja jest obecnie wymagana ze względu na tworzenie struktur mogących być partnerem analogicznych ciał Europejskich i możliwość absorpcji międzynarodowych środków Europejskich z programów strukturalnych i ramowych.

Uczestnictwo zespołów naukowo-technicznych z kraju w wielkich Europejskich i światowych programach badawczych w zakresie techniki akceleratorowej jest niezbędnym fundamentem dla rozwoju tej techniki w kraju.

Programy rozwoju infrastruktury akceleratorowej w kraju obejmują obecnie trzy duże planowane przedsięwzięcia: Centrum Terapii Hadronowej, Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego oraz Polski Laser na Swobodnych Elektronach.

Powodzenie w akceptacji i następnie realizacji tych programów zależy w dużej mierze od siły oddziaływania lobbystycznego krajowego środowiska naukowo-technicznego techniki akceleratorowej, sposobu jego samoorganizacji, powiązań ze środowiskiem międzynarodowym i podobnych działań.

Literatura

[1] Edwards D. A., Syphers H. J.: An introduction to the physics of high energy accelerators. Wiley, 1993.
[2] Reiser M.: Theory and Design of Charged Particle Beams. Wiley, 1994.
[3] Padamsee H., Knobloch J., Hays T.: RF superconductivity for accelerators. Wiley, 1998.
[4] Chao A. W., Tigner M. (editors): Handbook of Accelerator Physics and Engineering. World Scientific, 1999.
[5] Guignard G. (editor): [The CLIC Study Team], A 3 TeV e+/e- Linear Collider Based on CLIC Technology. CERN Report, July 2000.
[6] Wilson E. J. N.: An introduction to Particle Accelerators. Oxford, 2001.
[7] Brinkman R., et al. (editors): TESLA Technical Design Report. DESY, March 2001.
[8] Wille K., McFall J.: The Physics of Particle Accelerators: An Introduction. Oxford, 2001.
[9] Davidson R. C.: Physics of Intense Charged Particle Beams in High Energy Accelerators. World Scientific, 2001.
[10] Minty M. G., Zimmerman F.: Measurements and Control of Charged Particle Beams. Springer, 2003.
[11] Lee S. Y.: Accelerator Physics. World Scientific, 2004.
[12] Tzenow S.I.: Contemporary Accelerator Physics. World Scientific, 2004.
[13] Nusinovich G. S.: Modern Microwave and Millimeter-Wave Power Electronic. Wiley, 2005.
[14] Tsimring S.E.: Electron Beams and Microwave Vacuum Electronics. Wiley, 2006.
[15] Widemann H.: Particle Accelerator Physics. Springer, 2007.
[16] Sessler A.: Engines of Discovery: A Century of Particle Accelerators. World Scientific, 2007
[17] ILC Reference Design Report, CERN, Fermilab, KEK, DESY, August 2007.
[18] Wangler T. P.: RF linear accelerators. Wiley, 2-nd edition, 2008.
[19] Chao A., Chou W.: Reviews of Accelerator Science and Technology. Vol.1, World Scientific, 2008.
[20] CERN [cern.ch]; [21] Fermilab [fnal.gov]; [22] SLAC [slac.stanford.edu]; [23] ORNL [ornl.gov]; [24] Jefferson Lab [jlab.org]; [25] DESY [desy.de]; [26] INFN [infn.it]; [27] IN2P3 [in2p3.fr]; [28] KEK [kek.jp]; [29] PCPS [synchrotron.pl]; [30] POLFEL [polfel.pl]; [31] ESGARD [esgard.lal.in2p3.fr]; [32] IPJ [ipj.gov.pl]; [33] IFJ PAN [ifj.edu.pl]; [34] SLCJ UW [slcj.uw.edu.pl]; [35] ECFA - European Committee for Future Accelerators [committees2.web.cern.ch/ Committees2/ECFA]; [36] ICFA - International Committee for Future Accelerators [fnal.gov/directorate/icfa]; [37] IUPAP [iupap.org]; [38] ACFA - Asian Committee for Future Accelerators [acfahep.kek.jp]; [39] PAA [www.paa.gov.pl]; [40] PAN [pan.pl]; [41] PTF [ptf.fuw.edu.pl]; [42] PTPS [synchrotron.org.pl]; [43] PTN [ptn.nuclear.pl]; [44] EPAC [epac.web.cern.ch/EPAC/Welcome.html], [epac08.org]; [45] ICALEPCS [icalepcs.org]; [46] JACOW [accelconf.web.cern.ch], [jacow.org]; [47] INDICO [indico.cern.ch]; [48] CORDIS-FP7 [cordis.europa.eu/fp7]; [49] EU-JRC [www.jrc.ec.europa.eu]; [50] EURATOM [cordis.europa.eu/fp7/euratom]; [51] ESFRI [cordis.europa.eu/esfri]; [52] NCBiR [ncbir.gov.pl]; [53] ELAN [elan.desy.de]; [54] BENE [bene.web.cern.ch/bene], [nu.to.infn.it/Neutrino_Super_Beam]; [55] HHH [care-hhh.web.cern.ch]; [56] EuDET [eudet.org]; [57] FITAL [fital.fuw.edu.pl]; [58] ILC - International Linea Collider [linearcollider.org]; [59] TESLA TC [tesla-new.desy.de]; [60] ILC Warsaw [hep.fuw.edu.pl/ilc]; [61] E-XFEL-ILC Warsaw Group ILC News Line, 5 July 2007 [linearcollider.org/newsline/archive/2007/20070705.html], Warsaw ELHEP Group [desy.de/~rrom]; [62] ITER [iter.org]; [63] LHC [cern.ch/LHC], [lhc.fuw.edu.pl], CMS [cms.cern.ch], ATLAS [atlas.cern.ch]; [64] FLASH - Free Electron Laser in Hamburg [flash.desy.de]; [65] E-XFEL - European X-Ray Free Electron Laser [xfel.desy.de], [xfel.eu]; [66] XFEL Polska [xfel.pl]; [67] PSFN, Konsorcjum Femtofizyka [slcj.uw.edu.pl/pnpn/en/25.454.html]; [68] GSI Darmstadt, FAIR [gsi.de/fair]; [69] J.Sekutowicz, Multi-cell Superconducting Structures for High Energy e^+-e^- Colliders and Free Electron Laser Linacs, Publ.House of WUT, 2008; [70] ESRF - European Synchrotron Radiation Facility [esrf.eu]; [71] PPTN [platforma.centrumatomistyki.pl]; [72] CEAT [public.ipj.gov.pl/ceat]; [73] EuCARD [eucard.web.cern.ch/EuCARD].