

# ARTYKUŁY

## 60 LAT ZJEDNOCZONEGO INSTYTUTU BADAŃ JĄDROWYCH W DUBNEJ I UDZIAŁU POLSKICH UCZONYCH W JEGO PRACACH

### *The 60<sup>th</sup> Anniversary of the Joint Institute of Nuclear Physics in Dubna and of Participation of Polish Scientists in its Activities*

Michael Waligórski, Władysław Chmielowski,  
Mieczysław Budzyński, Wojciech Nawrocik

**Streszczenie:** W roku 2016 mija 60 lat od powstania w Dubnej (Rosja) Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych, uznanego w świecie międzynarodowego ośrodka badań jądrowych, w którym od początku czynnie uczestniczyli naukowcy polscy. W artykule omówiono aktualny stan wyposażenia Instytutu w duże urządzenia badawcze i ogólny profil prowadzonych w nim badań, zagadnienia naukowe, którymi obecnie zajmują się polscy pracownicy oddelegowani do ZIBJ z polskich ośrodków naukowych oraz tematykę prac prowadzonych w ośrodkach polskich wspólnie z pracownikami ZIBJ. W odróżnieniu od innych ośrodków międzynarodowych, dzięki grantom i programom Pełnomocnego Przedstawiciela Rządu RP w ZIBJ, na które przeznaczane jest 20% składki członkowskiej Polski, możliwe jest nieodpłatne korzystanie z istniejącej infrastruktury badawczej ZIBJ do realizacji badań prowadzonych przez polskie instytucje naukowe, gdzie polscy fizycy, chemicy i radiobiolodzy mogą realizować swoje prace niezależnie w wybranych przez nich kierunkach, uzupełniając je o komplementarne metody niedostępne w swoich macierzystych instytucjach. Konkursowy tryb przyznawania grantów i programów zapewnia tym badaniom pewną niezależność finansową od polityki prowadzonej przez dyrekcje poszczególnych laboratoriów. W ZIBJ obowiązuje także zasada zakupu materiałów i urządzeń w kraju członkowskim w wysokości nie mniejszej niż 20% składki członkowskiej, co umożliwia polskim firmom eksport aparatury i urządzeń oraz zagraniczną współpracę naukowo-technologiczną.

**Abstract:** The year 2016 marks the 60<sup>th</sup> anniversary of the establishment of the Joint Institute of Nuclear Research in Dubna (Russia), a globally recognised international nuclear research laboratory in which Polish scientists have actively participated since its inception. In this article we briefly overview the major equipment of the JINR, its current main research directions, the research topics which Polish scientists on leave from their Polish research institutions to JINR are currently engaged in, and research topics undertaken jointly by JINR and Polish scientists in Polish institutions. Unique to the Polish participation in JINR is a competitive system of grants and programmes of the Plenipotentiary of Poland, supported by 20% of the Polish JINR membership fee, to which national collaborators may apply. This enables Polish physicists, chemists and radiobiologists to freely use the JINR infrastructure and to carry out independently their current research interests, but also using the advanced JINR facilities unavailable in Poland, without any additional charges. Thus, unlike in other large international research laboratories, their current research topics may be accomplished outside of long-term detailed research programmes typical for such laboratories. JINR also adheres to the industrial return rule, namely that no less than 20% of the membership fee is to be used to purchase materials and equipment from the member's country. This enables Polish industry, especially in the high-tech area, to export their goods and to further extend joint international commercial venture.

**Słowa kluczowe:** Zjednoczony Instytut Badań Jądrowych, fizyka jądrowa, urządzenia badawcze, tematyka badań, współpraca międzynarodowa, działalność Polaków

**Key words:** Joint Institute for Nuclear Research, nuclear physics, research infrastructure, fields of research, international collaboration, activity of Polish scientists

## Wstęp

W dniu 26 marca 2016 r. minęła sześćdziesiąta rocznica założenia w Dubnej (Rosja) Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych (ZIBJ). Jest to więc dobra okazja do przybliżenia działalności tego znanego w świecie międzynarodowego laboratorium fizyki jądrowej, w którym od samego początku istotną rolę odgrywali uczeni polscy. W roku 1956 Polska była jednym z jedenastu członków-założycieli ZIBJ, zaś w składzie pierwszej Dyrekcji Instytutu był obecny Marian Danysz, który będąc także zaangażowany w prace nieco wcześniej powstałej Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych w Genewie (CERN), rozpoczął trwającą do dziś ścisłą współpracę Instytutu z CERN. W 1957 r. Instytut został wpisany do rejestru międzynarodowych organizacji ONZ. Obecnie w skład ZIBJ wchodzi 18 państw członkowskich, zaś pięć państw uczestniczy w pracach na podstawie umów dwustronnych. Państwa członkowskie to Armenia, Azerbejdżan, Białoruś, Bułgaria, Czechy, Gruzja, Kazachstan, Koreańska Republika Ludowo-Demokratyczna, Kuba, Mołdawia, Mongolia, **Polska**, Federacja Rosyjska, Rumunia, Słowacja, Ukraina, Uzbekistan i Wietnam, zaś: Republika Federalna Niemiec, Węgry, Republika Południowej Afryki, Egipt i Serbia uczestniczą w ZIBJ na zasadzie umów dwustronnych.

Dubna, obecnie licząca ponad 60 tys. mieszkańców, położona jest nad brzegiem Wołgi i jeziora zaporowego Iwankowo, około 120 km na północ od Moskwy. Obecnie Instytut w swoich laboratoriach zatrudnia ponad 4,5 tys. pracowników, w tym ponad 800 uczonych z Rosji, ponad 400 uczonych z innych krajów oraz ponad 2 tys. inżynierów i techników. Instytut jest więc ważnym partnerem lokalnych władz Dubnej, zaś w międzynarodowej społeczności uczonych przyjęło się określenie Instytutu jako „naszego wspólnego domu nad Wołgą”.

## Udział Polaków we władzach ZIBJ

Ciałami kierującymi pracami Instytutu i ich organami doradczymi są:

- Komitet Pełnomocnych Przedstawicieli (KPP),
- Komitet Finansowy (KF),
- Dyrekcja Instytutu,
- Rada Naukowa Instytutu (RN),
- Komitety Programowo-Doradcze (KPD),
- Rada Naukowo-Techniczna Instytutu (NTSI).

**Komitet Pełnomocnych Przedstawicieli (KPP)** jest najwyższym organem władzy w Instytucie. W skład KPP wchodzi Pełnomocnicy, mianowani przez rządy krajów członkowskich ZIBJ (po jednym z każdego kraju). Pierwszym Pełnomocnym Przedstawicielem Polski w KPP (w latach 1956-1967) był nieżyjący już Wilhelm Billig, ówczesny Pełnomocnik Rządu PRL do spraw Wykorzystania Energii Jądrowej, zaś w ostatnim okresie - Andrzej Hryniewicz (w latach 1991-2007) i Ziemowit Popowicz (w latach 2007-2009). Od roku 2009 funkcję tę pełni Michael Waligórski. Posiedzenia KPP odbywają się dwa razy w roku.

**Komitet Finansowy (KF)** jest organem doradczym KPP nadzorującym działalność finansową Instytutu. W jego skład wchodzi przedstawiciele państw członkowskich (po jednym z każdego kraju). Obecnie przedstawicielem Polski w KF jest Juliusz Szymczak – Gałkowski, Dyrektor Departamentu Współpracy Międzynarodowej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, obecnego dysponenta środków na opłacenie składki członkowskiej Polski w ZIBJ. Posiedzenia Komitetu Finansowego, również odbywają się dwa razy w roku, zwykle poprzedzając obrady KPP.

**Dyrekcja ZIBJ** kieruje bieżącymi pracami Instytutu. O składzie Dyrekcji decyduje KPP, wybierając na kolejne 5-letnie kadencje Dyrektora i jego Zastępców, Głównego Sekretarza Naukowego oraz Głównego Inżyniera. Polscy uczeni wielokrotnie pełnili funkcję Zastępcy Dyrektora ZIBJ – byli nimi Marian Danysz (w latach 1956-1958), Andrzej Hryniewicz (w latach 1966-1968) i Mieczysław Sowiński (w latach 1977-1983).

**Rada Naukowa Instytutu (RN)** liczy 46 członków, z których 18 jest mianowanych przez Pełnomocnych Przedstawicieli i reprezentuje każdy z krajów członkowskich, zaś pozostali są wybierani na posiedzeniu KPP z kandydatów zaproponowanych przez Dyrekcję Instytutu lub przez czynnych członków RN. Członkami RN z Polski było wielu wybitnych polskich naukowców - między innymi Leopold Infeld, Henryk Niewodniczański, Andrzej Sołtan, Marian Danysz, Andrzej Hryniewicz, Ryszard Sosnowski, Jerzy Janik czy Andrzej Budzanowski. Obecnie polskimi członkami Rady Naukowej ZIBJ są Mieczysław Budzyński, Marek Jeżabek, Krzysztof Rusek i Michael Waligórski.

Organami pomocniczymi Rady Naukowej Instytutu są **Komitety Programowo-Doradcze (KPD)**. Ich skład, na 3-letnie kadencje, zatwierdza RN na wniosek Dyrekcji ZIBJ. Obecnie działają trzy Komitety Programowo-Doradcze w obszarach fizyki cząstek, fizyki jądrowej oraz fizyki fazy skondensowanej. W skład każdego z Komitetów wchodzi ośmiu niezależnych ekspertów międzynarodowych wskazywanych przez Dyrekcję i członków Rady oraz pięciu specjalistów z Instytutu. Komitety Programowo-Doradcze działają od lat 90-tych ubiegłego stulecia. Pierwszym przewodniczącym Komitetu Fizyki Jądrowej był Andrzej Budzanowski, zaś funkcje Przewodniczących Komitetu Fizyki Fazy Skondensowanej oraz Komitetu Fizyki Cząstek pełnili Wojciech Nawrocik oraz Jan Nassalski. Obecnie w KPD Fizyki Jądrowej uczestniczy Adam Sobiczewski, w KPD Fizyki Fazy Skondensowanej - Jan Wąsicki, zaś w KPD Fizyki Cząstek – Jan Pluta.

## Budżet ZIBJ, wysokość składki członkowskiej Polski i „zwrot przemysłowy”

Zaplanowany w roku 2016 budżet ZIBJ przekracza kwotę 207 mln dolarów (USD). Zgodnie ze statutem ZIBJ, Rząd Federacji Rosyjskiej pokrywa 80% tych wydatków, tj. ponad 165 mln USD, zaś na pozostałą część budżetu składają się pozostałe państwa członkowskie oraz państwa współpracujące z ZIBJ na podstawie umów dwustronnych. Udziały państw członkowskich poza Federacją Rosyjską

pokrywane są w proporcji do ich dochodów narodowych. Wkład Polski, największego po Federacji Rosyjskiej państwa członkowskiego ZIBJ, wyniósł w roku 2016 prawie 10 mln USD. Na mocy wieloletniego porozumienia Pełnomocnego Przedstawiciela Polski z Dyrekcją ZIBJ około 40% z tej kwoty (t.j. w 2016 r. - ok. 4 mln USD) jest kierowana z budżetu Instytutu bezpośrednio do polskich grup badawczych w ZIBJ i współpracujących z nimi ośrodków naukowych w kraju. Umożliwia to dofinansowanie, na zasadzie konkursu, programów współpracy i grantów Pełnomocnego Przedstawiciela Polski w ZIBJ oraz pokrywanie kosztów uczestnictwa specjalistów z krajowych ośrodków współpracujących w badaniach prowadzonych w ZIBJ. Z kwoty tej pokrywane są również dopłaty do wynagrodzeń rublowych, a także ubezpieczenia emerytalne i zdrowotne polskich pracowników ZIBJ.

Wysokość składki członkowskiej Polski w ZIBJ wpływa także na wartość jej „zwrotu przemysłowego”, czyli części budżetu ZIBJ, z której pokrywane są zamówienia na dostawy do Instytutu polskich produktów wysokiej technologii oraz urządzeń badawczych, realizowanych przez polskie przedsiębiorstwa i instytucje naukowe. Delegacja polska w listopadzie 2015 r. doprowadziła do przyjęcia zasady iż w kraju członkowskim lokowane są zamówienia na aparaturę, materiały i usługi na kwotę co najmniej 20% wielkości składki. Zasada ta została wpisana do dokumentów regulujących działalność finansową ZIBJ.

W latach 2015-2016 przedsiębiorstwa polskie zrealizowały i realizują zamówienia ZIBJ na łączną kwotę ponad 5,5 mln USD. W przygotowaniu są dalsze plany dostaw o łącznej kwocie powyżej 40 mln USD. Plany te związane są głównie z budową w Instytucie kompleksu NICA, realizowanego jako tzw. mega-projekt przez rząd Federacji Rosyjskiej. Kompleks NICA (*Nuclotron-based Ion Collider fAcility*) to największa obecnie inwestycja ZIBJ o łącznej wartości ponad 500 mln USD. Rząd Federacji Rosyjskiej zadeklarował już gotowość sfinansowania części tego projektu kwotą ok. 300 mln USD, podejmując w kwietniu tego roku wiążącą decyzję o przekazaniu do Instytutu kwoty ok. 135 mln USD na ten cel. Kompleks NICA, włączony do Europejskiej Mapy Drogowej Urządzeń Badawczych (ESFRI), jest budowany przez międzynarodową kolaborację, w której największe udziały ma rząd Federacji Rosyjskiej i ZIBJ. W pracach budowlanych kompleksu NICA zaangażowane są również przedsiębiorstwa z Polski. Prowadzone są obecnie dwustronne rozmowy o możliwości celowego finansowania przez Instytut dużych wspólnych projektów badawczych realizowanych w polskich ośrodkach naukowych. Aby w większym niż dotychczas stopniu wykorzystać aspekty gospodarcze członkostwa Polski w ZIBJ, konieczne jest zintensyfikowanie działań prowadzących do zainteresowania polskich firm, instytucji innowacyjno-wdrożeniowych i instytutów naukowych współpracą z ZIBJ, tym bardziej, że obecna polityka naukowa ZIBJ jest już w dużym stopniu skoordynowana z europejskimi programami badawczymi oraz z działalnością CERN.

## Główne kierunki badań naukowych i laboratoria Instytutu

Zjednoczony Instytut Badań Jądrowych prowadzi działalność badawczą w trzech głównych kierunkach - badaniach podstawowych, wdrożeń i innowacji oraz w zakresie szkolenia i nauczania akademickiego.

W obszarze badań podstawowych Instytut prowadzi prace w zakresie pięciu głównych kierunków badawczych:

- fizyka teoretyczna,
- fizyka cząstek elementarnych i relatywistyczna fizyka jądrowa,
- fizyka jądrowa,
- fizyka skondensowanej fazy materii i radiobiologia,
- sieci informatyczne, techniki obliczeniowe i fizyka komputerowa.

W Instytucie działa siedem Laboratoriów oraz Centrum Naukowo-Badawcze (UNC). W ramach tego podziału, poszczególne laboratoria rozwijają własną infrastrukturę badawczą i prowadzą badania naukowe, w ramach planu naukowego koordynowanego przez Komitet Pełnomocnych Przedstawicieli oraz Radę Naukową Instytutu i realizowanego przez Dyrekcję ZIBJ oraz dyrektorów laboratoriów.

**Tabela 1.** Laboratoria Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych (stan na 2016 r.)

Lp	Nazwa laboratorium	Skrót nazwy	Dyrektor i kierownik naukowy (2016 r.)	Rok powstania
1.	Laboratorium Fizyki Wysokich Energii im. Wekslera i Baldina	LFWE (d. LWE)	W. Kekelidze	1956
2.	Laboratorium Problemów Jądrowych im., Dżelepowa	LPJ	W. Biedniakow	1956
3.	Laboratorium Fizyki Teoretycznej im. Bogolubowa	LFT	W. Woronow	1956
4.	Laboratorium Fizyki Neutronowej im. Franka	LFN	W. Szwecow W. Aksjonow	1956
5.	Laboratorium Reakcji Jądrowych im. Flerowa	LRJ	S. Dmitriew J. Oganiesjan	1957
6.	Laboratorium Technologii Informatycznych	LTI	W. Korienkow	1966
7.	Laboratorium Biologii Radiacyjnej	LBR	J. Krasawin	2005
8.	Centrum Naukowo-Dydaktyczne	CND	S. Pakulak	1991

Zwyczajowo, funkcje dyrektorów laboratoriów pełnili jak dotąd wysokiej rangi naukowcy rosyjscy, najczęściej akademicy - członkowie Rosyjskiej Akademii Nauk. Funkcję wicedyrektorów laboratoriów piastowało dotąd siedmiu Polaków: Zbigniew Strugalski (LWE), Jerzy Bartke (LWE), Sławomir Chojnacki (LRJ), Henryk Lizurej (LPJ), Zbigniew Hofman (LTI), Ireneusz Natkaniec (LFN), Edward Kapuścik (LFT) i Aleksander Polański (LTI).

W laboratoriach ZIBJ od pierwszych lat działalności Instytutu prowadzone były badania w dziedzinie teorii jądra atomowego, technik akceleracyjnych, syntezy pierwiastków superciężkich oraz badania z użyciem impulsowych wiązek neutronów. Uzyskane wyniki badań w tych kierunkach zapewniły Instytutowi trwałe uznanie i wysoką rangę w skali światowej. Obecnie dynamicznie rozwijają się również nowe kierunki działań Instytutu: fizyka radiacyjna i radiobiologia, fizyka komputerowa i informatyka, stosowana fizyka jądrowa, oraz działalność dydaktyczna – również poprzez Uniwersytet Dubieński.



**Fot. 1.** Ireneusz Natkaniec przy stanowisku badawczym NERA w LFN (2012)  
**Photo 1.** Ireneusz Natkaniec at the NERA research facility, Laboratory of Neutron Physics (2012)

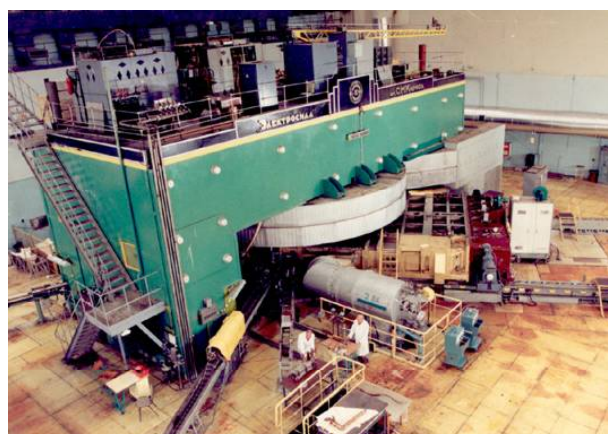
ZIBJ jest międzynarodową organizacją naukowo-badawczą otwartą na współpracę ze wszystkimi krajami na świecie. Jednak tylko kraje członkowskie mają bezpośredni wpływ na kierunki badawcze Instytutu oraz swobodny dostęp do całej jego unikalnej infrastruktury badawczej, bez dodatkowych opłat. Należy przy tym podkreślić, że również w „trudnych” latach ZIBJ, życzliwa i przyjacielska atmosfera współpracy oraz bardzo dobre warunki socjalno-bytowe sprawiły, że znaczna część powojennego poko-

lenia polskich fizyków jądrowych rozpoczęła swoją drogę naukową w Dubnej, a i teraz chętnie tu wraca. Widoczna jest także obecność w laboratoriach Instytutu nowego pokolenia naukowców polskich. Wyniki ich pracy znajdują już uznanie w publikacjach afiliowanych przez laboratoria Instytutu i ich macierzyste instytucje w kraju.

### Duże urządzenia badawcze ZIBJ

W laboratoriach Instytutu znajduje się wiele unikalnych w skali światowej urządzeń badawczych. Część z nich ma już obecnie znaczenie raczej historyczne, niemniej ze względu na ich wyjątkowe na swoje czasy rozwiązania konstrukcyjne i parametry, warto je także przypomnieć.

**Synchrocyclotron**, zbudowany pod kierunkiem M. Mieszczerałowa i W. Dzełepowa, oddany do użytku w 1949 r., przyspieszał protony do najwyższej wówczas w świecie energii 680 MeV. Był pierwszym urządzeniem ZIBJ, zainstalowanym w Laboratorium Problemów Jądrowych. Po modernizacji, od 1984 r. jako **Fazotron** pracuje do dzisiaj – obecnie głównie jako źródło wiązek protonów dla radioterapii nowotworowej oraz dla badań radiacyjnych.



**Fot. 2** Synchrocyclotron, zbudowany w 1949 r. pod kierownictwem M. Mieszczerałowa największy w tym czasie w świecie przyspieszacz cząstek, przyspieszał protony do energii 480 MeV. Po rekonstrukcji w 1953 r. jako Fazotron przyspieszacz protonów do energii 680 MeV. Obecnie wykorzystywany głównie do radioterapii hadronowej  
**Photo 2.** The synchrocyclotron, constructed in 1949 under the leadership of M. Mieshcheriakow, at the time the largest accelerator in the world, accelerated protons to the energy of 480 MeV. After reconstruction in 1953, called the Phasotron it accelerated protons to the energy of 680 MeV. Presently, it is used mainly for proton radiotherapy

**Synchrofazotron**, uruchomiony w 1957 r. w Laboratorium Fizyki Wysokich Energii kierowanym przez W. Wekslera i przyspieszający protony do energii 10 GeV, był także w swoim czasie akceleratorem o najwyższej w świecie energii przyspieszanych cząstek. Akcelerator ten był eksploatowany do początków obecnego wieku.



**Fot. 3.** Synchrofazotron zbudowany pod kierownictwem W. Wekslera w 1957 r., największy w tym czasie przyspieszacz cząstek, przyspieszał protony do energii 10 GeV. Obecnie zdemontowany

**Photo 3.** The Synchro-Phasotron constructed in 1957 under the leadership of W. Weksler, at the time the largest particle accelerator, accelerating protons to the energy of 10 GeV. Presently dismantled

**Nuklotron**, pierwszy w świecie akcelerator z magnesami nadprzewodzącymi, rozpoczął pracę w roku 1993. A. Baldin zrealizował swój śmiały projekt mimo ogromnych trudności finansowych. Z czasem ten nowatorski akcelerator zastąpił Synchrofazotron. W ten sposób zostały stworzone warunki do rozwoju relatywistycznej fizyki jądrowej w ZIBJ. Nuklotron pozwala przyspieszać jądra od wodoru do uranu do energii 6-7 GeV na nukleon, z natężeniem wiązki  $10^8$  -  $10^{13}$  cząstek w impulsie. Po modernizacji, jako **Nuklotron-M**, jest od roku 2011 wykorzystywany do prowadzenia badań fizyki ciężkich jonów wysokich energii oraz w zakresie fizyki cząstek elementarnych. Podstawowe kierunki tych badań to analiza struktury spinowej nukleonów, weryfikacja Modelu Standardowego, badanie odstępstw od symetrii CP i poszukiwanie nowych teorii struktury materii jądrowej.



**Fot. 4.** Cyklotron U-400 zbudowany pod kierownictwem G. Flerowa i J. Oganessjana w 1979 r. jest urządzeniem, na bazie którego otrzymuje się kolejne superciężkie pierwiastki

**Photo 4.** The U-400 cyclotron, constructed in 1979 under the leadership of G. Flerov and J. Oganessjan, using which successive super-heavy elements are obtained

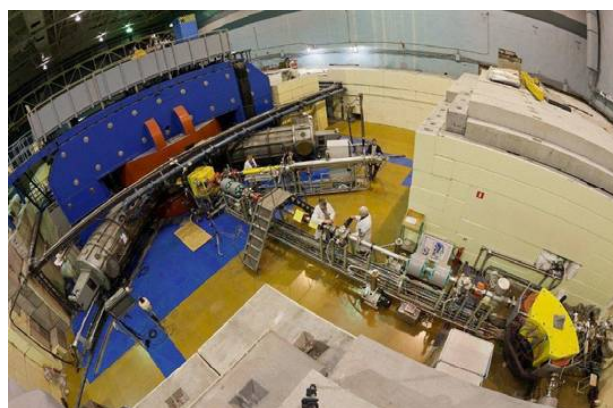
**Cyklotrony U-200, U-400, U-400M, IC-100 i mikrotron T-25**, znajdujące się w Laboratorium Reakcji Jądrowych (LRJ) stanowią unikalny w skali światowej kompleks akceleratorów

stworzony przez N. Flerowa i J. Oganessjana. Wykorzystując ten zestaw współpracujących ze sobą cyklotronów, LRJ jest wiodącym w skali światowej ośrodkiem dokonującym syntezy nowych superciężkich pierwiastków w obszarze tzw. wyspy stabilności, badań własności fizycznych i chemicznych izotopów pierwiastków superciężkich oraz badań charakterystyk spontanicznego i wymuszonego rozpadu jąder. Potwierdzeniem tego jest ostatnia decyzja IUPAC i IUPAP o nadaniu nazwy dwóm nowym pierwiastkom, w odkryciu których decydujący był wkład ZIBJ: pierwiastek 115 o symbolu Mc to *moskovium* i pierwiastek 118 o symbolu Og to *oganesson*.

Możliwe jest prowadzenie spektroskopii jądrowej izotopów pierwiastków ciężkich i transuranowych, a także prowadzenie badań struktury lekkich egzotycznych systemów jądrowych w reakcjach z jądrami stabilnymi i radioaktywnymi.

Laboratorium Reakcji Jądrowych dysponuje dwoma analizatorami ciężkich produktów reakcji jądrowych, wykorzystujących technikę „evaporation residua” w reakcjach z ciężkimi jonami. Jeden z nich to separator magnetyczny, z pomocą którego udało się zarejestrować nowe jądra atomowe o liczbach porządkowych  $Z=114-118$ , zaś drugi to separator elektrostatyczny, wykorzystywany w badaniach spektroskopowych izotopów pierwiastków superciężkich. Dla precyzyjnego pomiaru mas izotopów pierwiastków superciężkich wykorzystywany jest spektrometr masowy MASHA pracujący w czasie rzeczywistym z wiązką cyklotronu U-400M. Spektroskopia  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  transuranowców wykonywana będzie w ramach projektu GABRIELA.

Realizowany jest systematyczny program badań z użyciem jonowych wiązek izotopów radioaktywnych otrzymywanych zarówno metodą fragmentacji wiązki pierwotnej z cyklotronu U-400M jak też produkowanych metodą ISOL na stanowisku DRIBs (*Dubna Radioactive Ion Beams*). Wykorzystanie magnetycznego separatora wtórnych wiązek **ACCULLINA** (*Accurate Line*) umożliwiło wykonanie wielu pionierskich badań w tym zakresie.



**Fot. 5.** Cyklotron U-400 zmodyfikowany pod kierownictwem G. Flerowa i J. Oganessjana w 1993 r. jest urządzeniem, na bazie którego prowadzi się eksperymenty o fundamentalnym znaczeniu dla fizyki jądrowej, w tym w ramach projektu ACCULLINNA z udziałem polskich specjalistów

**Photo 5.** The U-400 cyclotron, modified in 1993 under the leadership of G. Flerov and J. Oganessjan, is a research instrument used for basic research in nuclear physics, also for the ACCULLINNA project in which several Polish specialists participate

Wiązki ciężkich jonów stanowią doskonałe narzędzie do badań w dziedzinie fizyki stosowanej, umożliwiając badanie uszkodzeń radiacyjnych w materiałach używanych np. w konstrukcjach reaktorów jądrowych lub układach scalonych wysokiej integracji wykorzystywanych w urządzeniach pracujących w przestrzeni kosmicznej. Dzięki możliwości otrzymywania w krótkim czasie gęstości defektów radiacyjnych porównywalnej z gęstościami występującymi w wyniku wieloletniej ekspozycji w intensywnych strumieniach neutronów reaktorowych, możliwe jest badanie zmian własności konstrukcyjnych materiałów istotnych dla bezpieczeństwa jądrowego. W innych zastosowaniach wiązek jonowych wykorzystuje się ich zdolność do modyfikacji struktury napromienianego materiału w skali nanometrowej, celem wytworzenia materiałów o własnościach pożądanych w różnych gałęziach techniki np. w optoelektronice. Wyprodukowane w LRJ nanometrowe membrany filtrujące znalazły już zastosowanie w medycynie. Innowacyjne materiały będące w trakcie opracowywania mogą być wykorzystane w badaniach mikroprzepływów, konstrukcji czujników molekularnych oraz do innych zastosowań współczesnej biotechnologii.

W najbliższych latach kompleks cyklotronów LRJ poddany zostanie modernizacji i wejdzie do eksploatacji jako **DRIBS-III**. W ramach tego projektu zostaną zmodernizowane cyklotrony U-400 i U-400M, wybudowana będzie nowa hala eksperymentalna, skonstruowany uniwersalny separator do syntezy i badań pierwiastków superciężkich oraz detektor kriogeniczny do badania ich właściwości chemicznych. Zbudowane zostaną również: laboratorium radiochemiczne, separator jąder radioaktywnych i neutronadmiarowych, uniwersalny spektrometr do badania reakcji z jądrami egzotycznymi z wiązki separatora, a także detektory promieniowania  $\gamma$  i neutronowe. Pozwoli to utrzymać pozycję ZIBJ jako światowego lidera w badaniach z wykorzystaniem jonów niskich i średnich energii.

**Reaktor IBR** zbudowany pod kierownictwem pierwszego dyrektora ZIBJ D. Błochincewa i oddany do użytku w 1960 r., był pierwszym w świecie impulsowym reaktorem wykorzystującym neutrony prędkie. W 1984 r. zastąpił go **IBR-2**. Po modernizacji został uruchomiony w 2011 r. jako **IBR-2M**, który wraz z urządzeniem **IREN** oraz **EG-5** stanowią podstawowe urządzenia badawcze LFN.



**Fot. 6.** Reaktor impulsowy prędkich neutronów IBR-2M zbudowany w 1964 r. pod kierownictwem D. Błochincewa i I. Franka. Podstawowe narzędzie badawcze Laboratorium Fizyki Neutronowej, w którym pracuje najliczniejsza grupa polskich pracowników

**Photo 6.** The IBR-2M pulsed fast neutron reactor built in 1964 under the leadership of B. Blokhintzev and I. Frank. It is the main research facility of the Laboratory of Neutron Physics, where the largest group of Polish researchers is presently gathered

Z wykorzystaniem tych urządzeń prowadzone są w LFN kompleksowe badania z dziedziny neutronowej fizyki jądrowej: reakcji jądrowych wywołanych neutronami, podstawowych własności neutronów, fizyki neutronów ultrazimnych jak również badania w obszarze skondensowanej fazy materii: struktury krystalicznej i dynamiki strukturalnej w innowacyjnych materiałach.

Neutronowe metody badania materii umożliwiają uzyskanie szczegółowych informacji o strukturze atomowej i magnetycznej oraz dynamice struktur różnych materiałów. Podstawowymi kierunkami badań są magnetyzm nanostruktur warstwowych, nanodiagnostyka magnetycznych układów koloidalnych i nanomateriałów węglowych oraz polimerów nanodispersyjnych, badanie struktury i funkcji biologicznych makromolekuł białek, DNA, RNA oraz badanie struktury kompleksów lipidowo-białkowych.

W związku z uruchomieniem mikroskopu CARS (Coherent Anti-Stokes Raman) będzie także możliwe wykonywanie badań DNA i widm ramanowskich struktur białkowych.

Instytut posiada rozbudowaną infrastrukturę obliczeniową w postaci Centralnego Kompleksu Informacyjno-Obliczeniowego, zintegrowanego ze światowymi sieciami informatycznymi. Znajdują się tu grid-segmenty stanowiące ważny element m.in. **WLCG** (Worldwide LHC Computing Grid) i **EGI** (European Grid Infrastructure). Znajduje się tu także centrum sieciowe na poziomie **Tier-1** do obsługi eksperymentu CMS na LHC – Wielkim Zderzaczu Hadronów w CERN w Genewie.

We współczesnych badaniach naukowych wymagane jest podejście interdyscyplinarne, wykorzystujące różne metody fizyki jądrowej. Unikalna infrastruktura doświadczalna oraz szeroki zakres prowadzonych w ZIBJ badań teoretycznych umożliwiają prowadzenie badań podstawowych i stosowanych w biologii i medycynie, materiałoznawstwie, geofizyce, czy diagnostyce przemysłowej.

Plany rozwoju programu naukowego Instytutu związane są przede wszystkim z rozbudową i modernizacją własnej infrastruktury badawczej. Po zwiększeniu energii i natężenia wiązek jonowych wytwarzanych w akceleratorach, możliwe będzie kontynuowanie prowadzonych obecnie badań w znacznie szerszym zakresie.

Największym urządzeniem rozszerzonej infrastruktury badawczej ZIBJ będzie **zderzacz jonowy wiązek przeciwbieżnych NICA** przeznaczony do badań w dziedzinie fizyki ciężkich jonów wysokich energii. Projekt NICA przewiduje powstanie unikalnego kompleksu - kaskady akceleratorów, który pozwoli na realizację bogatego programu podstawowych badań fizycznych w obecnie niedostępnych obszarach energii i mas oddziaływujących cząstek. W celu pełnego wykorzystania możliwości tego kompleksu niezbędne jest stworzenie odpowiednich stanowisk pomiarowych. Planuje się budowę dwóch stanowisk detektorów: **MPD (Multi Purpose Detector)** i **SPD (Spin Physics Detector)**. Stanowisko MPD umożliwi badanie silnych oddziaływań w materii hadronowej o wysokiej gęstości i temperaturze, gdzie spodziewane jest wystąpienie stanu tzw. fazy mieszanej, w której jądro składa się równocześnie z hadronów i materii kwarkowo-gluono-

wej. Podstawowy cel badawczy stanowi tu wykrycie przejścia fazowego związanego z tymi stanami. Stanowisko SPD umożliwi badanie oddziaływań wiązek jonów w zakresie do  $Au^{+79}$  o średniej świetlności  $L=10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  w przedziale energii  $\sqrt{s_{NN}}=4-11 \text{ GeV}$ , a także wiązek spolaryzowanych protonów ( $\sqrt{s_{NN}}$  do 20 GeV) i deuteronów ( $\sqrt{s_{NN}}$  do 12 GeV) z polaryzacją podłużną i poprzeczną, co umożliwi badanie spinowej struktury nukleonów w znacznie szerszym niż dotychczas zakresie.

Drugą wielką inwestycją realizowaną obecnie w ZIBJ jest budowa **fabryki superciężkich pierwiastków SHE-F** (*Superheavy element factory*). ZIBJ jest bez wątpienia wiodącym w świecie ośrodkiem syntezy i badania superciężkich pierwiastków, w którym otrzymano jądra o liczbach atomowych od 113 do 118. Dwa z otrzymanych izotopów otrzymały nazwy związane z Instytutem: dubnium (Db 105) i flerovium Fl (114). SHE-F będzie ważną częścią projektu DRIBs, umożliwiającą rozszerzenie badań nad otrzymywaniem i analizą fizyko-chemicznych własności superciężkich pierwiastków o coraz wyższych liczbach atomowych i weryfikację istnienia tzw. wyspy stabilności – grupy ciężkich jąder o dłuższym czasie życia. Ponieważ dotychczasowe narzędzia wykorzystywane przez zespół J. Oganjesjana wyczerpały swoje możliwości, należy zmienić zarówno wiązkę jonów jak i tarczę, zbudować nowe stanowiska pomiarowe i zastosować nowe metody zbierania i opracowania wyników pomiarów. W związku z tym powstaje nowy cyklotron (**DC 280**), projektuje się nową aparaturę i buduje halę eksperymentalną.

ZIBJ uczestniczy również w pracach związanych z planami budowy akceleratora i detektorów w ramach projektu **ILC** (*International Linear Collider*), w postaci udziału Instytutu w projektowaniu aparatury i przygotowaniu programu badań z wykorzystaniem ILC. Przewiduje się kontynuację prac projektowych dotyczących udziału ZIBJ także w innych programach europejskich: lasera na swobodnych elektronach, prototypu fotoinjektora, kriogenicznych modułów czwartej generacji, oraz laserowego kompleksu metrologicznego, planowanych do realizacji w ramach europejskiej infrastruktury badawczej.

### Specjalna Strefa Ekonomiczna i Międzynarodowe Innowacyjne Centrum Nanotechnologii

Specjalna Strefa Ekonomiczna o charakterze innowacyjnym (SSE) powstała w Dubnej z końcem roku 2005 r. w celu wykorzystania potencjału ZIBJ do wdrożeń przemysłowych wysokich technologii, stosowanych w Instytucie. Poprzez budowę niezbędnej infrastruktury, uproszczenie wymagań formalnych oraz wprowadzenie ulg podatkowych i celnych, władze centralne i lokalne stwarzają rezydentom SSE szczególnie dogodne warunki dla ich działalności gospodarczej, szczególnie w zakresie wysokich technologii.

Międzynarodowe Innowacyjne Centrum Nanotechnologii krajów członkowskich WNP (MICNT) zostało utworzone w Dubnej w roku 2009 we współpracy z Instytutem im. Kurczatowa, Międzynarodowym Stowarzyszeniem Akademii Nauk oraz przy poparciu Międzypaństwowej

Fundacji Współpracy Humanitarnej Wspólnoty Niepodległych Państw. Zadaniem Centrum jest integracja działalności badawczej, szkoleniowej oraz technologicznej dla uzyskania innowacyjnych rozwiązań w obszarze nanotechnologii. Obecnie Centrum skupia organizacje naukowe, edukacyjne i handlowe z krajów WNP. W przyszłości planowane jest rozszerzenie działalności Centrum na kraje członkowskie ZIBJ oraz Unii Europejskiej.

### Badania prowadzone przez polskich pracowników delegowanych do ZIBJ

Od roku 1956 w laboratoriach Instytutu przebywało przez okres dłuższy niż 6 miesięcy ponad 450 osób z Polski, przygotowując ponad 100 prac doktorskich i ponad 40 prac habilitacyjnych.

Uczestnictwo polskich naukowców w działalności ZIBJ jest koordynowane przez niewielką grupę tzw. rezydentów - doświadczonych, wysokiej klasy specjalistów, przebywających w ZIBJ przez długi okres czasu i dobrze znających ten Instytut. Grupę polskich pracowników w ZIBJ reprezentuje wobec Dyrekcji ZIBJ Starosta Grupy Polskiej – **Władysław Chmielowski**, który wspólnie z rezydentami opiekuje się zarówno od strony naukowej jak i bytowej młodszymi naukowcami, przebywającymi w Dubnej na długich kontraktach oraz naukowcami i studentami przyjeżdżającymi do Instytutu na krótkie pobyty (1-4 tygodnie), również w ramach Programu Bogolubowa-Infelda.

Obecnie grupa polskich specjalistów oddelegowanych do pracy w ZIBJ liczy 31 osób, z których większość to osoby młode. W tej grupie polskich pracowników ZIBJ jest czterech doktorów habilitowanych, szesnastu doktorów nauk, pięciu magistrów, czterech magistrów inżynierów, jeden inżynier i dwoje studentów. W Instytucie pracują także dwie żony polskich pracowników.

Obecni w ZIBJ polscy specjaliści oddelegowani zostali z następujących ośrodków krajowych: Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu, Uniwersytetu Jagiellońskiego, Uniwersytetu Wrocławskiego, Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Uniwersytetu Szczecińskiego, Uniwersytetu w Białymstoku, Uniwersytetu M. Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Politechniki Warszawskiej, Politechniki w Opolu, Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego, Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, Narodowego Centrum Badań Jądrowych, Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej, Instytutu Elektrotechniki oraz Wielkopolskiego Centrum Onkologicznego.

Każdego roku przyjeżdża z Polski do ZIBJ na krótkie pobyty od 80 do 100 fizyków i specjalistów oraz ponad 70 studentów, uczniów i nauczycieli. W ramach współpracy międzynarodowej duża liczba pracowników ZIBJ przyjeżdża również do polskich ośrodków badawczych, najczęściej na krótkie pobyty.

Polacy pracują we wszystkich laboratoriach Instytutu, działając w obszarach badań podstawowych, zastosowań oraz działalności edukacyjnej, w większości kierunków badawczych prowadzonych w ramach programu naukowego Instytutu.

W ostatnich latach liczba publikacji powstałych z udziałem polskich pracowników w wyniku współpracy z ZIBJ utrzymuje się na stałym poziomie ok. 80 publikacji posiadających Impact Factor rocznie (w latach 2011 – 2015, odpowiednio 79, 108, 67, 74 i 78 publikacji).

W obszarze badań podstawowych prowadzonych przez polskich uczonych w ZIBJ na szczególne wyróżnienie zasługują cieszące się wysokim uznaniem w świecie prace teoretyczne **Adama Sobiczewskiego i współpracowników** związane ze strukturą budowy jądra atomowego, dotyczące syntezy i rozpadu jąder superciężkich pierwiastków. Polscy teoretycy we współpracy z fizykami doświadczalnymi z Laboratorium Reakcji Jądrowych interpretują otrzymane wyniki doświadczalne oraz przewidują rezultaty planowanych eksperymentów. Przedmiotem współpracy polskiej grupy z teoretykami ZIBJ są obliczenia przekrojów czynnych na syntezę pierwiastków superciężkich. Przekroje te opisują prawdopodobieństwo zajścia syntezy. Wartości przekrojów czynnych obliczają teoretycy dubieńscy, teoretycy polscy zaś opracowują podstawową wielkość wchodzącą do tych obliczeń – wysokość bariery na rozszczepienie syntetyzowanego jądra.

W *Laboratorium Fizyki Teoretycznej* pracuje obecnie trójka polskich fizyków. **Dorota Strózik-Kotlorz** (PO) zajmuje się badaniami dotyczącymi struktury nukleonów za pomocą tzw. metody Mellina obciążonych momentów (TMM), którą można zastosować do analizy danych z eksperymentów COMPASS, JLAB, Hermes, m.in. w testowaniu reguł sum QCD oraz w zagadnieniach dualizmu kwarkowo-hadronowego. Dorota Strózik-Kotlorz uzyskała rozwinięcie i uogólnienie równań ewolucji TMM i zastosowała je w analizie spinowych funkcji struktury protonu, wykazując, że stanowią one użyteczne narzędzie w badaniach funkcji struktury nukleonu w każdym rzędzie rachunku zaburzeń. Przedmiotem badań **Marcina Piątka** (USz) są niskowymiarowe teorie pola i ich zastosowania, w szczególności badania dotyczące funkcji korelacji w modelach dwuwymiarowej konforemnej teorii pola. Formalizm ten jest stosowany do opisu zjawisk krytycznych (przejść fazowych) w dwuwymiarowych układach statystycznych, w opisie kwantowego efektu Halla, czy w fizyce polimerów i teorii strun. Drugi obszar działalności badawczej Marcina Piątka to topologiczne teorie pola i ich zastosowania w teorii polimerów, w szczególności do konstrukcji mechaniki statystycznej polimerów splątanych (tematyka realizowana wspólnie z **Franco Ferrari**, kierownikiem Zakładu Teorii Pola Instytutu Fizyki Uniwersytetu Szczecińskiego). Natomiast **Artur Pietrykowski** (UWr) koncentruje się na dwóch klasach zagadnień: badaniu konsekwencji wynikających z uwzględnienia poprawek grawitacyjnych na samo-oddziaływanie pola skalarnego z oddziaływaniem typu Higgsa oraz ich aspektu kosmologicznego. Drugim tematem, nad którym pracuje Artur Pietrykowski, jest badanie związku pomiędzy supersymetrycznymi czterowymiarowymi teoriami pola z symetriami cechowania a dwuwymiarową Konforemną Teorią Pola. Wspólnie z Marcinem Piątkiem rozważają granicę klasyczną tej relacji dla przypadku supersymetrycznej teorii Younga-Millsa i jej związek z modelami całkowalnymi.

Polscy i dubieńscy teoretycy współpracują w ramach Programu Bogolubowa-Infelda, który jest dodatkowym źródłem finansowania współpracy międzynarodowej. Dotyczy to około 40 osób z LTF i polskich ośrodków: UWr, UMCS, UJ, UŚ, Politechniki Poznańskiej i IFJ PAN.

W *Laboratorium Fizyki Wysokich Energii* (LFWE) polscy specjaliści korzystają z wiązek jonów wytwarzanych przez Nuklotron. **Waldemar Karcz** (IFJ PAN), związany z projektem FAZA, bada ekstremalne stany materii jądrowej charakteryzujące się wysokimi temperaturami i gęstościami znacznie różnymi od tych, jakie występują w jądrach atomowych w pobliżu stanu podstawowego. Jednym z głównych kierunków badań służących poznaniu diagramu fazowego materii jądrowej są badania procesów multifragmentacji jąder atomowych. Multifragmentacja polega na rozpadzie systemu jądrowego na wiele fragmentów, obserwowanych przy energiach wzbudzenia powyżej  $\sim 4$  MeV/nukleon. Celem projektu FAZA jest badanie mechanizmu multifragmentacji termicznej ciężkich jąder bombardowanych przez relatywistyczne lekkie jony. W opublikowanych pracach grupy FAZA po raz pierwszy wykazano, że proces ten jest zupełnie nowym, wielociałowym sposobem rozpadu silnie wzbudzonych jąder (5-7 MeV/n), wywołanym głównie przez termiczne wzbudzenie jądra. Poznanie procesu multifragmentacji ma również znaczenie w astrofizyce. Gęstość i temperatura na powierzchni gwiazd neutronowych są bliskie do tych, w których zachodzi proces multifragmentacji. Dokładna informacja o zachowaniu się jąder przy mniejszej gęstości w temperaturach powyżej 5 MeV może wyjaśnić dynamikę gwiazd supernowych. Badanie procesów multifragmentacji ma także znaczenie dla prac związanych z transmutacją odpadów radioaktywnych, jest więc istotne dla dalszego rozwoju energetyki jądrowej.

Z grupą FAZA współpracuje także **zespół Jerzego Krupki** z Instytutu Mikroelektroniki i Optoelektroniki PW. W pracach tej grupy próbki krzemu o wysokiej czystości naświetlane są wysokoenergetycznymi jonami deuteru przyspieszonymi w Nuklotronie. Napromienione próbki krzemu są następnie wszechstronnie badane w Warszawie pod kątem powstałych defektów radiacyjnych, z zastosowaniem wyrafinowanych metod opracowanych przez specjalistów z PW (np. bezkontaktowe pomiary rezystencji). Podobne badania planuje się przeprowadzić innych półprzewodników. Otrzymane rezultaty znajdują zastosowanie przy budowie specjalistycznej aparatury pomiarowej.

Dwaj pracownicy NCBJ - **Marcin Bielewicz i Andrzej Wojciechowski**, pod naukowym kierownictwem **Mariana Szuty** (NCBJ), prowadzą w LFWE eksperymenty z zastosowaniem wiązek deuterionów z Nuklotronu (LFWE) i wiązek protonów z Fazotronu (LJP), w ramach tematyki ADS (**Accelerator Driven System**). Ich projekt o nazwie Energia i Transmutacja Odpadów Radiacyjnych dotyczący spalacji i transmutacji wypalonego paliwa jądrowego jest szczególnie trudny w realizacji ze względu na wyjątkowe wymagania eksperymentalne. Doświadczenia przeprowadza się z użyciem podkrytycznego układu QUINTA zawierającego



500 kg uranu. Układ ten w najbliższej przyszłości będzie uzupełniony znacznie większym układem BURAN. Tak maszyną tarczą uranową naświetla się wiązką np. protonów i bada otrzymywane w układzie pola neutronów. Jeżeli do tego układu dołączyć próbkę jednego z aktywności, możliwe jest badanie procesów transmutacji i spalania odpadów radiacyjnych i towarzyszącego tym procesom wydzielania energii. Prace doświadczalne wspierane są przez obliczenia modelowe z zastosowaniem programu MCNPX, które następnie porównuje się z wynikami eksperymentów. Grupa Mariana Szuty dwa razy w roku przyjeżdża do Dubnej, aby uczestniczyć w opisanych wyżej eksperymentach.



**Fot. 7.** Grzegorz Kamiński, nauczyciele z Polski przy stanowisku badawczym ACCULINNA

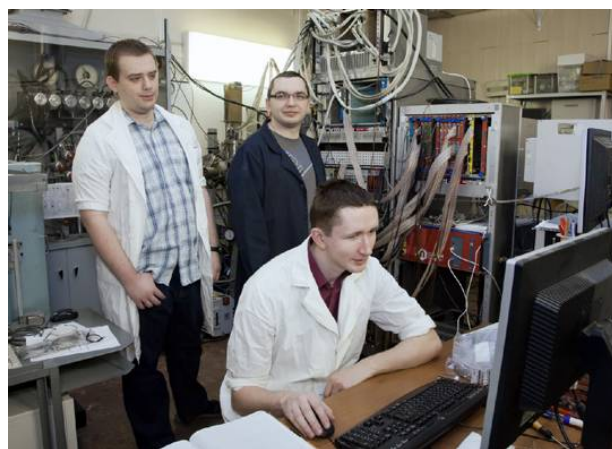
**Photo 7.** Grzegorz Kamiński and Polish teachers at the ACCULINNA research facility

**Henryk Malinowski** (IE) jest kierownikiem sektora naukowego w LFWE i zajmuje się wdrażaniem nowych technologii kriogenicznych w kompleksie Nuklotron, a w przyszłości w kompleksie NICA. W szczególności prowadzi badania dotyczące optymalizacji układu zabezpieczenia elektromagnesu źródła jonów KRION i opracowania bloku pomiarowego czujnika jego strefy rezystywnej. Pod jego kierunkiem grupa rosyjsko-polska realizuje ambitne zadanie zastosowania do chłodzenia elektromagnesu źródła KRION kriokulera i układu rekondensacji helu z użyciem nadprzewodników wysokotemperaturowych (HTS). Kolejnym zadaniem tego zespołu jest zbadanie możliwości wykorzystania taśm HTS drugiej generacji do budowy wysokoprądowych przepustów przy cyklicznie zmieniających się obciążeniach prądowych i przy zmiennych polach magnetycznych. W pracach grupy uczestniczy także student UMK **Kamil Kozłowski**, który zajmuje się systemem kalibracji czujników temperatury. Czujniki te umożliwiają zachowanie wysokiej precyzji odczytu temperatury nawet w zakresie temperatur ciekło-helowych. Zespół prowadzi również prace nad pomiarem jednorodności pola magnetycznego wewnątrz ekranów nadprzewodnikowych. W tym celu zespół zbudował kolejny, zautomatyzowany system pomiarowy, co umożliwi dokonanie znacznie szybszych i dokładniejszych pomiarów oraz dokonanie analizy uzyskanych danych.

Opracowane w ZIBJ technologie budowy magnesów nadprzewodzących mogą znaleźć zastosowanie przemysłowe - do konstrukcji separatorów nadprzewodzących

służących do przemysłowego oczyszczania wody z zanieczyszczeń paramagnetycznych, usuwania z siarki zanieczyszczeń węglowych, a także do wzbogacania rud niklu i żelaza, czy pozyskiwania metali szlachetnych (m. in. złota) z odpadów kopalnianych. Prototyp takiego separatora jest obecnie budowany w toruńskiej firmie innowacyjno-wdrożeniowej FRAKOTERM pod kierunkiem **Waldemara Kozłowskiego i Henryka Malinowskiego**.

W tym samym laboratorium polska grupa - **Daniel Dąbrowski i Krystian Rosłoń** pod kierownictwem **Marka Peryta** (PW), ściśle współpracując z Instytutem Fizyki PW pracuje nad systemem kontroli **SCS (Slow Control System)** dla zapewnienia właściwego funkcjonowania skomplikowanego układu pomiarowego kompleksu NICA. Ze względu na wielkość i złożoną budowę tego kompleksu jest to ogromne i wyjątkowo odpowiedzialne przedsięwzięcie. Współczesna aparatura pomiarowa jest tak złożona, że nie można w klasyczny sposób ustawić jej wartości i punkty pracy bowiem takich ustawień jest kilkaset tysięcy. Dlatego wykorzystuje się komputery, które w odpowiednio rozszerzonych bazach danych zapisują wymagane wartości i stan aparatury. Dane te są rejestrowane w bazie danych **EqDb Equipment Database** opracowanych przez grupę polską. Slow Control to wielofunkcyjny system elektroniczny korzystający z najnowszych technologii, który steruje pracą całego układu eksperymentalnego, zapewnia bezpieczeństwo urządzeń i personelu oraz weryfikuje poprawność zmierzonych wartości fizycznych i ich analizy.



**Fot. 8.** Piotr Pluciński, Sławomir Mianowski i Marcin Mentel przy stanowisku badawczym ACCULINNA

**Photo 8.** Piotr Pluciński, Sławomir Mianowski and Marcin Mentel at the ACCULINNA research facility

W *Laboratorium Reakcji Jądrowych* (LRJ) polscy naukowcy pracują w dwóch obszarach: **Roman Wolski, Grzegorz Kaminski** (obaj IFJ PAN), **Piotr Pluciński** (AGH) i **Bogumił Zalewski** (ŚLCJ) są uczestnikami projektu ACCULLINA, zaś **Katarzyna Olejniczak i Andrzej Olejniczak** (UMK) pracują w Nanocentrum „Dubna” tego Laboratorium. Tematyka badawcza grupy ACCULINNA jest ściśle związana z kompleksem cyklotronowym LRJ i skupia się głównie na badaniach właściwości lekkich egzotycznych

nuklidów na granicy stabilności nukleonowej. Badania prowadzone w ramach tego projektu dają unikalne możliwości dla poznania struktury i właściwości egzotycznych nuklidów, jak również poznania mechanizmu reakcji jądrowych, w których badane jądra są wytwarzane. Wiedza ta jest ważna dla poznania procesów astrofizycznych (nukleosynteza) i własności materii neutronowej. W najbliższych latach kompleks ACCULINNA zostanie zastąpiony przez nowy kompleks eksperymentalny, na który złożą się separator ACCULINNA-2 z układem kriogenicznej tarczy trytowej oraz aparaturą do detekcji cząstek naładowanych i neutronów, który da unikalne możliwości badawcze, szczególnie dla ośrodków w Polsce - Uniwersytetu Warszawskiego i Akademii Górniczo-Hutniczej. Ośrodki te od wielu lat prowadzą wspólne badania z wykorzystaniem obecnego separatora ACCULINNA.

W LRJ jest rozwijany również inny polski projekt dotyczący nowatorskiej techniki detekcji cząstek naładowanych metodą Optical Time Projection Chamber (OTPC). Spektrometr cząstek naładowanych OTPC został zaprojektowany i zbudowany przez grupę eksperymentalną z Uniwersytetu Warszawskiego kierowaną przez **Wojciecha Dominika i Marka Pfütznera**. Nowatorska technologia detekcji cząstek łączy w sobie technikę detektora komory jonizacyjnej z projekcją czasową z odczytem optycznym. Pierwsze testy OTPC wykonano wykorzystując wiązki radioaktywnych jonów na separatorze ACCULINNA. Obecnie wykorzystywany jest do obserwacji rzadkich kanałów rozpadów egzotycznych jąder na drodze  $\beta$ -opóźnionej emisji cząstek, w szczególności  $\beta$ -opóźnionej emisji protonów. Wyniki te znalazły już duże uznanie w skali międzynarodowej. LRJ jest szczególnym miejscem dla badań z OTPC, zapewniając dostęp do wiązek radioaktywnych jonów jak również do bogatego zaplecza aparaturowego i konstruktorskiego. W ramach realizacji projektu dokonano szeregu modyfikacji konstrukcji komory i systemu akwizycji danych oraz wykonano systematyczne pomiary widm emisyjnych różnorodnych mieszanek gazowych wykorzystywanych w eksperymentach z OTPC. W najbliższych latach spektrometr OTPC będzie rutynowo stosowany jako jeden z układów detekcji w nowym separatorze ACCULINNA-2.

Również w LRJ, **Katarzyna Olejniczak** realizuje swój projekt współpracując z Zespołem Chemii Jądrowej i Radiacyjnej Wydziału Chemii UMK. Celem tego projektu jest uzyskanie jednoporowych membran trekowych na bazie politereftalanu etylenu (PET) do zastosowań w technologii sensorowej. Membrany trekowe wykorzystywane są w wielu dziedzinach, począwszy od mikroelektroniki, przemysłu chemicznego, ochrony środowiska, aż po biotechnologię, medycynę i farmację. Zespół naukowców z ZIBJ jako jeden z nielicznych na świecie wytwarza membrany trekowe zarówno do celów badawczych, jak i na skalę przemysłową. W wyniku badań stwierdzono, że membrany zawierające pojedyncze pory wykazują znacznie wyższe niż w przypadku membran wieloporowych przewodnictwo jonowe i charakteryzują się niższą powtarzalnością właściwości elektrycznych. Wynika to prawdopodobnie

z różnic w geometrii porów oraz z nierównomiernego rozkładu ładunku elektrycznego w nanokanałach. Kluczowe jest zatem wyznaczenie zależności pomiędzy geometrią porów a przewodnictwem jonowym próbek. Zagadnienie to jest przedmiotem dalszych badań. W najbliższych latach planuje się także wykorzystać jednoporowe membrany PET do sekwencjonowania DNA.

Natomiast **Andrzej Olejniczak** bada w LRJ uszkodzenia radiacyjne w materiałach i nanomateriałach węglowych - graficie pirolitycznym, węglach amorficznych, nanorurkach, grafenie oraz tlenku grafenu. Jego prace dotyczą modyfikacji struktury i właściwości materiałów za pomocą wiązek wysokoenergetycznych ( $E > 1$  MeV/amu) ciężkich jonów. W przeciwieństwie do dobrze przebadanych efektów, będących rezultatem oddziaływania jonów o niskich i średnich energiach, możliwość modyfikacji nanostruktur węglowych za pomocą jonów wysokoenergetycznych nie została dostatecznie poznana. Szczególnie interesujących wyników można się spodziewać przez kontrolowane wprowadzanie defektów w struktury grafenu i nanorurek, ze względu na kluczową z punktu widzenia nanoelektroniki możliwość modyfikacji właściwości transportowych tych materiałów. Tematyka ta jest również ważna z punktu widzenia chemii i sensoryki, gdyż wytworzone centra aktywne umożliwiają chemiczną funkcjonalizację powierzchni oraz detekcję molekuł. Głównym celem tych badań prowadzonych we współpracy z Wydziałem Chemii UMK jest poznanie radiacyjnie-indukowanych przemian w nanostrukturach, badania wpływu defektów na elektryczne i optyczne właściwości tych nanomateriałów, badania mechanizmów otrzymywania amorficznych filmów węglowych, w tym dotowanych azotem. Współpraca obejmuje również syntezę i badania strukturalne nowych materiałów węglowych do zastosowań w katalizie, procesach adsorpcji oraz elektrochemicznych systemach magazynowania energii. Od niedawna w tej samej grupie pracuje **Michalina Milewicz**, studentka Politechniki Gdańskiej.

W *Laboratorium Problemów Jądrowych* (LPJ) w którym podstawowym urządzeniem jest Fazotron, pracuje czterech polskich naukowców. **Dorota Borowicz** (WCO) pracuje w Kompleksie Medyczno-Technicznym w którym za pomocą wiązki protonów produkowanej przez Fazotron prowadzi się napromienianie zmian nowotworowych u pacjentów o lokalizacji głowy i szyi. Celem projektu jest optymalizacja rozkładu dawki w obszarze leczonym, poprzez pomiary tego rozkładu i porównanie go z rozkładem dawki otrzymanym z systemu planowania leczenia. Dotychczasowe pomiary umożliwiły wprowadzenie nowych elementów modyfikujących wiązkę protonów. W 2014 r. rozpoczęto wyposażanie niedużego laboratorium radiobiologicznego, którego celem jest obserwacja odpowiedzi biologicznej komórek na dawki od protonów w wiązce. Dokładne zbadanie odpowiedzi komórek (procesów w nich zachodzących, aberracji chromosomowych) na różne rodzaje promieniowania jonizującego umożliwi indywidualizację radioterapii - znalezienie i dobranie optymalnej terapii dla każdego pacjenta. Badania prowadzone

na pograniczu fizyki, medycyny i biologii we współpracy z zespołami USz, UAM, UM w Poznaniu i WCO istotnie przyczyniają się do rozwoju technologii podnoszących standardy leczenia chorób nowotworowych.

Laboratorium Problemów Jądrowych uczestniczy w wielu międzynarodowych eksperymentach dotyczących badania rzadkich procesów jądrowych. Należą do nich: poszukiwanie podwójnego rozpadu beta (projekty: NEMO, GERDA, TGV-2, MAJORANA), poszukiwanie ciemnej materii (projekt EDELWEISS), pomiar momentu magnetycznego neutrina (projekt GEMMA). Eksperymenty te wymagają długotrwałej pracy specjalnych układów rejestrujących opartych na detektorach półprzewodnikowych, często eksploatowanych w nietypowych warunkach. Zadaniem grupy, w której pracuje **Dariusz Borowicz** (IFJ PAN) jest projektowanie i budowa specjalnych detektorów germanowych i krzemowych dla wyżej wymienionych eksperymentów. W szczególności badana jest możliwość zbudowania specjalnych struktur detektorów półprzewodnikowych (segmentowych, półplanarnych z niskim energetycznym progiem detekcji, itd.), możliwość otrzymania struktur germanowych z wewnętrznym wzmocnieniem sygnałów, oraz możliwość podwyższenia niezawodności pracy detektorów germanowych i krzemowych i optymalizacji ich parametrów spektrometrycznych. Detektory wykonane w Dubnej pracują w wielu polskich instytutach i uczelniach.

W LPJ pracują również **Paweł Horodek i Krzysztof Siemek** (obaj z IFJ PAN). Przedmiotem ich zainteresowań naukowych jest zastosowanie spektroskopii anihilacji pozytonów PAS (Positron Annihilation Spectroscopy) do badań defektów struktury krystalicznej. Techniki PAS z powodzeniem stosowane są do badań z zakresu fizyki ciała stałego czy inżynierii materiałowej dostarczając szerokiej informacji o naturze tworzenia się defektów i ich wpływu na materię. W polskich jednostkach naukowych realizowane są badania wyłącznie w oparciu o pozytony wyemitowane bezpośrednio ze źródeł radioaktywnych natomiast wiązka powolnych pozytonów wytwarzana przez grupę w ZIBJ pozwoliła na detekcję zmian struktury materiałów w wąskim przedziale zmian głębokości. Paweł Horodek zaprojektował i zbudował kompletny układ pomiarowy i w ramach współpracy udostępnił stanowisko badawcze specjalistom z Polski.

W *Laboratorium Fizyki Neutronowej* (LFN) pracuje najliczniejsza grupa polskich pracowników w ZIBJ, która w swoich badaniach wykorzystuje impulsowy reaktor szybkich neutronów IBR-2. Założycielem „polskiej grupy neutronowej” w LNF był wiele lat temu **Jerzy Janik**, zaś później grupą kierował **Ireneusz Natkaniec**. Badania prowadzono korzystając ze zbudowanego we współpracy z IFJ w Krakowie spektrometru NERA. W Grupie Nieelastycznego Neutronów obecnie pracują: **Paweł Bilski, Kacper Drużbicki** (obaj z UAM), **Aleksander Filarowski** (UWr), **Jan Krawczyk** (IFJ PAN), **Katarzyna Łuczyńska** (IChTJ) i **Janusz Waliszewski** (UB). Kierownikiem jest **Dorota Chudoba** (UAM), sekretarz

naukowy LNF. Grupa prowadzi badania dynamiki molekularnej oraz przejść fazowych metodami nieelastycznego rozpraszania i dyfrakcji neutronów. Spektroskopia neutronowa wykorzystująca neutrony termiczne jest metodą komplementarną do klasycznych metod spektroskopii optycznej takich jak absorpcja w podczerwieni i spektroskopia Ramana. Spektrometry odwrotnej geometrii NERA przy reaktorze impulsowym IBR-2 i TOSCA przy spalacyjnym źródle neutronów ISIS w Anglii są wiodącymi w skali światowej stanowiskami dla spektroskopii neutronowej. Oba spektrometry są intensywnie wykorzystywane przez liczne grupy badawcze z Polski i innych krajów działające na polu chemii fizycznej w zakresie badań dotyczących: dynamiki molekularnej materiałów aktywnych biologicznie, widm wibracyjnych cyklicznych i liniowych molekuł organicznych, właściwości dynamicznych kompleksów z przeniesieniem ładunku elektrycznego, dynamiki wiązań wodorowych w kwasach organicznych i alkoholach, widm wibracyjnych ferroelektryków i ligandów w związkach kompleksowych, dynamiki molekularnej nano-strukturalnych materiałów węglowych i nowych materiałów dla energetyki wodorowej, dynamiki atomów wodoru w katalizatorach, przewodnikach jonowych czy materiałach wykorzystywanych w budowie baterii elektrycznych i ogniw paliwowych.

W tym samym Laboratorium, **Andrzej Pawlukoć** (IChTJ) i **Joanna Nowicka-Scheibe** (ZUT) organizują specjalistyczną pracownię chemiczną dla potrzeb laboratorium - syntezy oraz badań fizyko-chemicznych własności nowych kryształów i nanomateriałów (kompleksów  $\alpha$ -aminokwasów z kwasami organicznymi, kompleksów melaminy z kwasami organicznymi i nieorganicznymi, porowatych metaloorganicznych polimerów koordynacyjnych i ich kompozytów z tlenkiem grafenu). Planują także przeprowadzenie w grupie DN-12 serii eksperymentów w celu zbadania zmian widm wibracyjnych złożonych molekularnych kryształów poddanych działaniu wysokiego ciśnienia, ważnych dla przemysłu farmaceutycznego. Pomiarów będą wykonane na spektrometrze Ramana LabRAM HR Evolution. Badania są prowadzone we współpracy z polskimi ośrodkami (IChTJ, UWr, ZUT, UJ, Instytut Chemii Organicznej PAN w Warszawie, Narodowy Instytut Lekarstw w Warszawie).

Wykonywane przez **Aldonę Rajewską** (NCBJ) w LFN pomiary techniką SANS (Small Angle Neutron Scattering) dla micelarnych roztworów są bardzo dobrym uzupełnieniem metod chemicznych. Celem badań, prowadzonych tą metodą jest określenie kształtu i rozmiarów micel (agregatów) w wodnych roztworach czystych pojedynczych surfaktantów oraz w mieszaninach dwóch surfaktantów w wodzie. Badania dotyczą w szczególności określenia koncentracji micelarnych **CMC** (Critical Micellar Concentration). Współpraca prowadzona jest z PG (**Krystyna Mędrzycka**), UWr (**Kazimiera Wilk**), Uniwersytetem Medycznym w Łodzi (**Marian Zgoda**) oraz Zakładami Chemicznymi w Brzegu Dolnym, Politechniką Łódzką (**Sławomir Kadłubowski i Piotr Ulański**) oraz z wieloma laboratoriami poza Polską.

**Mirosław Kulik** (UMCS) prowadzi w LNF badania z użyciem Generatorsa Elektrostatycznego EG-5 w ramach projektu „Badanie wpływu domieszek na proces powstawania warstw tlenków na półprzewodnikach, półprzewodnikach magnetycznych i dielektrykach”, a ich przedmiotem są magnetyczne półprzewodniki i tlenki metali na powierzchni krzemu (struktury MOA). W pomiarach stosowane są m. in. jądrowe metody RBS (Rutherford Backscattering) i ERD (elastic recoil detection). Współpraca w tym zakresie prowadzona jest z Instytutem Technologii Elektronowej w Warszawie (ITE) i UMCS.



Fot. 9. Mirosław Kulik przy stanowisku badawczym EG-5 w LFN (2013).  
Photo 9. Mirosław Kulik at the EG-5 research facility of the Laboratory of Neutron Physics (2013)

Wyniki pracy polskich naukowców w ZIBJ znajdują uznanie, w postaci corocznych wyróżnień Dyrektora i Rady Naukowej ZIBJ za cykle publikacji, ale także i wyróżnień poza ZIBJ. Dla przykładu, w roku 2014 r. **Joanna Deperas-Standyło** została wyróżniona przez COSPAR (Komitet ds. Badań Przestrzeni Kosmicznej) nagrodą dla młodego naukowca za najlepszą pracę naukową opublikowaną w ostatnich 2 latach w dziedzinie radiobiologii i ocenie zagrożenia radiacyjnego w przestrzeni kosmicznej.

#### Badania prowadzone w ZIBJ przez pracowników aktualnie zatrudnionych w Polsce

Obok współpracy polskich specjalistów czasowo delegowanych do ZIBJ, intensywne są także kontakty pomiędzy specjalistami z ZIBJ z polskimi placówkami badawczymi oraz ich pracownikami, często prowadzące do wskazania przyszłych kierunków programów i dalszego rozwoju tej współpracy. Od wielu lat wysokiej klasy rosyjscy fachowcy w dziedzinie technik akcelerycyjnych Laboratorium Reakcji Jądrowych konsultują dokumentację i udzielają pomocy swoim kolegom w Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów (ŚLCJ) w Warszawie. Można wręcz twierdzić, że bieżące modernizacje podstawowego narzędzia ŚLCJ - akceleratora U-200P prowadzone są w znacznym stopniu właśnie dzięki tej formie współpracy. Z podobnej pomocy i konsultacji wielokrotnie korzystali też konstruktorzy i użytkownicy krakowskiego cyklotronu AIC-144 (IFJ PAN), obecnie służącego do radioterapii protonowej gałki ocznej oraz badań w zakresie fizyki i biologii radiacyjnej. Należy przy tym podkreślić, że skuteczne i dopasowane do bieżących potrzeb finansowanie często krótkich i zwykle nieregularnych pobytów eksper-

tów rosyjskich w Polsce zapewnia Komisja Pełnomocnego Przedstawiciela, która pod przewodnictwem **Mieczysława Budzyńskiego** (UMCS) może z rezerwy finansowej planowanych wydatków na granty i programy współpracy z ZIBJ w trybie pilnym wyasygnować środki na niezbędne przyjazdy lub awaryjne zakupy potrzebnych elementów koniecznych do przeprowadzenia pomiarów lub usunięcia awarii.

W wyniku bezpośrednich kontaktów specjalistów rosyjskich i polskich rodzi się niekiedy nowa wspólna tematyka badawcza. Interesująca współpraca ze względu na tematykę związaną z zastosowaniem laserów w fizyce jądrowej nawiązała się w ten sposób pomiędzy grupami **Zenona Janasa** (UW) i **Siergieja Ziemiłanoja** (LRJ). **Aleksander Didyk** przez wiele lat współpracował z grupami w NCBJ (**A. Hofman**, **E. Hajewska**) i IChTJ (**W. Starosta**) przy badaniu materiałów związanych z energetyką jądrową. Również od wielu lat w dziedzinie nanomateriałów współpracują ze sobą grupy **Pawła Apela** (LRJ) i **Bożeny Sartowskiej** (IChTJ).

W podobny sposób w dziedzinie nowych rozwiązań technicznych i otrzymywania nowych materiałów współpracują zespoły **Jurija Juszkiewicza** (LPJ) z kolegami z UMCS i NCBJ zajmującymi się implantacją domieszek w celu pozyskania materiałów o zmodyfikowanej strukturze znajdujących zastosowanie w elektronice, przemyśle samochodowym czy energetyce. Inny charakter, bo związany z badaniami podstawowymi, mają kontakty **Dymitra Namumowa** (LPJ) i **Piotra Homoli** (IFJ PAN) dotyczące poszukiwania monopolu magnetycznego oraz detekcji neutrin za pomocą Detektora Wielkich Rozmiarów (Gigaton Volume Detector) wykorzystującego wyjątkowej czystości wody jeziora Bajkał. Również z Bajkałem związany jest projekt TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic rays and Gamma Astronomy) mający za zadanie dokonanie pomiarów promieniowania kosmicznego, gdzie detektory zostaną rozmieszczone w dolinie Tunka, 50 km na południe od jeziora Bajkał. Do uczestnictwa w tym przedsięwzięciu **Leonid Tkaczow** (LPJ) zaprosił zespół fizyków z Uniwersytetu Warszawskiego kierowany przez **Wojciecha Dominika**. W innym dużym projekcie GERDA (Germanium Detector Array) również dotyczącym detekcji neutrin biorą udział jako partnerzy **Wiktor Brudanin** (LPJ) i **Grzegorz Zuzel** (UJ). Stanowisko doświadczalne znajduje się głęboko pod ziemią we włoskich Alpach w Gran Sasso. Wieloletnia współpraca w zakresie zderzeń jąder wodoru przy ultraniskich energiach łączy **Wiaczesława Bystryckiego** z LPJ z fizykami z AGH. Badanie reakcji tego rodzaju ma istotne znaczenie dla fizyki jądrowej i dla astrofizyki ze względu na możliwość weryfikacji podstawowych symetrii w oddziaływaniach silnych. Planowane jest wykorzystanie do tego celu wysokoprędkowego plazmowego akceleratora Halla znajdującego się w Instytucie Fizyki Jądrowej Politechniki w Tomsku. Również od wielu lat trwa interesująca współpraca **Mieczysława Budzyńskiego** (UMCS) z bułgarskim pracownikiem LPJ **Atanasem Wieliczkowem** w dziedzinie badania struktury krystalicznej oraz elektronowej ciał stałych metodą TDPAC (Time Differential Perturbed Angular Correlation), opracowaną przez **M. Deutcha** i **Andrzeja Hrynkiwicza**. Badania prowadzone są we współpracy z **Anatolijem**

**Tsvjaszczenko** z Instytutu Wysokich Ciśnień RAN w Troicku oraz Instytutem Fizyki Jądrowej im. Skobieltyna MGU. Zespół oryginalnie zaprojektowanych i wykonanych tam komór pozwala wytwarzać ciśnienia do 30 GPa. Badano przejścia fazowe w cerze, strukturę krystaliczną i elektronową w związkach ziem rzadkich  $\text{Al}_3$ ,  $\text{UAl}_2$ ,  $\text{UGe}_2$  oraz zmianę walencyjności pod wpływem wysokiego ciśnienia w związku  $\text{YbAl}_2$ .

Bez wątpienia największym obecnie zainteresowaniem ośrodków polskich cieszy się w ZIBJ Laboratorium Fizyki Neutronowej – zarówno ze względu na liczny w LFN zespół naukowców z Polski jak i atrakcyjną dla ośrodków badawczych w Polsce możliwość rozszerzenia badań fazy skondensowanej materii o metody związane z rozpraszaniem neutronów dostarczanych z reaktora IBR-2 dysponującego unikalną wiązką impulsową o wysokim strumieniu. Z możliwości tej korzysta wiele ośrodków w Polsce – między innymi IFJ PAN (**Maria Massalska-Arodź**), UJ (**Anna Migdał-Mikuli, Joanna i Łukasz Hetmańczykowie**), UAM (**Wojciech Nawrociak, Jan Wąsicki, Krystyna Holderna-Natkaniec, Małgorzata Bartkowiak-Śliwińska, Monika Jażdżewska**), Uniwersytet Warmińsko-Mazurski (**Danuta Kruk**), czy UB (**Katarzyna Rećko**).

Dodatковым atutem tego Laboratorium jest możliwość zastosowania metod neutronowej fizyki jądrowej do oceny stanu środowiska. Metody te rozwijane są w ZIBJ przez grupę SNA&AR (Neutron Activation Analysis and Applied Research) kierowaną przez **Marinę Frontasiewą**. Przedmiotem pomiarów jest tu zawartość metali ciężkich w roślinach wykorzystywanych w przemyśle farmaceutycznym (UWr – **Grzegorz Kosior**) i w powietrzu (UAM – **Piotr Goliński**, Uniwersytet w Opolu – **Maria Waclawek**, Uniwersytet w Kielcach – **Marek Józwiak**) – w ramach międzynarodowego programu ICP Vegetation (International Cooperative Programme on the Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops). Ostatnio przedmiotem podobnych badań stały się rośliny mające znaczenie dla rolnictwa (UAM – **Jagna Chmielowska-Bąk**).

Po krótkiej przerwie spowodowanej wyjazdem polskich pracowników WCO z Laboratorium Biologii Radiacyjnej BR pojawił się w tym laboratorium nowy partner z Polski, **Konrad Czernski** (Uniwersytet Szczeciński) i umocniły wieloletnie kontakty z IFJ PAN (**Marek Jeżabek**), gdzie od niedawna działa Centrum Cyklotronowe Bronowice (**Paweł Olko**).



**Fot.10** Henryk Malinowski i uczeń z Polski w LFWE  
**Photo 10.** Henryk Malinowski and a Polish student at the Laboratory of High Energy Physics

Dla przyszłości i rozwoju współpracy uczonych polskich z ZIBJ nie do przecenienia jest **Program Bogolubowa-Infelda** (B-I), realizowany przez **Romana Zawodnego, Ewę i Wła-**

**dysława Chmielowskich (UAM) oraz Kingę Horodek (IFJ Kraków)**. Trudno zliczyć polskie uczelnie, których studenci korzystając z funduszy tego Programu mają możliwość zapoznania się z szerokim wachlarzem badań oraz unikalnym wyposażeniem stanowisk badawczych ZIBJ. W wyniku Programu B-I studenci przyjeżdżają do Dubnej na praktyki naukowe i zawodowe, na konferencje szkoleniowe czy na wycieczki naukowe, często decydując się później na realizację swoich prac magisterskich lub doktorskich w laboratoriach Instytutu. W ramach Programu B-I mogą też realizować swoje prace dyplomowe. Odwiedzający ZIBJ uczestnicy Programu B-I mają możliwość nawiązania bezpośredniego kontaktu z wybitnymi uczonymi z całego świata, poznanie rówieśników z innych (często dla nich egzotycznych) krajów, a także tanio i bezpiecznie poznać choćby część zagadkowej, otoczonej wieloma przesadami i uprzedzeniami Rosji.

Również nauczyciele średnich szkół są zapraszani do ZIBJ na specjalnie dla nich organizowane szkoły. Ze strony ZIBJ działalność tę koordynuje **S. Pakulak** (UNC).

### Podsumowanie i wnioski końcowe

Intencją autorów było przekazanie informacji o badaniach naukowych prowadzonych w ZIBJ oraz zachęcenie do korzystania z możliwości jakie wynikają z polskiego członkostwa w ZIBJ. Cechą różniącą ten Instytut od innych ośrodków międzynarodowych jest możliwość nieodpłatnego korzystania z istniejącej infrastruktury badawczej do realizacji badań prowadzonych przez polskie instytucje naukowe. Na granty i programy Pełnomocnego Przedstawiciela Rządu RP w ZIBJ przeznaczonych jest 20% składki członkowskiej Polski. Dzięki temu, w odróżnieniu od innych dużych ośrodków międzynarodowych, polscy fizycy, chemicy i radiobiolodzy mogą w ZIBJ prowadzić swoje prace niezależnie w wybranych przez nich kierunkach, uzupełniając je o komplementarne metody niedostępne w swoich macierzystych instytucjach. Konkursowy system grantów i programów Pełnomocnego Przedstawiciela zapewnia takim badaniom pewną niezależność finansową od polityki prowadzonej przez dyrekcje poszczególnych laboratoriów. Szczególną rolę w rozwoju współpracy polskich instytucji naukowych z ZIBJ odegrał **Andrzej Hrynkiwicz**, który wypracował i wynegocjował formułę umożliwiającą wykorzystanie znacznej części składki członkowskiej Polski na bezpośrednią współpracę ośrodków polskich z ZIBJ. Formuła ta uzupełniona o zasadę zakupu materiałów i urządzeń w kraju członkowskim w wysokości nie mniejszej niż 20% składki członkowskiej umożliwia polskim firmom eksport aparatury i urządzeń oraz współpracę naukowo-technologiczną.

*prof. dr hab. Michael Waligórski,  
Instytut Fizyki Jądrowej PAN,  
Kraków  
i Centrum Onkologii Oddział w Krakowie  
Władysław Chmielowski,  
Starosta Grupy Polskich Pracowników  
w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych,  
Dubna, Federacja Rosyjska  
prof. dr hab. Mieczysław Budzyński,  
Instytut Fizyki Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej,  
Lublin,  
prof. dr hab. Wojciech Nawrociak,  
Wydział Fizyki Uniwersytet im. Adama Mickiewicza,  
Poznań*