

## **Profesor Zdzisław Pajak – Mistrz, uczyony, organizator nauki.**

Prof. Zdzisław Pajak urodzony w 1924 roku w Warszawie należy do grona najwybitniejszych polskich uczonych, uprawiających badania naukowe na światowym poziomie. W Uniwersytecie Adama Mickiewicza zainicjował i rozwinął badania związane z fizyką fazy skondensowanej. Stworzył znaczącą w Polsce i poza granicami szkołę radiospektroskopii, obejmującą magnetyczne rezonanse jądrowe. Jest dzisiaj profesorem emerytowanym, utrzymującym bliskie i serdeczne więzi z licznymi swoimi wychowankami i uczniami, do których piszący te słowa ma zaszczyt się zaliczać.

Zdzisław Pajak wykonał pracę dyplomową z fizyki w 1952 r. na Politechnice Gdańskiej pod kierunkiem prof. Arkadiusza Piekary na podstawie badań – w aktualnej wówczas dziedzinie - promieniotwórczości naturalnej. W tym samym roku na zaproszenie władz Uniwersytetu Poznańskiego, Profesor Arkadiusz Piekara wraz ze swym utalentowanym asystentem Zdzisławem Pajakiem przeniósł się na 14 lat do Poznania, by tutaj mimo trudnych powojennych warunków z ogromnym entuzjazmem, zorganizować i odbudować laboratoria umożliwiające uprawianie nowoczesnych badań w dziedzinie fizyki doświadczalnej.

Po powrocie prof. A. Piekary do rodzimego Uniwersytetu Warszawskiego w 1966 roku, ówczesny docent dr habilitowany Zdzisław Pajak stał się jego naturalnym następcą na Katedrze Fizyki Doświadczalnej w Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W 1969 roku Katedra została przekształcona w Zakład Radiospektroskopii, który stał się częścią nowej struktury Instytutu Fizyki UAM, z prof. Pajakiem jako jego dyrektorem i wicedyrektorem ds. nauki w latach 1969-1975 i kierownikiem Zakładu Radiospektroskopii od 1969 roku do 1994 roku.

Zainteresowania badawcze Profesora Z. Pajaka na początku Jego drogi naukowej w Poznaniu koncentrowały się wokół zjawiska ferroelektryczności, które choć wykryte w latach dwudziestych ub. wieku nabrało szczególnego znaczenia w czasie II wojny światowej. Chodziło o miniaturyzację sprzętu wojskowego, w tym o takie konstrukcje kondensatorów, które będą posiadały bardzo dużą pojemność i bardzo małe rozmiary. W tym kierunku rozwinęła się praca doktorska Z. Pajaka napisana pod kierunkiem prof. A. Piekary i obroniona w 1959 roku, ze szczególnym odniesieniem do zjawiska ferroelektryczności w tytanianie baru. Podjęte wówczas badania ferroelektryczności w różnych kryształach stały się motorem napędowym wielu nowych technologii, w tym nowoczesnej mikroelektroniki. Te prace badawcze, przez pewien czas „uśpione” po uzyskaniu habilitacji w 1962 roku w związku z zaangażowaniem się w rozwój nowych badań w obszarze rezonansów jądrowych, odżyły z nową siłą w okresie „wolnym od funkcji organizacyjnych” przed przejściem i po przejściu Profesora na emeryturę w 1994 roku.

Warto podkreślić, że koniec lat 50-tych i początek lat 60-tych to czas, gdy w Katedrze Fizyki Doświadczalnej, wyznaczono wizję rozwoju badań NMR w Poznaniu, w tym badania tego zjawiska w cieczech i ciałach stałych. Sygnały NMR w cieczech i ciałach stałych zostały otrzymane w 1946 roku niezależnie przez dwóch amerykańskich uczonych Felixa Blocha na Uniwersytecie Stanforda i Edwarda M. Purcella z MIT, za co uczeni ci otrzymali nagrodę Nobla w 1952 roku. Tak więc w roku 1962 rezonans jądrowy był dopiero u początku swego burzliwego rozwoju, który dziś między innymi w zakresie aplikacji jest rozpoznawany przez wielu jako narzędzie diagnostyczne w szpitalach, służące do obrazowania pacjentów, popularnie nazywane „rezonansem”.

Podjęcie badań radiospektroskopowych w Polsce wymagało stworzenia odpowiedniej bazy badawczej. Pierwszy spektrometr NMR w Polsce skonstruowali prof. Andrzej Hryniewicz i prof. Jacek Hennel w Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie. W Poznaniu trud ten podjęli doktoranci Profesora Pajaka w Katedrze Fizyki Doświadczalnej, a później w Zakładzie Radiospektroskopii, rozwijając bardziej zaawansowane impulsowe spektrometry magnetycznego rezonansu jądrowego. W roku 1961 Jerzy Angerer wraz z Narcyzem Piślewskim, skonstruowali spektrometr fali ciągłej do wyznaczania czasów relaksacji w cieczech metodą Hryniewicza-Hennela. Pozwoliło to na rozwój badań cieczy, ich dynamiki, związku z lepkością, poszukiwaniu opisujących je modeli. Badania NMR w cieczech dotyczyły przesunięć chemicznych i relaksacji, w tym relaksacji grup chemicznie przesuniętych, separacji dipolowych oddziaływań wewnątrz i międzymolekularnych, w celu uzyskania informacji na temat ruchów rotacyjnych i translacyjnych oraz ich anizotropii, określenie mechanizmów relaksacji, w tym szczególnie mechanizmu spinowo - rotacyjnego oraz badania dyfuzji. Prace te pod kierunkiem Profesora Pajaka realizowali Barbara Błaszkieviczowa, Jerzy Angerer, Narcyz Piślewski, Kazimierz Jurga, Jan Jurga, Wiesław Suchański, Eugeniusz Szcześniak, Lidia Latanowicz, Barbara Peplińska.

Separacja oddziaływań molekularnych i mechanizmów relaksacji stała się możliwa dzięki rozwojowi metod pomiarowych na jądрах innych niż jądro  $^1\text{H}$ , takich jak jądra  $^{19}\text{F}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{13}\text{C}$ , zaś zastosowanie cewek gradientowych do wytwarzania najpierw gradientu stałego, a później znacznie silniejszego gradientu impulsowego pola magnetycznego, umożliwiło badanie procesów dyfuzji molekuł w cieczy. Szczególnie zaangażowani w te badania byli Jerzy Angerer, Wiesław Suchański, Barbara Peplinska i Marek Kempka.

Kolejny ważny krok w badaniach NMR cieczy był związany ze zbudowaniem w 1965 roku przez Kazimierza Jurgę pierwszego w Polsce spektrometru fali ciągłej dużej zdolności rozdzielczej, a następnie przystosowanie go do badania relaksacji grup chemicznie przesuniętych. Pierwsze widmo alkoholu etylowego o rozdzielczości 7Hz pomiędzy liniami w grupie  $\text{CH}_3$ , przy częstotliwości pracy spektrometru 25 MHz, było dużym osiągnięciem w tamtych czasach.

Badania NMR ciała stałego były zapoczątkowane przez Profesora Pająka wraz ze skonstruowaniem autodynowego spektrometru przez Andrzeja Graję i Romana Goca. Później, w zespole Profesora Pająka, Kazimierz Jurga podjął ogromne wyzwanie i skonstruował pierwszy w Polsce impulsowy spektrometr NMR do badania ciała stałego w 1972 roku, w tym do pomiarów czasów relaksacji w laboratoryjnym i rotującym układzie współrzędnych. W późnych latach 70-tych i na początku lat 80-tych powstawały spektrometry bardziej specjalistyczne, w tym spektrometr NMR do badania magnetyków. Niezwykle ważnym elementem inspiracji naukowej Prof. Pająka był nacisk na rozwój aktualnych metod pomiarowych. Wśród nich szczególnie istotne do badania ciała stałego miały metody wieloimpulsowe, jak również metody badania efektywnych czasów relaksacji oraz techniki związane ze skracaniem czasów martwych po to, aby można było rejestrować sygnały precesji swobodnej NMR w ciałach stałych.

Badania ciała stałego to początkowo próby zrozumienia teorii Redfielda, która w latach 70-tych była przełomową teorią dotyczącą zachowania się spinów w rotującym układzie współrzędnych, określenia charakterystycznego dla wolnych ruchów molekularnych czasu  $T_{1\rho}$ , zrozumienia takich pojęć jak temperatura spinowa, przejścia adiabatyczne. To była domena działalności Stefana Jurgi. Przedmiotem badań szerokości linii i relaksacji w ciałach stałych były kryształy, dielektryki i magnetyki, prowadzone przez Romana Goca, Stefana Jurgę, Barbarę Szafrąską, Asję Kozak, Jacka Radomskiego, Ryszarda Konieczkę, Jana Wąsickiego, Małgorzatę Grottel, Joannę Kapturczak, Marię Połomską, Wojciecha Kaczmarka, Stanisława Lewickiego, Janusza Hankiewiczza. Podstawą analizy były badania szerokich linii NMR, ich struktury i wartości momentów linii, pomiary czasów relaksacji w układzie laboratoryjnym i rotującym, które pozwalały badać relaksację układu dipolowego

i wiązać ją z ruchami molekularnymi, i wreszcie badania dużej zdolności rozdzielczej ciała stałego. Obok typowych ciał stałych podjęto także badania polimerów. Jedną z pierwszych prac wykonaną pod kierunkiem Profesora dotyczyła wpływu wydłużenia elastomeru na relaksację jądrową. Badano uporządkowanie w polimerach, ich mikrostrukturę i dynamikę molekularną. Przedmiotem badań były polimery w przeróżnych stechiometrycznych układach, polimery przewodzące, jak również roztwory polimerów. W badania te głównie zaangażowany był Stanisław Głowinkowski, a później Stefan Jurga.

W 1994 roku po przejściu Profesora Pająka na emeryturę, z Zakładu Radiospektroskopii został wydzielony nowy Zakład Fizyki Makromolekularnej z kierownikiem Stefanem Jurgą, który skoncentrował się na badaniach układów materii miękkiej nie tylko metodami NMR na jądрах wodoru ale także na jądрах deuteru oraz wysokiej zdolności rozdzielczej w ciałach stałych na innych jądрах o niskiej naturalnej abundancji, a ponadto także metodami spektroskopii dielektrycznej, reologii, dyfrakcji rentgenowskiej i mechanicznej, metodami kalorymetrycznymi. Kierownikiem Zakładu Radiospektroskopii i kontynuatorem badań NMR ciała stałego został uczeń Profesora - prof. Jan Wąsicki.

Działalność Profesora zaowocowała opublikowaniem kilkuset prac naukowych, uzyskaniem kilku patentów i przyczyniła się znacznie do rozwoju kadry naukowej, w tym wypromowaniu 36. doktorów, z których wielu zostało profesorami na naszej Uczelni lub w innych polskich instytucjach naukowych, w tym między innymi Czesław Lewa został profesorem na Politechnice Gdańskiej, Kazimierz Jurga na UAM, Narcyz Piślewski

w Instytucie Fizyki Molekularnej PAN, Stefan Jurga na UAM, Jan Jurga na Politechnice Poznańskiej, Krystyna Hołderna-Natkaniec na UAM, Jan Wąsicki na UAM, Lidia Latanowicz na Uniwersytecie Zielonogórskim, Eugeniusz Szcześniak na UAM, Roman Goc na UAM, Maria Połomska w Instytucie Fizyki Molekularnej PAN.

Należy przy okazji wspomnieć, że jeden z doktorów i habilitantów Profesora - dr hab. Wojciech Kaczmarek - został pierwszym Prezydentem M. Poznania po przemianach roku 1989.

Na szczególną uwagę, poza konstrukcją aparatury badawczej, zasługują prace Profesora dotyczące dynamiki molekularnej i jej związku z polimorficznymi przejściami fazowymi w kryształach jonowo-molekularnych. W pracach tych pokazano, że za pomocą różnych metod badawczych, w tym w szczególności magnetycznego rezonansu jądrowego, można zidentyfikować typ reorientacji molekularnych i oszacować wartości czasów korelacji dla stochastycznych reorientacji fragmentów lub całych molekuł. Szczegółowa analiza dynamiki molekuł czy jonów dostarczyła cennych informacji dotyczących między innymi mechanizmu przejść fazowych.

W przypadku kryształów jonowo-molekularnych szczególnie interesujące dane otrzymano analizując reorientacje molekularne obu podsięci: kationowej i anionowej. Dla kilku soli pirydyniowych (dla których podsięć anionowa zawierała jądra fluoru np.  $X = BF_4^-, PF_6^-, SbF_6^-$ ) zaobserwowano ciekawy efekt zbieżności rotacyjnych czasów korelacji obu jonów w przejściu fazowym, który wskazał na istnienie nowego typu sprzężenia rotacyjnych modów dwu podsięci jonowych. Podobny efekt zaobserwowano dla złożonych reorientacji wewnątrz-molekularnych zarówno w kryształach molekularnych jak i jonowo-molekularnych. Badania wielu soli pirydyniowych dowodzą, że reorientacje kationu pirydyniowego ( $C_5H_5NH^+$ ) w fazie niskotemperaturowej odbywają się przez nierównoważne bariery (potencjał asymetryczny) natomiast w fazie wysokotemperaturowej przez bariery równoważne (potencjał symetryczny). Dla kilku soli pokazano, że parametr asymetrii  $\Delta$  (różnica pomiędzy minimami energii potencjalnej) zależy od temperatury. Symetryzacja barier energetycznych wydaje się być, obok sprzężenia modów rotacyjnych, mechanizmem spustowym przemian fazowych w kryształach.

Profesor Z. Pająk zainicjował także nowatorskie badania dynamiki molekularnej w kryształach jonowo-molekularnych w funkcji wysokiego ciśnienia, w szczególności badania wpływu ciśnienia hydrostatycznego na czasy magnetycznej relaksacji jądrowej. Kontynuując tematykę - prof. Jan Wąsicki zbudował aparaturę do badania czasów relaksacji NMR pod wpływem wysokiego ciśnienia hydrostatycznego (do 800 MPa). Dla układów jonowo-molekularnych źródłem barier energetycznych hamujących reorientacje kationów są międzymolekularne oddziaływania jonowe i oddziaływania van der Waalsa. Modyfikacji oddziaływań molekularnych najwygodniej dokonywać poddając układ działaniu wysokiego ciśnienia hydrostatycznego. Spowodowana nim zmiana odległości międzymolekularnych wpływa na wysokość i kształt barier hamujących reorientacje dostarczając tym samym cennych o nich informacji. Wykonane pomiary czasów relaksacji spin-iatka w funkcji temperatury i ciśnienia dla jodku, azotanu i nadchloranu pirydyniowego dostarczyły ciekawych informacji na temat kształtu i wysokości barier hamujących reorientacje kationu.

W latach 1994 - 2006 Profesor powrócił do badań nad ferroelektrycznością. Jak już wspomniano, ferroelektryki stanowią klasę materiałów, które są interesujące zarówno ze względu na ich zastosowania w technice jak i pod względem poznawczym. Mimo dużej liczby materiałów ferroelektrycznych wciąż nie ustają prace w poszukiwaniu nowych ferroelektryków. Zjawisko ferroelektryczne obserwuje się w ciałach stałych o bardzo różnorodnej budowie wewnętrznej i różnych typach oddziaływań międzycząsteczkowych, a mianowicie w kryształach jonowych, molekularnych, molekularno-jonowych lub polimerach. Zwykle poszukiwanie nowych materiałów ferroelektrycznych ogranicza się do wąskiej grupy materiałów o podobnej budowie pod względem struktury krystalicznej lub molekularnej, bądź innych własności takich jak dynamika molekularna czy typ oddziaływań. Profesor Pająk od początku lat osiemdziesiątych badał sole pirydyniowe wykorzystując metodę NMR. Sole te należy zaliczyć do kryształów molekularno-jonowych, w których występuje nieuporządkowanie kationu pirydyniowego, a niekiedy także anionów. Technika NMR pozwoliła zbadać zmianę dynamiki kationu pirydyniowego w funkcji temperatury. Okazało się, że przejście ze stanu nieuporządkowanego do uporządkowanego następuje w wyniku jednej lub wielu przemian fazowych. Było to podstawą do ewentualnego poszukiwania własności ferroelektrycznych w grupie soli pirydyniowych. Prof. Janowi Wąsickiemu i prof. Piotrowi Czarneckiemu udało się wyhodować monokryształ czterofluoroboranu pirydyniowego o wymiarach dostatecznych do badań dielektrycznych. Zaobserwowanie pętli histerezy elektrycznej były dowodem wykrycia w tym materiale własności ferroelektrycznych. Odkrycie nieznanego dotychczas ferroelektryka spowodowało, że przebadano kilkadziesiąt soli pirydyniowych i odkryto własności ferroelektryczne w trzech następujących kryształach pirydyniowych: nadchloranie, nadjodanie i nadrenianie. Stwierdzono, że własności ferroelektryczne występują w solach pirydyniowych z anionami o budowie tetraedrycznej ( $BF_4^-$ ;  $ClO_4^-$ ;  $IO_4^-$ ;  $Re_4^-$ ) natomiast nie występują w solach z anionami prostymi (Cl; Br; I), a także

jeżeli anion jest oktaedryczny (PF<sub>6</sub>). Odkrycie całej rodziny ferroelektryków było oczywistym osiągnięciem naukowym. Prof. Pająk wytrwale poszukiwał dalszych ferroelektryków w grupie soli pirydyniowych. Odkryto własności ferroelektryczne we fluorosulfonianie (PyFSO<sub>3</sub>) oraz fluorochromianie (PyCrSO<sub>3</sub>). Niestrudzony Prof. Pająk rozpoczął poszukiwania ferroelektryczności w grupie soli imidazoliowych. Zaowocowało to odkryciem własności ferroelektrycznych w czterofluoroboranie imidazoliowym (ImBF<sub>4</sub>) oraz nadchloranie imidazoliowym (ImClO<sub>4</sub>). Za odkrycie wraz z Profesorami Piotrem Czarneckim, Wojciechem Nawrockim i Janem Wąsickim nowych kryształów ferroelektrycznych w układach organicznych soli pirydyniowych, Profesor Pająk, został wyróżniony nagrodą naukową Ministra Edukacji Narodowej w 1995 roku. Należy podkreślić, że pasja z jaką Profesor Pająk poszukiwał nowych ferroelektryków jest godna podziwu. Profesor niekiedy wspominał, że początek jego kariery naukowej był związany z badaniem ferroelektryków i powrócił do „starej miłości”, po prawie dwudziestu latach swojej aktywności naukowej, po przejściu na emeryturę.

Na podkreślenie zasługuje także aktywność Profesora Pajaka na rzecz organizacji badań naukowych. Poza wspomnianym już kierownictwem Zakładu Radiospektroskopii i Katedry Fizyki Doświadczalnej, pełnieniem funkcji wicedyrektora i dyrektora Instytutu Fizyki UAM w latach 1969 - 1975, Profesor Zdzisław Pająk był - ciesząc się ogromnym autorytetem, szacunkiem i zaufaniem wspólnoty akademickiej - Dziekanem Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii w latach 1975 – 1981 oraz pełnił odpowiedzialne funkcje w komisjach uniwersyteckich. Był także wieloletnim członkiem Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów Naukowych (ówczesnej CKK) oraz zasiadał z głosem doradczym w wielu gremiach naukowych polskich instytucji a także w europejskich towarzystwach naukowych, w tym w stowarzyszeniu naukowym „Groupement AMPERE”.

Prof. Pająk doskonale rozumiał potrzebę międzynarodowej współpracy naukowej. Sam odbył szereg staży zagranicznych, poza wspomnianą już paryską Sorboną, także między innymi w laboratorium prof. J. Powlesa w University of Canterbury, Kent, (którego wychowankiem był przyszły laureat Nagrody Nobla Sir Peter Mansfield, twórca metody obrazowania rezonansem magnetycznym dla potrzeb diagnostyki medycznej), University of London, Bangor University, (tam poznał się z prof. E. R. Andrew - doktorem honoris causa naszej Uczelni, który blisko współpracował z grupą Profesora Pajaka), w Uniwersytecie w Lipsku ( Profesor Pająk nawiązał kontakty naukowe z profesorami Arturem Loesche i Harry Pfeiferem), w Moskwie w Akademii Nauk ZSRR. Popierał współpracę międzynarodową swoich uczniów, był autentycznym promotorem współpracy międzynarodowej. Jego uczniowie odbyli szereg co najmniej jednorocznych staży naukowych w laboratoriach zagranicznych, w tym w USA (University of Illinois at Chicago and Urbana-Champaign, University of Kansas-Lawrence, University of Florida, Gainesville, New York State University, Albany, University of Wisconsin, Madison), w Niemczech (Moguncja, Lipsk, Halle), w Belgii (Liege, Bruksela), w Rosji (Dubna, Moskwa), w Słowenii (Lublana).

Profesor Zdzisław Pająk jest autorem/współautorem ponad 150 publikacji naukowych w indeksowanych czasopismach o cyrkulacji międzynarodowej i setek innych publikacji z NMR. Prace Profesora cieszą się wysokimi parametrami bibliometrycznymi oraz aktualnością naukową.

Profesor Zdzisław Pająk, jako wybitny autorytet naukowy, autor znaczących publikacji naukowych, promotor kadr akademickich, w tym ponad 10 profesorów, ponad 30 doktorów, ponad 300 magistrów, wybitny organizator życia naukowego na UAM, przez 66 lat służył i ciągle służy swojej Uczelni, dzieląc się swą wiedzą, promieniując ogromną kulturą osobistą, skromnością i serdecznymi relacjami ze swoimi współpracownikami. To wszystko sprawia, że Jego uczniowie i współpracownicy znajdują w osobie Profesora prawdziwego Mistrza i Przyjaciela.

#### **Wybrane publikacje związane z wczesnym okresem badań ferroelektryczności.**

1. A. Piekara, Z. Pająk, *“Thermal Pseudohysteresis of the Dielectric Constant of Ferroelectric Titanates”*, Acta Phys. Polon., **11**, 256 (1952).
2. A. Piekara, Z. Pająk, *“Effect of Electric Field on the Dielectric Constant of Ferroelectric Titanates”*, Acta Phys. Polon., **12**, 170 (1953).
3. Z. Pająk, A. Piekara, *“Thermal Independence of Permittivity of Ferroelectric Heterogeneous Systems”*, Bull. Ac. Polon. Sci. Cl. III, **4**, 83 (1956).
4. Z. Pająk, F. Kaczmarek, J. Jastrzębski, *“Delay-Effect in Ferroelectric Titanates Below the Curie Point”*, Bull. Ac. Polon. Sci. Cl. III, **4**, 457 (1956).
5. Z. Pająk, *“Die Verschiebung des Curiepunktes beim Altern der Ferroelektrika”*, Festkoerperphysik und Physik der Leuchtstoffe, Berlin, 198 (1958).

6. Z. Pająk, J. Stankowski, "Polarization Changes during the Process of Ageing in Ferroelectrics of  $BaTiO_3$  Type", Proc. Phys. Soc., **72**, 1144 (1958).
7. Z. Pająk, "Dielectric Investigation of Perovskite Type Ferroelectrics", Part I. Ferroelectric Systems with Small Temperature Coefficient of Permittivity, Acta Phys. Polon., **19**, 473 (1959).
8. Z. Pająk, "Dielectric Investigation of Perovskite Type Ferroelectrics", Part II. Ageing Process in Ferroelectrics, Acta Phys. Polon., **19**, 507 (1959).

**Wybrane publikacje związane z badaniem przejść fazowych, struktury i dynamiki molekularnej w fazie skondensowanej.**

1. Z. Pająk, "Résonance magnétique nucléaire du proton dans les complexes  $CHX_3 +$  donneur aromatique", Comptes rendus Ac. Sc. Paris, **249**, 1211 (1959).
2. Z. Pająk, F. Pellan, "Résonance magnétique nucléaire du proton dans les complexes  $CHX_3 +$  donneur hétéroaromatique", Comptes rendus Ac. Sc. Paris, **251**, 79 (1960),
3. Z. Pająk, "Effet pi intermoléculaire des composés aromatiques et hétérocycliques", Proc. IX Colloque AMPERE, 527 (1960).
4. S. Kinastowski, Z. Pająk, "Effet push-pull dans l'échange des ions étudié par résonance magnétique nucléaire", Comptes rendus Ac. Sc. Paris, **252**, 1774 (1961).
5. S. Kinastowski, Z. Pająk, "Etude de l'effet push-pull par RMN", Proc. X Colloque AMPERE, Leipzig, 403 (1961).
6. R. Freymann, M. Freymann, M. Koechlin, M. Mamin, G. Mavel, Z. Pająk, "RMN des liaisons hydrogène et des effets pi", Adv. Mol. Spectroscopy, Bolonia, 1222 (1962).
7. Z. Pająk, "Etude des interactions moléculaires par résonance magnétique nucléaire. Les complexes pi", Acta Phys. Polon., **21**, 131 (1962).
8. Z. Pająk, K. Jurga, S. Jurga, "Molecular dynamics of solid dimethylsulphoxide studied by NMR pulse technique", Acta Physica Polonica A, **A45**, 837 (1974)
9. M. Połomska, W. Kaczmarek and Z. Pająk, "Electric and magnetic properties of  $(B1-XLAX)FeO_3$  solid-solutions", Phys. Stat. Solidi A-Applications and Materials Science., **23**, 567 (1974).
10. L. Latanowicz and Z. Pająk "Negative solvation of diamagnetic ions in methanol", Chem. Phys. Lett., **38**, 166 (1976).
11. Z. Pająk and E. Szczesniak, "Structure and microdynamic behavior of liquid formic-acid", Chem. Phys. Lett., **49**, 269 (1977)
12. K. Jurga, "Pulse NMR spectrometer for local dipolar field measurements in solids", Journal of Physics E: Scientific Instruments, **14**, 555 (1981).
13. S. Jurga, K. Jurga and Z. Pająk, "NMR-study of molecular-motion in solid trimethyloxosulfonium halides", Journal of Physics C-Solid State Physics, **14**, 4433(1981).
14. S. Jurga, K. Jurga and Z. Pająk, "NMR-study of molecular-motion in solid trimethyloxosulfonium halides", Journal of Physics C-Solid State Physics, **14**, 4433(1981).
15. S. Jurga, K. Jurga and Z. Pająk, "Composite motion of molecular groups in solid triethylphosphine oxide as studied by NMR", Journal of Magnetic Resonance, **50**, 175 (1982).
16. W. Suchanski, M. Kempka, B. Peplińska and Z. Pająk, "Magnetic relaxation and molecular motions in liquid 3-dimethylpyridine", Berichte der Bunsen-Gesellschaft-Physical Chemistry Chemical Physics, **98**, 804 (1994)
17. J. Hankiewicz and Z. Pająk, "Nuclear magnetic resonance in  $BaCu_2-xZn_xFe_{16}O_{27}$ ", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, **140**, 2095 (1995).

**Wybrane publikacje prof. Pajaka związane z odkryciem nowych ferroelektryków.**

1. P. Czarnecki, W. Nawrocik, Z. Pająk and J. Wąsicki, "Ferroelectric Properties of Pyridinium Tetrafluoroborate", Phys. Rev., **B49**, 1511 (1994).
2. P. Czarnecki, W. Nawrocik, Z. Pająk and J. Wąsicki, "Ferroelectric Properties of Pyridinium Perchlorate" J.Phys. Condens. Matter, **6**, 4955 (1994).
3. J. Wąsicki, P. Czarnecki, Z. Pająk, W. Nawrocik, and W. Szczepański, "Ferroelectric Properties of Pyridinium Perrhenate", J. Chem. Phys., **107**, 576 (1997).
4. Z. Pająk, P. Czarnecki, J. Wąsicki, W. Nawrocik, "Ferroelectric Properties of Pyridinium Periodate" J. Chem. Phys., **109**, 6420 (1998).
5. Z. Pająk, P. Czarnecki, H. Małuszyńska, B. Szafrąńska and M. Szafran, "Ferroelectric properties of pyridinium fluorosulphonate" J. Chem. Phys., **113**, 848 (2000).
6. Z. Pająk, H. Małuszyńska, B. Szafrąńska and P. Czarnecki, "Crystal structure, molecular dynamics, and polar properties of pyridinium fluorochromate" J. Chem.Phys., **117**, 5303 (2002).
7. Z. Pająk, P. Czarnecki, B. Szafrąńska, H. Małuszyńska, and Z. Fojud, "Ferroelectric order in highly disordered

*molecular-ionic crystals*", Phys. Rev., B **69**, 132102 (2004).

8. Z. Pająk, P. Czarnecki, B. Szafrańska, H. Małuszyńska, and Z. Fojud, "*Ferroelectric ordering in imidazolium perchlorate*" J. Chem.Phys., **124**, 144502 (2006).

Poznań, maj 2019