

Lucjan Jarczyk

Fizyka jądrowa w Krakowie : dziedzictwo Henryka Niewodniczańskiego

Prace Komisji Historii Nauki Polskiej Akademii Umiejętności 3, 181-195

2001

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Lucjan JARCZYK

FIZYKA JĄDROWA W KRAKOWIE. DZIEDZICTWO HENRYKA NIEWODNICZAŃSKIEGO*

W 100. rocznicę urodzin profesora Niewodniczańskiego, w 32 lata po jego śmierci, mamy odpowiednią perspektywę, by ocenić, co my fizycy jądrowi zawdzięczamy profesorowi i co Kraków jako ośrodek fizyki jądrowej jemu zawdzięcza.

Prof. Niewodniczański zainteresował się fizyką jądrową w połowie lat trzydziestych w czasie pobytu w Cambridge, w Laboratorium Rutherforda, odkrywcy jądra atomowego. Zetknął się wtedy z ówczesną fizyką cząstek elementarnych, czyli fizyką protonów i neutronów, z zagadnieniami związanymi z budową jąder atomowych. Zafascynowany tą nową ciekawą problematyką postanawia po powrocie do Kraju zmienić tematykę swoich zainteresowań, zająć się fizyką jądrową. Decyzja zmiany tematyki badań w pełni pokrywała się z dewizą profesora, że należy zajmować się tym, co człowieka najbardziej fascynuje, co jest nowoczesne; tym właśnie stała się dla niego fizyka jądrowa. Jednakże dopiero po wojnie i to tutaj w Krakowie udaje się prof. Niewodniczańskiemu zrealizować w pełni swoje marzenie. Będąc profesorem na Uniwersytecie Jagiellońskim, podjął się realizacji tego tak ambitnego zadania stworzenia silnego ośrodka badań jądrowych. Pamiętajmy, że były to wtedy bardzo trudne czasy nie tylko pod względem ekonomicznym, ale przede wszystkim politycznym, czasy, które nie sprzyjały takim planom. Zaczęła się wówczas tzw. „Zimna

* Referat wygłoszony w ramach sesji Komisji Historii Nauki PAU w stulecie urodzin Henryka Niewodniczańskiego na Krakowskim Konwersatorium Fizycznym w dniu 16 listopada 2000 r.

Wojna”, pociągająca za sobą niemal całkowite odcięcie od Zachodu. We wszystkich poczynaniach polityczne kryteria partyjne odgrywały bardzo ważną rolę.

Profesor podjął już na początku lat pięćdziesiątych ambitne plany budowy akceleratorów – akceleratora jonów z generatorem elektrostatycznym van de Graaffa nazwanego w skrócie AIGES i małego cyklotronu o średnicy nabiegunników 48 cm. Rozpoczęto prace nad przygotowaniem i rozwojem detektorów różnego typu: nad wykorzystaniem emulsji jądrowych, nad budową liczników gazowych proporcjonalnych i Geigera-Müllera, komór Wilsona, pojawiły się pierwsze fotonowielacze, które wykorzystano do konstrukcji liczników scyntylicyjnych.

Niezwykłą uwagę poświęcał profesor kształceniu młodych fizyków. Prowadził wykłady i seminaria z fizyki współczesnej, proponował tematy badań. Uważał, że niezwykle ważnym elementem kształcenia są kontakty z dobrymi naukowymi ośrodkami zagranicznymi. Kiedy tylko pojawiła się pierwsza możliwość „przedziurawienia” „Żelaznej Kurtyny”, załatwił stypendia na wyjazdy zagraniczne młodych fizyków, swoich uczniów. Wyjeżdżaliśmy do USA, Anglii, Szwajcarii, Niemiec, do Dubnej. Zaczęło się to pod koniec lat pięćdziesiątych i na początku lat sześćdziesiątych. Nasz powrót z zagranicy z nabytym doświadczeniem zaowocował powstaniem grup badawczych reakcji jądrowych i spektroskopii jądrowej. Nastąpiła znaczna intensyfikacja badań naukowych prowadzonych w Krakowie, także we współpracy z dobrymi i ważnymi ośrodkami naukowymi w świecie. Wyobraźnia, rozmach i talent organizacyjny, jakie cechowały profesora, doprowadziły do powstania znaczącego ośrodka i szkoły fizyki jądrowej w Krakowie, które do chwili obecnej cieszą się dużym międzynarodowym uznaniem.

Powstanie Instytutu Fizyki Jądrowej w Bronowicach było następną olbrzymią zasługą i osiągnięciem profesora. Powstały w ten sposób w Krakowie dwa ściśle z sobą współpracujące instytuty zajmujące się fizyką jądrową, jeden na Uniwersytecie, drugi w Bronowicach. Należy włączyć tu również fizyków jądrowych z Uniwersytetu Śląskiego, którzy wyrosli ze stworzonej przez profesora krakowskiej szkoły fizyki jądrowej.

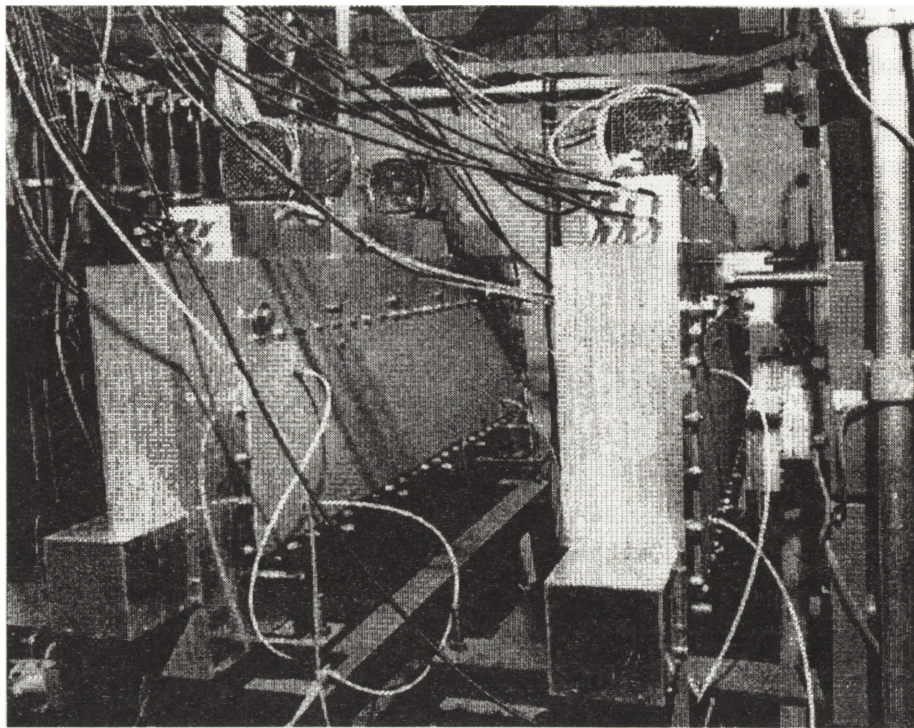
W tytule tego opracowania pojawia się słowo DZIEDZICTWO. Myślę, że najważniejszą spuścizną zostawioną przez profesora w ośrodku krakowskim są ludzie. Profesor przywiązywał wielką wagę do wychowania i wykształcenia przyszłych pracowników naukowych. Wzbudzał w nas entuzjazm, podkreślając, jak piękna i fascynująca jest fizyka, ile ciekawych problemów czeka jeszcze na rozwiązanie. W ten sposób fizyka stała się dla nas nie tylko zawodem, ale przede wszystkim naszym *hobby*. Przekonywał nas zawsze, aby nie zasklepieć się w jakiejś tematyce, aby stale rozszerzać swoje horyzonty naukowe, robić rzeczy ciekawe. Udało się to

profesorowi znakomicie. Tym entuzjazmem zostały zarażone także następne pokolenia fizyków. W Krakowie powstało w ten sposób duże środowisko fizyki jądrowej, dysponujące dobrze przygotowaną kadrą, niezłym wyposażeniem naukowym i szerokimi kontaktami z nauką światową. Prowadzone są w nim badania nad najbardziej aktualnymi zagadnieniami fizyki jądrowej w szerokim tego słowa znaczeniu, w tym również fizyki cząstek elementarnych i oddziaływań podstawowych. Jako przykład można tu wymienić badania nad produkcją hadronów, w szczególności mezonów, nad ich strukturą, wzajemnym oddziaływaniem, nad plazmą kwarkowo-gluonową, ekstremalnymi stanami materii jądrowej, nad podstawowymi symetriami w przyrodzie i ich łamaniem, nad fizyką neutrin, reakcjami z wiązkami promieniotwórczymi, nad problemami sił jądrowych, w tym szczególnie nad oddziaływaniami trójciałowymi.

Rozwinięcie tak szerokiego frontu badań jest praktycznie możliwe tylko we współpracy z wielkimi ośrodkami badawczymi na świecie, zapewniającej dostęp do wielkich urządzeń badawczych, przede wszystkim akceleratorów cząstek. Nawiązane jeszcze przez profesora zagraniczne kontakty naukowe uległy w ciągu lat ogromnemu rozszerzeniu. Współpracujemy obecnie z największymi i najważniejszymi ośrodkami fizyki jądrowej w świecie, które cenią sobie tę współpracę i o nią zabiegają. Jesteśmy nie tylko realizatorami podejmowanych tam projektów badawczych, ale sami inicjujemy nowe tematy. Wymienić tu należy takie ośrodki, jak w Szwajcarii Politechnikę Federalną w Zurychu, Instytut Paula Scherrera w Villigen i Centrum Europejskie-CERN w Genewie, w Niemczech Centrum Badawcze (Forschungszentrum) w Jülich, Instytut Ciężkich Jonów (GSI) w Darmstadt, Uniwersytety w Bochum, Monachium, Bonn, we Francji Instytuty w Orsay, Strassburgu, w Caen, we Włoszech Instytuty w Legnaro, Katanii, Laboratorium Gran Sasso, w USA tak ważne ośrodki, jak Argonne, Berkeley czy Brookhaven. Udział fizyków krakowskich w różnych badaniach prowadzonych w tych ośrodkach obejmuje zarówno opracowywanie i budowę aparatury badawczej, udział w eksperymentach, przygotowywanie programów dla opracowania danych pomiarowych, a wreszcie analizę otrzymanych wyników i to często wraz z opracowywaniem modeli teoretycznych. Należy podkreślić, że wiele z podejmowanych tematów badań zostało zaproponowanych przez fizyków krakowskich.

Rozległość problemów, w których rozwiązywaniu bierze aktywny udział krakowski ośrodek fizyki jądrowej, ilustruje najlepiej bibliografia przykładowo wybranych prac. Nazwiska krakowskich współautorów wyróżnione zostały pogrubioną czcionką.

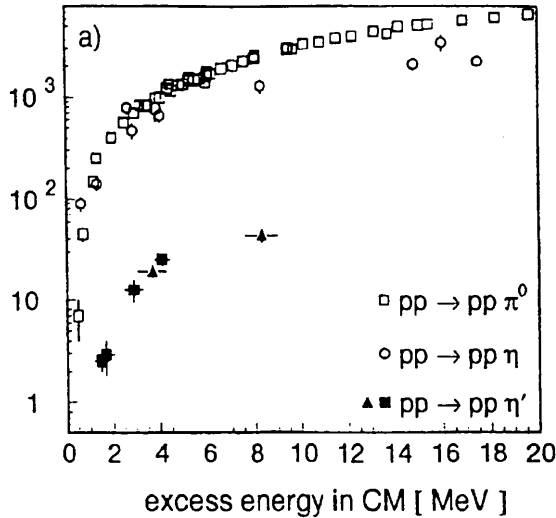
W Centrum Badawczym (Forschungszentrum) w Juelich prowadzone są badania z wykorzystaniem akceleratora COSY (Cooler Synchrotron), w którym przyspieszane są protony i deuterony do energii około 2.5 GeV.



Rys. 1. Fragment aparatury pomiarowej eksperymentu COSY11. Na pierwszym planie widoczne są komory dryfowe zbudowane w Laboratorium Detektorów Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Fizycy krakowscy uczestniczą bardzo aktywnie w pięciu kolaboracjach. Ich wkład w rozbudowę aparatury badawczej jest znaczący. W Uniwersytecie Jagiellońskim zorganizowana została specjalnie w tym celu Pracownia Detektorów, w której są projektowane, a następnie budowane różnego typu specjalne detektory cząstek dedykowane dla eksperymentów na akceleratorze COSY, w tym zwłaszcza dryfowe komory drutowe. Cieszą się wielkim uznaniem i są stosowane niemal we wszystkich eksperymentach wykonywanych w Jülich. Rys. 1 przedstawia fragment aparatury pomiarowej eksperymentu COSY 11 z komorami drutowymi zbudowanymi w Laboratorium Detektorów Uniwersytetu Jagiellońskiego. Należy podkreślić naszą aktywność w rozwoju tematyki naukowej. Krakowscy fizycy proponują nowe eksperymenty i są kierownikami kilku z nich. Tematyka tych badań jest bardzo szeroka. Przykładowo chciałbym wymienić kilka najważniejszych zagadnień rozwiązywanych przy naszym udziale.

Należą tu w pierwszym rzędzie prace dotyczące produkcji i oddziaływań mezonów, przede wszystkim mezonów pseudoskalarnych π , η i η' ([1-3], rys. 2). Głównym celem jest lepsze poznanie ich struktury na



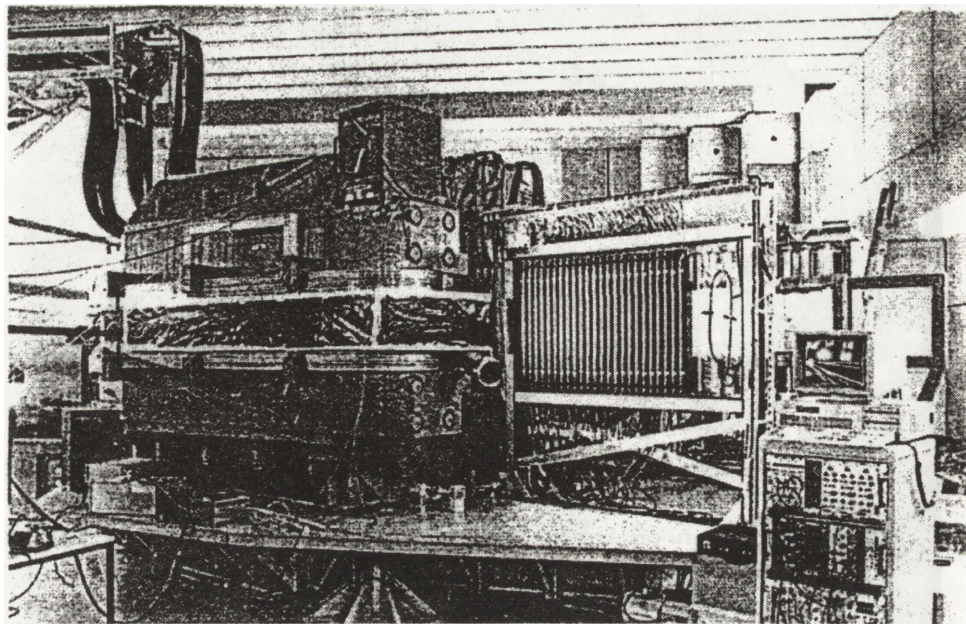
Rys. 2. Wyniki pomiaru przekrojów czynnych na przyprogową produkcję mezonów pseudoskalarnych .

poziomie cząstek elementarnych – kwarków i gluonów. Mają one ukrytą dziwność, a struktura ich nie jest jeszcze do końca poznana. Szczególnie duże zainteresowanie budzi udział składowej gluonowej. Badana jest również przyprogowa produkcja pary mezonów dziwnych K^+K^- , a jednym z celów tych prac jest poszukiwanie egzotycznych struktur hybrydowych, których istnienie przewiduje kwantowa chromodynamika.

Osobną grupę zagadnień stanowią prace nad oddziaływaniem silnym hiperonów Λ z nukleonami, a także ich nie mezonowym rozpadem w materii jądrowej w wyniku oddziaływań słabych [4]. Ostatnio przygotowany jest eksperyment, zaproponowany przez Andrzeja Magierę, mający na celu zbadanie łamania symetrii ładunkowej w oddziaływaniach silnych. W trakcie realizacji są także badania zmiany masy mezonów, w szczególności mezonu K w materii jądrowej. O znaczeniu tych prac świadczy fakt, że uzyskane wyniki są publikowane w tak znaczących czasopismach, jak „Physical Review Letters”, „Physics Letters”, „Physical Review”, „Nuclear Physics”.

Struktura kwarkowa mezonów i barionów jest badana także w ramach współpracy DISTO [5]. Wykorzystując akcelerator protonów w Laboratoire Nationale Saturn w Saclay pod Paryżem, studiowana jest głównie struktura mezonów wektorowych, w szczególności mezonów ω i ϕ . Także w tym przypadku szczególną uwagę poświęca się udziałowi kwarków dziwnych.

Fizyka ciężkich jonów budzi nadal wielkie zainteresowanie fizyków. Zderzenia ciężkich jonów pozwalają badać strukturę jąder i własności

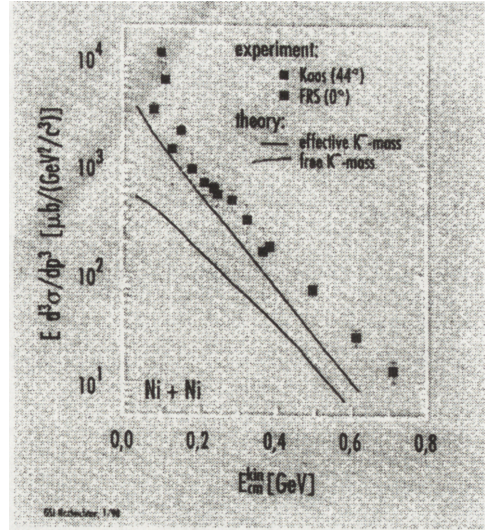


Rys. 3. Aparatura pomiarowa KAOS w GSI w Darmstademie do pomiaru produkcji mezonów w zderzeniach ciężkojonowych.

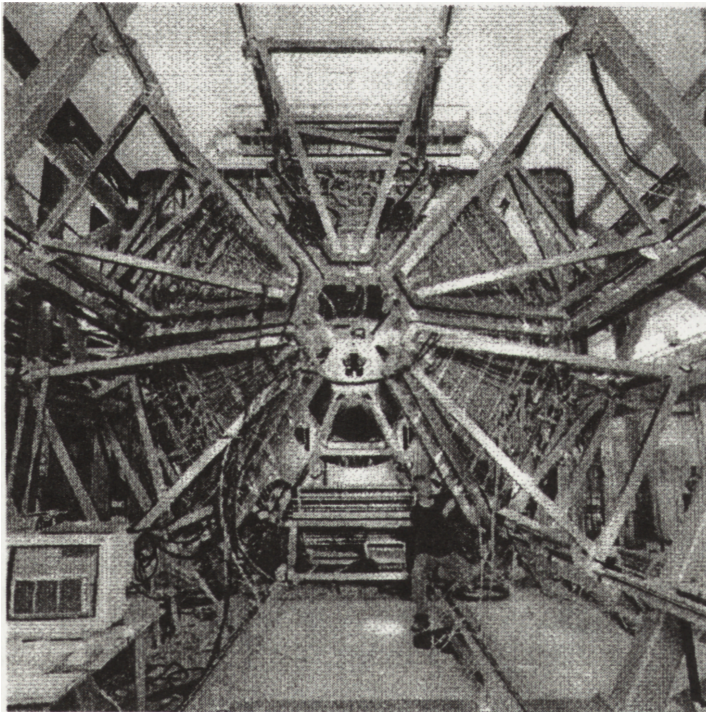
materii jądrowej w egzotycznych stanach. W tej dziedzinie bardzo dobra i wszechstronna współpraca rozwija się z Instytutem Ciężkich Jonów (GSI – Gesellschaft fuer Schwerionen) w Darmstademie, który dysponuje dużym akceleratorem ciężkich jonów. W ramach kolaboracji KAOS informacje o sprężystości materii jądrowej (równanie stanu materii jądrowej) są uzyskiwane z pomiarów produkcji mezonów K w zderzeniach ciężkich jonów [6, 7]. Rys. 3 przedstawia aparaturę pomiarową, której fragmenty zostały zbudowane w Krakowie w Uniwersytecie Jagiellońskim. Rys. 4 przedstawia jeden z ważnych wyników uzyskanych przez tę kolaborację. Zaobserwowano wpływ materii jądrowej powstałej w wyniku zderzenia jąder niklu z jądrami niklu o energii 100 GeV na masę efektywną mezonu K. Wpływ ten można ocenić pośrednio ze zmiany przekroju czynnego na produkcję. Okazuje się, że zmiana efektywnej masy mezonu K sięga 40 %. Zmiana masy hadronów spowodowana jest polaryzacją próżni w oddziaływaniach silnych w zagęszczonej materii jądrowej. W GSI w ramach bardzo dużej międzynarodowej kolaboracji HADES planowane są bezpośrednie pomiary zmian masy mezonów w gęstej materii jądrowej powstałej w wysokoenergetycznych zderzeniach ciężkojonowych. W współpracy tej biorą udział fizycy z 9 krajów europejskich. Udział fizyków z naszego uniwersytetu jest w tej kolaboracji znaczący. W Krakowie zaprojektowano

i zbudowano istotne elementy aparatury pomiarowej. Rys. 5 przedstawia aparaturę pomiarową w końcowej fazie montażu. Na zdjęciu widoczne są detektory zbudowane w Krakowie. Obecnie rozpoczynają się pierwsze pomiary grupy HADES w GSI.

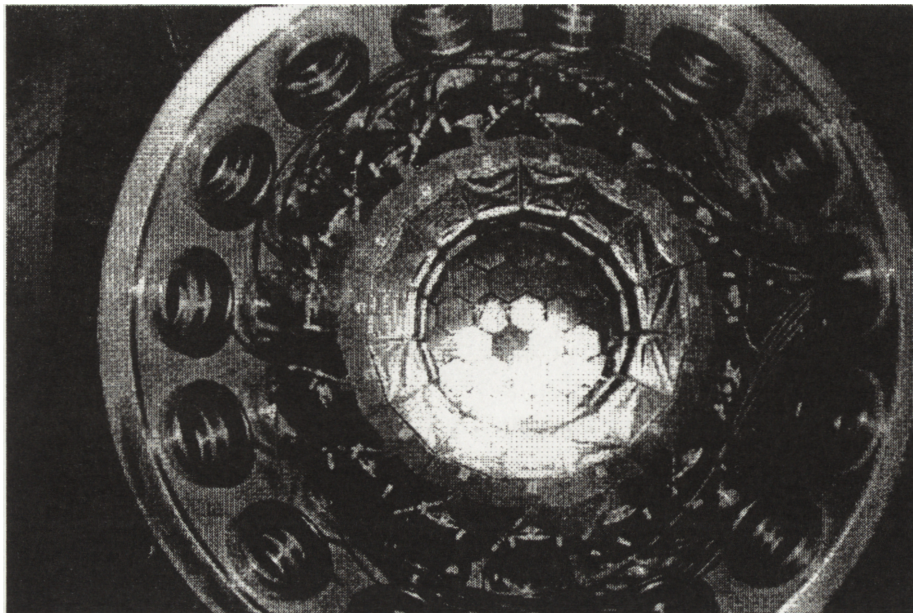
Z innych ośrodków ciężkojonowych, z którymi współpracują nasi fizycy, wymienić należy Michigan State University w Teksasie, ośrodki francuskie w Grenoble oraz GANIL w Caen. Głównym celem prowadzonych tam badań jest stwierdzenie istnienia przejścia fazowego w materii jądrowej [8, 9]. Podobnie jak w poprzednich



Rys. 4. Eksperymentalne potwierdzenie zmiany masy swobodnego mezonu K^- w materii jądrowej.



Rys. 5. Aparatura pomiarowa w eksperymencie HADES w GSI w Darmstademie. Widoczne na zdjęciu detektory zostały zbudowane w Uniwersytecie Jagiellońskim.

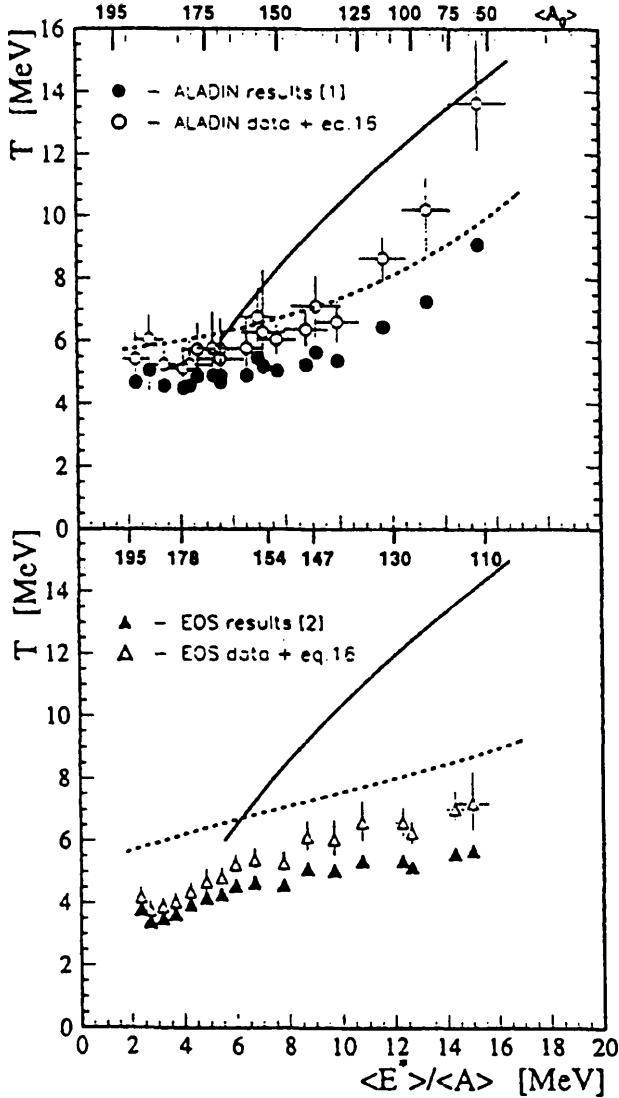


Rys. 6. Fragment komory rozproszeniowej z wykonanymi w Krakowie detektorami w eksperymencie AMPHORA w ośrodku w Grenoble.

kolaboracjach, istotne elementy aparatury pomiarowej zostały zbudowane w Krakowie (rys. 6). Rys. 7 przedstawia zmiany temperatury materii jądrowej powstałej w wyniku zderzenia ciężkojonowego w zależności od energii jej wzbudzenia w obszarze oczekiwanego przejścia fazowego.

Mówiąc o fizyce ciężkich jonów, nie można nie wymienić współpracy z Brookhaven National Laboratory w USA, w którym uruchomiono w ostatnim czasie największy obecnie relatywistyczny akcelerator ciężkojonowy RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider). Krakowscy fizycy biorą udział w dwu prowadzonych tam eksperymentach PHOBOS i BRAHMS. Celem ich jest wytworzenie i potwierdzenie istnienia poszukiwanego od dawna egzotycznego stanu materii tzw. plazmy kwarkowo-gluonowej [10]. Rys. 8 pokazuje część aparatury pomiarowej, której ważne elementy zostały zbudowane w Krakowie.

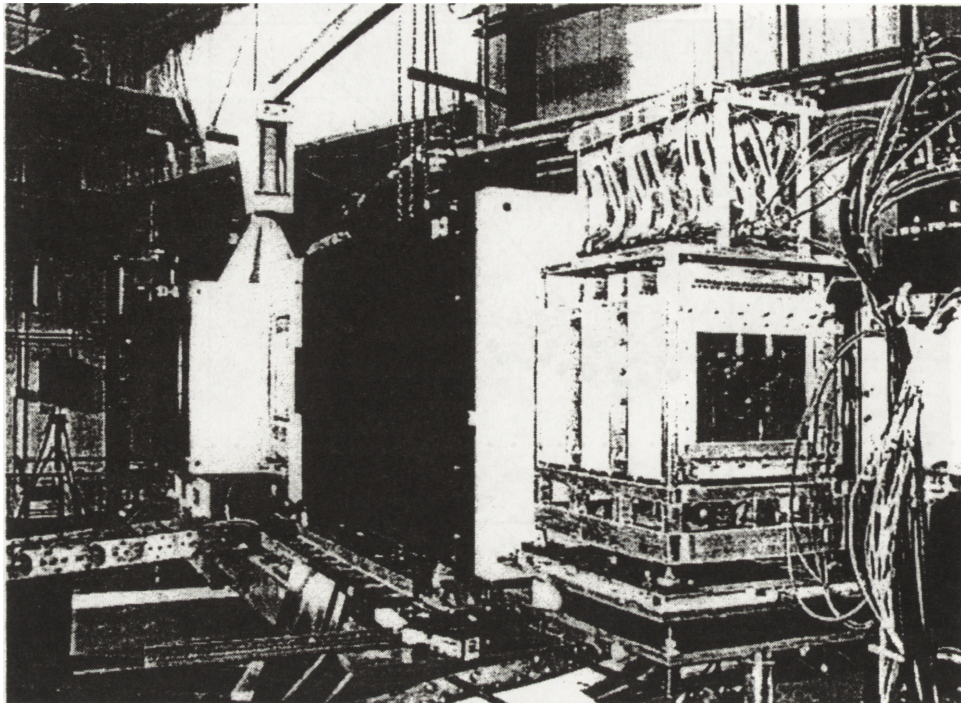
Badania struktur egzotycznych jąder znajdujących się w stanach ekstremalnych prowadzone są również z wykorzystaniem reakcji ciężkojonowych. Należy wymienić w szczególności współpracę z GSI w Darmstadt (kolaboracja LAND) [11], Laboratori Nazionali INFN di Legnaro we Włoszech [12], Lawrence Berkeley National Laboratory w Berkeley [13] oraz francuskimi ośrodkami Centre de Recherches Nucleaires w Strasburgu (kolaboracja EUROBALL) [14] i Centre de Spectrometrie Nucleaire et



Rys. 7. Zależność temperatury materii jądrowej od energii jej wzbudzenia w obszarze oczekiwanych przejść fazowych.

Spectrometrie de Masse (CSNSM) w Orsay. W tym ostatnim przypadku współpraca trwa już od 1958 r. i została zainicjowana jeszcze przez profesora Niewodniczańskiego.

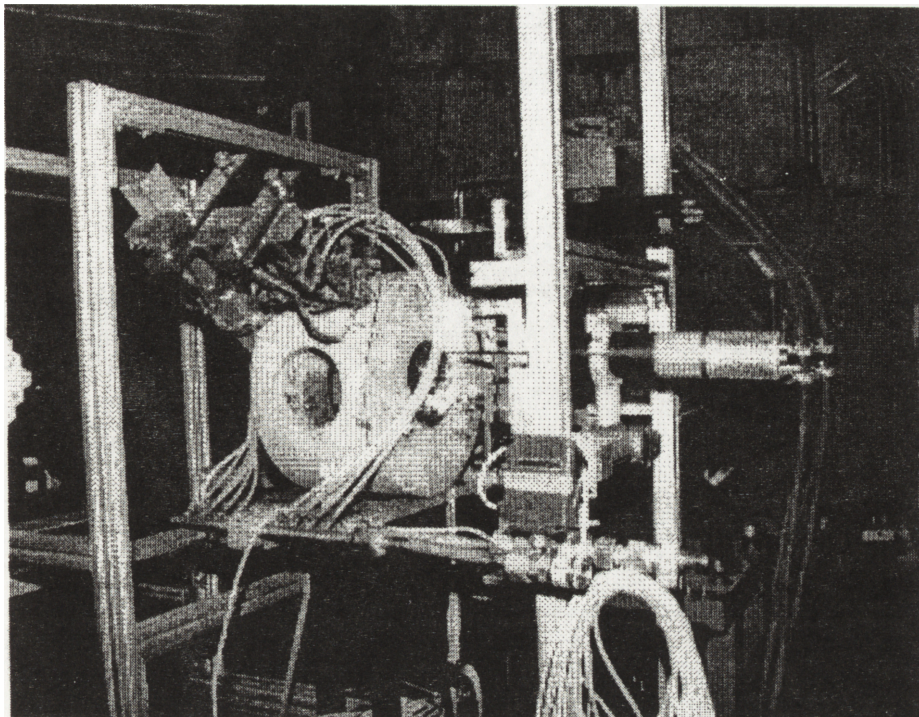
Fizycy krakowscy są także bardzo intensywnie zaangażowani w rozwiązywanie zagadek związanych z neutronami. Należy tu przede wszystkim problem neutronów słonecznych, ważny zarówno z punktu fizyki neu-



Rys. 8. Fragment aparatury do pomiaru plazmy kwarkowo-gluonowej w eksperymencie na akceleratorze RHIC w Brookhaven National Laboratory. Na pierwszym planie detektory skonstruowane w Uniwersytecie Jagiellońskim.

trin, jak i fizyki Słońca, oraz niezwykle fascynujący, o podstawowym znaczeniu dla fizyki cząstek, problem oscylacji neutrin. Eksperymenty nad neutrinami słonecznymi prowadzone są wspólnie z Laboratori Nationali del Gran Sasso w ramach współpracy GALEX. Ostatnio uzyskane wyniki zostały opublikowane w „Physics Letters”, B 490 (2000). Do badań nad oscylacjami neutrin przygotowuje się kolaboracja ICARUS obejmująca fizyków z Włoch, Szwajcarii, USA, Chin i Polski, w tym znaczącą grupę fizyków krakowskich. Eksperyment ICARUS będzie przeprowadzony wspólnie z Ośrodkiem Europejskim CERN.

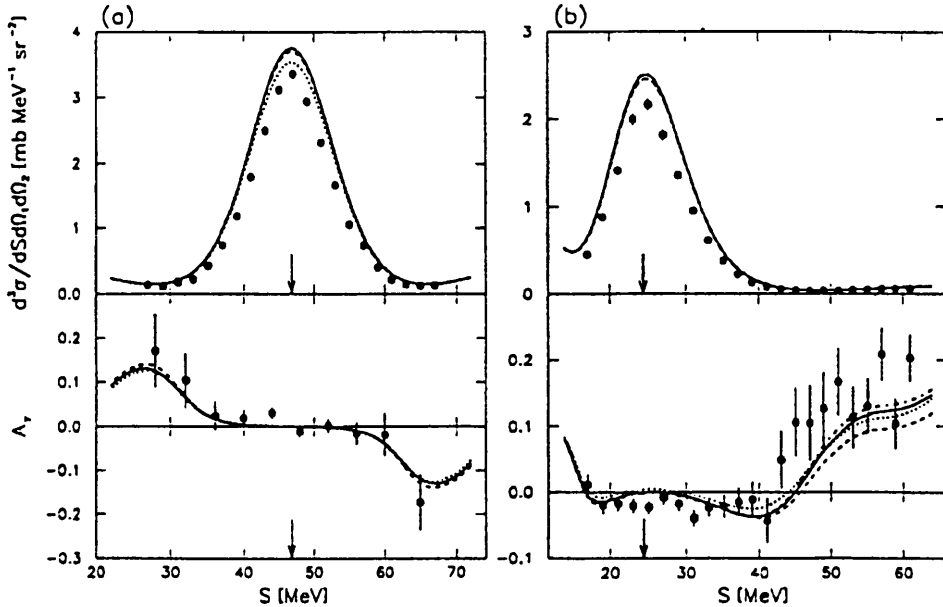
Innym ważnym i ciągle bardzo aktualnym problemem współczesnej fizyki jest zagadnienie podstawowych symetrii występujących w naturze i ich łamanie w obecności różnych oddziaływań. W pracach nad tymi zagadnieniami fizycy krakowscy biorą udział już od dłuższego czasu. Ostatnio w współpracy z Politechniką Federalną w Zurychu (ETHZ) oraz Instytutem Paula Scherrera (PSI) prowadzone są prace nad stopniem niezachowania symetrii względem transformacji sprzężenia ładunkowego



Rys. 9. Aparatura do pomiaru polaryzacji mionów w Instytucie Paula Scherrera w Villigen z detektorami drutowymi zbudowanymi w Krakowie.

i odbicia przestrzennego (CP) lub odwróceniem czasu (T) i związanym z tym zagadnieniem występowania egzotycznych składowych w oddziaływaniu słabym [15]. W badaniach tych wykorzystywane są między innymi wiązki spolaryzowanych mionów [16] i zimnych polaryzowanych neutronów w PSI. Rys. 9 prezentuje widok aparatury pomiarowej, której detektory drutowe zostały zbudowane w Laboratorium Detektorów w Uniwersytecie Jagiellońskim.

Na zakończenie tej prezentacji trzeba jeszcze wymienić problem rozszczepienia jąder deuteru. Rozpoczęte przeze mnie w czasie pobytu na Politechnice w Zurychu (ETHZ) z początkiem lat siedemdziesiątych prace nad rozszczepieniem jąder deuteru w procesach elektromagnetycznych rozwinęto na badania rozszczepienia w wyniku oddziaływań jądrowych. Głównym celem tych prac jest wyznaczenie udziału siły trójciałowej w oddziaływaniach jądrowych. Należy podkreślić kompleksowość prowadzonych badań. Z jednej strony wykonywane są wspólnie z kolegami z ETHZ oraz Uniwersytetu Śląskiego eksperymenty w Instytucie Paula Scherrera w Villigen w Szwajcarii [17], a ostatnio także w Instytucie Fizyki Jądrowej KVI w Groningen, z drugiej – prace teoretyczne we współpracy z Uni-



Rys. 10. Przekroje czynne oraz zdolności analizujące dla reakcji rozszczepienia jąder deuteru o przez spolaryzowane protony o energii 65 MeV. Punkty przedstawiają wartości zmierzone, a krzywe ciągłe przewidywania teoretyczne.

wersytetem w Bochum. Badane są procesy rozszczepienia wywołane przez spolaryzowane protony względnie neutrony (rys. 10). W ramach prac teoretycznych krakowscy fizycy rozwiązali po raz pierwszy na świecie równania Faddeeva z realistycznymi potencjałami [18, 19], dzięki czemu uzyskać można najbardziej poprawną interpretację teoretyczną wyników eksperymentalnych.

Tak przedstawia się DZIEDZICTWO PROFESORA HENRYKA NIEWODNICZAŃSKIEGO w dziedzinie fizyki jądrowej. Jego wychowankowie działają dzisiaj nie tylko w Krakowie, ale także w przodujących ośrodkach zagranicznych, prowadząc badania znajdujące się na froncie prac z fizyki jądrowej wykonywanych obecnie na świecie. Zawdzięczamy to naszemu Mistrzowi, Profesorowi Niewodniczańskiemu. Krakowska fizyka jądrowa tak ze względu na swój poziom, jak i rozległość działania jest jego osiągnięciem.

Literatura

- [1] η' production in proton-proton scattering close to threshold, P. Moskal, H. H. Adam, J. T. Balewski, V. Baru, A. Budzanowski, D. Grzonka, J. Haidenbauer, L. Jarczyk,

- A. Khoukaz, K. Kilian, M. Koehler, P. Kowina, A. Kudryavtsev, N. Lang, T. Lister, W. Oelert, C. Quentmeier, R. Santo, G. Schepers, T. Sefzick, S. Sewerin, M. Siemaszko, J. Smyrski, A. Strzałkowski, W. Wolke, P. Wuster, W. Zipper, *Physical Review Letters*, 80 (1998), 3202.
- [2] *Measurement of $pd = {}^3\text{He}\eta$ on the S_{11} resonance*, M. Betigeri, H. Bojowald, A. Budzanowski, A. Chatterjee, M. Drochner, J. Ernst, S. Foertsch, L. Freindl, D. Frekers, W. Garske, K. Greuer, A. Hamacher, S. Igel, J. Ilieva, R. Jahn, L. Jarczyk, G. Kammerling, K. Kilian, S. Kliczewski, W. Klimala, D. Kolev, T. Kutsarova, J. Lieb, G. Lippert, H. Machner, A. Magiera, H. Nann, E. Pentchev, H. S. Plendl, D. Protc, B. Razen, P. von Rossen, B. J. Roy, R. Siudak, J. Smyrski, A. Strzałkowski, R. Tsenov, P. A. Żotnierzuk, *Physics Letters, B* 472 (2000), 267.
- [3] *S-wave η' -proton FSI; phenomenological analysis of near-threshold production of π^0 , η and η' mesons in proton-proton collisions*, P. Moskal, H. H. Adam, J. T. Balewski, A. Budzanowski, J. Budziński, D. Grzonka, L. Jarczyk, A. Khoukaz, K. Kilian, P. Kowina, N. Lang, T. Lister, W. Oelert, C. Quentmeier, R. Santo, G. Schepers, T. Sefzick, S. Sewerin, M. Siemaszko, J. Smyrski, A. Strzałkowski, W. Wolke, P. Wuster, W. Zipper, *Physics Letters, B* 482 (2000), 357.
- [4] *Production of heavy hypernuclei in the $p + \text{Bi}$ reaction and determination of their lifetime for fission induced by Λ decay*, P. Kulesa, Z. Rudy, M. Hartmann, K. Pysz, B. Kamys, I. Zychor, H. Ohm, L. Jarczyk, A. Strzałkowski, W. Cassing, H. Hodde, W. Borgs, H. R. Koch, R. Maier, D. Prasuhn, M. Matoba, O. W. B. Schult, *Physics Letters, B* 427 (1998), 403.
- [5] *Production of η' mesons in the $pp = pp\eta'$ reaction at 3.67 GeV/c*, F. Balestra, Y. Bedfer, R. Bertini, L. C. Bland, A. Brenschede, F. Brochard, M. P. Bussa, Seonho Choi, M. Dębowski, M. Dziedzic, J.-Cl. Faivre, L. Fava, I. V. Felomkin, L. Ferrero, J. Foryciarz, I. Froehlich, V. Frolov, R. Garfagnini, A. Grasso, S. Heinz, V. V. Ivanov, W. W. Jacobs, W. Kuehn, A. Maggiora, M. Maggiora, A. Manara, D. Panzieri, H.-W. Pfaff, G. Piragino, G. B. Pontecorvo, A. Popov, J. Ritman, P. Salabura, V. Tschalyshev, F. Tosello, S. E. Vigrod, G. Zosi, *Physics Letters, B* 491 (2000), 29.
- [6] *Emission Pattern of High-Energy Pions: A New Probe for the Early Phase of Heavy-Ion Collisions*, A. Wagner, C. Muentz, H. Oeschler, C. Strum, R. Barth, M. Cieślak, M. Dębowski, E. Grosse, P. Koczoń, E. Laue, M. Mang, D. Miśkowiec, E. Schwab, P. Senger, P. Beckerle, D. Brill, Y. Shin, H. Stroebele, W. Waluś, B. Kohlmeyer, F. Puehlofer, J. Speer, I. K. Yoo, *Physical Review Letters*, 85 (2000), 18.
- [7] *First measurement of antikaon phase-space distributions in nucleus-nucleus collisions at subthreshold beam energies*, M. Menzel, I. Boechter, M. Dębowski, F. Dohrmann, A. Foerster, E. Grosse, P. Koczoń, B. Kohlmeyer, F. Laue, L. Naumann, H. Oeschler, F. Puehlofer, E. Schwab, P. Senger, Y. Shin, C. Sturm, G. Surówka, F. Uhlig, A. Wagner, W. Waluś, *Physics Letters, B* 495 (2000), 26.
- [8] *Intermediate velocity source of intermediate-mass fragments in the ${}^{40}\text{Ca} + {}^{40}\text{Ca}$ reaction at $E_{\text{lab}} = 35 \text{ MeV/nucleon}$* , P. Pawłowski, J. Brzychczyk, A. J. Cole, P. Desesquelles, W. Gawlikowicz, K. Grotowski, P. Hachaj, S. Micek, R. Płaneta, Z. Sosin, A. Wieloch, D. Bencheqoun, E. Bisquer, A. Chabane, A. Demeyer, M. Charlet, R. Cheynis, E. Gerlic, D. Guinet, A. Guorni, D. Heuer, P. Lautesse, L. Lebreton, A. Lleres, M. Stein, L. Vagneron, J. B. Viano, *Physical Review, C* 57 (1998), 1771.

- [9] *Dynamic evolution and the caloric curve for medium mass nuclei*, J. Cibor, R. Wada, K. Hagel, M. Lunardon, N. Marie, R. Alfaro, W. Shen, B. Xiao, Y. Zhao, J. Li, B. A. Lie, M. Murray, J. B. Natowitz, J. Majka, P. Staszal, *Physical Letters*, B 473 (2000), 29.
- [10] *Charged-Particle Multiplicity near Midrapidity in Central Au + Au Collisions at $(s_{NN})^{1/2} = 56$ and 130 GeV*, B. B. Back, M. D. Baker, D. S. Barton, S. Basilev, B. D. Bates, R. Baum, R. R. Betts, **A. Białas**, R. Bindel, **W. Bogucki**, **A. Budzanowski**, W. Busza, A. Carroll, M. Ceglia, Y.-H. Chang, A. E. Chen, **T. Coghen**, C. Conner, **W. Czyż**, **B. Dąbrowski**, M. P. Decowski, M. Despel, P. Fita, J. Fitsch, **M. Freindl**, **K. Gałuszka**, R. Ganz, E. Garcia, N. George, **J. Godlewski**, C. Gomes, E. Griesmayer, K. Gulbrandsen, S. Gushue, **J. Halik**, C. Halliwell, P. Haridas, A. Hayes, G. A. Heintzelman, C. Handerson, R. Hollis, **R. Hołyński**, B. Holtman, E. Johnson, J. Kane, J. Katzy, **W. Kita**, **J. Kotuła**, H. Kraner, W. Kucewicz, P. Kulinich, C. Law, M. Lemler, **J. Ligocki**, W. T. Lin, S. Manly, D. Mcleod, **J. Michałowski**, A. Mignerey, J. Muelmenstaedt, M. Neal, R. Nouicer, **A. Olszewski**, R. Pak, I. C. Park, M. Palet, H. Pernegger, M. Plesko, C. Reed, L. P. Remsberg, M. Reuter, C. Roland, D. Ross, L. Rosenberg, J. Ryan, A. Sanzgiri, P. Sawin, **P. Sawicki**, J. Scaduto, J. Shear, J. Sinacore, **W. Skulski**, S. G. Steadman, P. Steinberg, G. S. F. Stephans, **M. Stodulski**, **Z. Stopa**, **A. Strączek**, **M. Stręk**, A. Sukhanov, K. Surowiecka, J.-L. Tamg, R. Teng, **A. Trzupek**, C. Vale, G. J. van Nieuwenhuizen, R. Verdier, B. Wardsworth, F. L. H. Wolfs, **B. Wosiek**, **K. Woźniak**, A. H. Wuosmaa, B. Wyslouch, **K. Zalewski**, P. Zychowski, *Physical Review Letters*, 85 (2000), 85.
- [11] *Impact-parameter dependence of giant resonance excitation in relativistic heavy-ion collisions*, A. Gruenschloss, K. Boretzky, T. Aumann, C. A. Bertulani, J. Cub, W. Dostal, B. Eberlein, Th. W Else, H. Emling, J. Holeczek, R. Holzmann, M. Kaspar, J. V. Kratz, **R. Kulesa**, Y. Leifels, A. Leistenschneider, **E. Lubkiewicz**, S. Mordechai, I. Peter, R. Reiter, H. Rejmund, H. Simon, K. Steltzer, J. Stroth, K. Suemmerer, A. Surowiec, **E. Wajda**, **W. Waluś**, S. Wan, H. J. Wollersheim, *Physical Review*, C 60 (1999), 60.
- [12] *High spin states in ^{45}Sc and coexistence of collective and non-collective structures in the odd-A $f_{7/2}$ nuclei*, **P. Bednarczyk**, **J. Styczeń**, **R. Broda**, **M. Lach**, **W. Męczyński**, W. Nazarewicz, W. E. Ormand, W. Satuła, D. Bazzacco, F. Brandolini, G. De Angelis, S. Lunardi, L. Mueller, N. H. Medina, C. M. Petrache, C. Rossi Alvarez, F. Scarlassara, G. F. Segato, C. Signorini, F. Somarel, *Physics Letters*, B 393 (1997), 285.
- [13] *Yrast Spectroscopy of $N = 82, 83$ Isotopes ^{136}Xe and ^{137}Xe from ^{248}Cm fission*, P. J. Daly, P. Bhattacharyya, C. T. Zhang, Z. Grabowski **R. Broda**, **B. Fornal**, I. Ahman, T. Lauritzen, L. R. Morss, W. Urban, W. R. Phillips, J. L. Durell, M. J. Leddy, A. G. Smith, B. J. Varley, N. Schulz, **E. Lubkiewicz**, M. Benteleb, J. Blomqvist, *Physical Review*, C 59 (1999), 3066.
- [14] *First observation of excited states in ^{137}Te and the extent of octupole instability in the lanthanides*, W. Urban, A. Korbul, T. Rząca-Urban, N. Schulz M. Benteleb, **E. Lubkiewicz**, J. L. Durell, M. J. Leddy, M. A. Jones, R. W. Phillips, A. G. Smith, B. J. Varley, I. Ahmad, L. R. Morss, *Physical Review*, C 61 (2000), 61.
- [15] *Study of some reversal violation in β decay of polarized ^8Li* , **J. Sromicki**, M. Allet,

- K. Bodek, W. Hajdas, J. Lang, R. Mueller, S. Navert, O. Naviliat-Cuncic, J. Zejma, W. Haeberli, *Physical Review*, C53 (1996), 932.
- [16] *Measurement of the transverse polarization of positrons from the decay of polarized muons*, K. Bodek, A. Budzanowski, N. Danneberg, W. Fetscher, C. Hilbes, M. Janousch, L. Jarczyk, K. Kirsch, S. Kistryn, J. Klement, K. Koehler, A. Kozela, J. Lang, G. Llosa Llacer, M. Markiewicz, N. Morelle, F. Schweizer, J. Smyrski, J. Sromicki, E. Stephan, A. Strzałkowski, J. Zejma, *Nuclear Physics*, A663 (2000), 907c.
- [17] *Effects of the Tucson-Melbourne three-nucleon force in the proton-deuteron breakup process at $E_p = 65$ MeV*, M. Allet, K. Bodek, J. Golak, W. Gloeckle, W. Hajdas, D. Hueber, L. Jarczyk, H. Kamada, St. Kistryn, J. Lang, R. Mueller, O. Naviliat-Cuncic, J. Smyrski, J. Sromicki, A. Strzałkowski, H. Witała, J. Zejma, *Physics Letters*, B 376 (1996), 255.
- [18] *Faddeev calculation of proton-deuteron radiativ capture with exchange currents*, J. Golak, H. Kamada, H. Witała, W. Gloeckle, J. Kuroś-Żołnierczuk, R. Skibiński, V. V. Kolyar, K. Sagara, H. Akiyoshi, *Physical Review*, C 62 (2000), 62.
- [19] *Nd elastic scattering as a tool to probe properties of 3N forces*, H. Witała, W. Gloeckle, J. Golak, A. Nogga, H. Kamada, R. Skibiński, J. Kuroś-Żołnierczuk, *Physical Review*, C 63 (2000), 63.