



Prof. dr hab. Piotr Salabura

Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego

ul. Prof. Łojasiewicza 11

Uniwersytet Jagielloński

30-348 Kraków

22. 02. 2018

Kraków

**Ocena osiągnięcia naukowego przedstawionego do postępowania habilitacyjnego
oraz dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego
dr. Tadeusza Kowalskiego**

Charakterystyka dorobku naukowego :

Działalność naukowa Dr. Tadeusz Kowalskiego można zaliczyć do dziedziny fizyki detektorów gazowych z zastosowaniami w fizyce wysokich energii, astrofizyce i mikro-dozymetrii. Jest to specyficzna działalność która choć nie znajduje bezpośredniego odbicia w publikacjach w czasopismach o wysokich współczynnikach IF jest niezwykle istotna dla eksperymentów w których detekcja promieniowania jonizującego odgrywa kluczową rolę. Współczesne detektory gazowe pokrywają szerokie spektrum zastosowań, od liczników wyspecjalizowanych na rejestrację rzadkich typów promieniowania, wielodrutowych komór dryfowych i proporcjonalnych o różnych geometriach komórek do komór projekcji czasowej. Wspólnym mianownikiem poprawnego działania jest dogłębne zrozumienie mechanizmów wzmocnienia ładunkowego i wtórnych procesów z nim związanych dla określonych geometrii i mieszanek gazowych. Szczególnym wyzwaniem w nowoczesnych eksperymentach fizyki cząstek jest sprostanie rosnącym wymaganiom na obciążenie, sięgających nawet dziesiątek MHz na komórkę, z jednoczesnym zapewnieniem ich długiego czasu życia (minimalizacji efektów starzenia). Osiągnięcie tego celu wymaga badań R&D mieszanek gazowych, geometrii komórek oraz materiałów z których są wykonane, która poprzedza fazę konstrukcji. Działalność naukowa dr. Kowalskiego jest poświęcona właśnie temu zagadnieniu ze szczególnym uwzględnieniem dogłębnego zrozumienia procesów fizycznych zachodzących w procesie wzmocnienia ładunkowego i jego ilościowego opisu. Dr. Kowalski ma w swoim dorobku dwa zakończone projekty które bardzo dobrze ilustrują taką działalność: (a) wspomagającego kalorymetru elektromagnetycznego (BAC) dla eksperymentu ZEUS

opartego na mieszance Ar:CO₂ (w latach 1988-2006), (b) detektora słomkowego promieniowania przejścia dla eksperymentu ATLAS opartego na mieszankach CO₂ i gazów szlachetnych Xe/Ar i CF₄. W obu przypadkach dr. Kowalski przeprowadził w ramach dedykowanych zespołów badawczych dogłębne badania wzmocnienia gazowego, zdolności rozdzielczych, charakterystyk obciążeniowych w funkcji składu mieszanki, ciśnienia i temperatury otoczenia. Ponadto zajmował się konstrukcją liczników monitorujących stabilność składu mieszanki i parametrów pracy (wzmocnienia) koniecznych do poprawnej kalibracji detektora i kontroli procesów starzenia. W przypadku eksperymentu ATLAS koordynował pracami całego zespołu powołanego do budowy systemu stabilizacji wzmocnienia (Gas Gain Stabilization System). Z tego okresu działalności pochodzi 48 prac poświęconych w.w tematyce w których dr. Kowalski jest współautorem. Opublikowane wyniki pomiarów oraz ich interpretacja ilościowa ma także niebagatelne znaczenie dla szeregu innych eksperymentów jako że w.w mieszanki gazowe są powszechnie stosowane i co za tym idzie zrozumienie procesów fizycznych w nich zachodzących jest sprawą kluczową. Oczywiście sprawą jest iż sukces naukowy eksperymentów ZEUS i ATLAS, ponad 700 publikacji naukowych w najlepszych czasopismach, jest konsekwencją dobrej pracy detektorów, w tym także tych których badaniem zajmował dr. Kowalski.

Oprócz prac nad detektorami w fizyce wysokich energii dr. Kowalski zajmował się także badaniami nad detektorami niskoenergetycznego (w zakresie do 0.1 keV) promieniowania X pochodzącego z miękkiej składowej widma promieniowania galaktycznego. Scyntylacyjny detektor gazowy GSPC (Gas Scintillation Proportional Counter) został opracowany z jego udziałem w czasie pobytu w Europejskim Ośrodku Badań Kosmicznych ESTEC w Holandii (1986-1988). Został umieszczony na satelicie SAX o dostarczył bardzo dobrych danych o niskoenergetycznym promieniowaniu X. Z tego okresu działalności pochodzi 8 prac dotyczących scyntylacyjnych liczników gazowych dla detekcji promieniowania X.

Od 2008 roku jest członkiem grupy roboczej RD51 "Development of Micro-Pattern Gas Detector Technologies" powołanej przez CERN dla badań rozwojowych nowych typów detektorów gazowych nacełowanych na wyzwania eksperymentów LHC wymagające pracy przy bardzo dużych obciążeniach. Przedstawiony do oceny cykl publikacji pochodzi właśnie z pracy w ramach tej ważnej międzynarodowej inicjatywy.

Dorobek naukowy dr. Kowalskiego, **z wyłączeniem prac z afiliacją grup ATLAS i ZEUS**, obejmuje 55 prac i 243 cytowań co uważam za bardzo dobry wynik świadczący o dobrej rozpoznawalności w tej dziedzinie. **Sumaryczny** wynik publikacyjny obejmujące dorobek publikacyjny eksperymentów ZEUS, ATLAS jest oczywiście znacznie większy i zamyka się 808 publikacjami. Jest w zupełności wystarczający dla ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

Ocena osiągnięcia naukowego będącego podstawą postępowania habilitacyjnego

Jako osiągnięcie naukowe Dr. Kowalski przedstawił cykl 9 publikacji pod wspólnym tytułem „*Mieszanki robocze w detektorach gazowych stosowanych w eksperymentach fizyki wysokich energii i mikro-dozymetrii*”. 7 prac zostało opublikowanych jako regularne artykuły w czasopiśmie, Journal of Instrumentation i Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, natomiast pozostałe dwa jako raporty konferencyjne (H5, H7). W pracach H2-H5 współautorzy złożyli oświadczenie potwierdzający znaczący (>50%) udział dr. Kowalskiego w pomiarach, interpretacji wyników oraz przygotowaniu publikacji.

Tematyka publikacji dotyczy badania mechanizmów wzmocnienia gazowego wychodzące poza opis bazujący na pierwszym współczynnika Townseda, a w szczególności roli mechanizmu Penninga. W badaniach skoncentrowano się na mieszkach gazowych stosowanych w eksperymentach fizyki wysokich energii i w mikro-dozymetrii. W tym drugim przypadku głównym problemem jest symulowanie depozycji energii ekwiwalentnej do tej deponowanej w tkance ludzkiej w obszarach porównywalnych lub mniejszych od wymiarów DNA. Oba aspekty choć wydają się dość różne są połączone wspólnym wyzwaniem zrozumienia mechanizmów prowadzących do wzmocnienia gazowego, jego pełnej charakterystyce w zależności od zredukowanego pola elektrycznego, składu mieszanki i ciśnienia.

Pierwszemu zagadnieniu zostały poświęcone publikacje (H1-H5) w których autor wykonał pomiary współczynnika wzmocnienia gazowego dla licznika cylindrycznego, o średnicach drutów 24 i 50 μm , w funkcji napięcia anody dla różnych koncentracji gazu i ciśnień skupiając się na ilościowym opisie efektu Penninga. W.w efekt odgrywa kluczową rolę w procesie wzmocnienia i polega na jonizacji atomów domieszki w zderzeniach wzbudzonych atomów głównego gazu roboczego. Badania wykonano dla mieszanek gazowych Ar/CO₂, Ne/CO₂, Ne/CO₂/N₂, które są często używane w detektorach pracujących pod dużymi obciążeniami. Wystarczy tutaj wspomnieć jako przykłady detektory pracujące na LHC: detektor słomkowy promieniowania przejścia TRT w ATLAS, komora TPC w ALICE, detektor słomkowy LHCb. Dogłębne zrozumienie procesu wzmocnienia ładunkowego i jego ilościowy opis jest więc bardzo ważny, a w szczególności procesów wtórnych które mogą doprowadzić do niekorzystnych efektów. W tym kontekście dużą rolę gra domieszka głównego gazu roboczego (w.w przypadkach był to CO₂) która absorbuje fotony i ogranicza duże sprzężenie zwrotne w procesie wzmocnienia (tzw. „photon-feedback”). Żądany efekt uzyskuje się poprzez odpowiedni dobór domieszki o dużym przekroju czynnym na absorpcję fotonów i wysokim potencjale jonizacji. W efekcie jonizacja domieszki w efekcie Penninga może się dokonywać jedynie poprzez wzbudzenie pewnych poziomów gazu roboczego o energiach powyżej potencjału jonizacji CO₂, który wynosi około 13.8 keV (dla Ar są to na przykład poziomy 3p⁵3d). W przedstawionych pracach dr. Kowalski zajął się szczegółową analizą procesu Penninga i jego zależności od rodzaju domieszki, gazu roboczego wykazując istotną rolę struktury poziomów atomowych oraz

średniej drogi swobodnej elektronów w gazie. Wykonane pomiary rozszerzają dostępną już wcześniej bazę danych dla badanych mieszanek i zakresów dużego wzmocnienia $(1-5)10^5$ o obszary bardzo małych lub dużych koncentracji domieszek oraz szerokiego zakresu ciśnień (praca H2 dotyczy Ar/CO₂, H3 Ne-CO₂ a praca H4 Ne-CO₂-N₂). Posługując się znanymi empirycznymi zależnościami pomiędzy wzmocnieniem a zredukowanym polem elektrycznym (Aoyamy, Diethorna, Williamsa i Sary), bazującymi na założeniu braku efektów wtórnych i zależności wzmocnienia tylko od pierwszego współczynnika Townsenda, wyznaczył obszary zredukowanego natężenia pola elektrycznego od którego efekt Penninga ogrywa istotną rolę. Przy wyższych wartościach pola zbadano także efekt wzmocnienia indukowanego przez fotony. Wprowadzając modyfikacje pierwszego współczynnika Townseda uwzględniającą transfer energii w procesie Penninga wyznaczono jego szybkość, r_{PEN} , poprzez dopasowanie do danych eksperymentalnych obliczeń numerycznych wykonanych przy pomocy programu MAGBOLTZ. Przedyskutowano i wskazano najważniejsze reakcje odpowiedzialne za transfer jonizacji oraz transfer energii nie prowadzący do jonizacji. Połączenie obu podejść fenomenologicznego i opartego na obliczeniach numerycznych pozwoliło na bardzo wnikliwą analizę procesów leżących u podstaw w.w zjawisk. Umożliwiło to także na wyznaczenie szeregu ciekawych zależności charakteryzujących wzmocnienie gazowe jak na przykład współczynniki Townseda, promień lawiny, odległość od drutu od którego rozpoczyna się wzmocnienie ładunkowe czy średniego potencjału jonizacji w zależności od koncentracji domieszek i ciśnienia. Ciekawym wynikiem jest wykazanie znacznego zmniejszenia średniego potencjału jonizacji dla nawet bardzo małej koncentracji (poniżej 1%) domieszki CO₂ i występowanie pewnego minimum w funkcji ciśnienia mieszanki – praca H1. Wyznaczone prawdopodobieństwo efektu Penninga w funkcji koncentracji domieszki wskazuje na początkowy wzrost w funkcji koncentracji (poniżej 7-8%) który potem jednak maleje. Jest to związane z istotną rolą procesów trójciałowych prowadzących do tworzenia się molekuł zbudowanych z gazu roboczego i domieszki (np. NeCO₂) jak i wzbudzeń atomów gazu roboczego de-ekscytujących bez przejść promienistych. W pracy H5 została podana fenomenologiczna parametryzacja szybkości transferu w procesie Penninga która opisuje otrzymane dane eksperymentalne. Całość daje bardzo wnikliwy wgląd w różne reakcje zachodzące w gazie w których struktura wzbudzeń oraz oddziaływań czynników gazu roboczego gra kluczową rolę. Połączenie obu podejść fenomenologicznego oraz opartego na obliczeniach numerycznych pozwoliło na ilościowy opis zjawisk zachodzących w gazie i ekstrakcję wielu parametrów charakteryzujących efekt Penninga i jego rolę w procesie wzmocnienia.

Cykl prac H6-H9 dotyczy badań wzmocnienia gazowego w niskociśnieniowych warstwach gazowych. Celem jest tutaj symulacja procesów depozycji energii w tkance żywej poprzez mieszaniny gazowe, tzn. Tissue Equivalent Gas-TEG, na bazie propanu lub metanu. Istotnym parametrem jest tutaj osiągnięcie obszaru depozycji energii porównywalnego z rozmiarem DNA, a więc mniejszych od 1 μ m poprzez zmniejszenie ciśnienia i odpowiednie dobranie rozmiarów detektora. Idealnie oczekivalibyśmy aby detektor był linowy w dużym zakresie depozytu energii (np. od paru do kilkudziesięciu keV) a odpowiedź niezależna od rodzaju promieniowania dla tego samego efektu

biologicznego. Zmierzono i porównano parametry wzmocnienia dla mieszanek TEG w bardzo szerokim zakresie ciśnień od 500 -20 hPa. Wykazano iż proste skalowanie funkcji logarytmu wzmocnienia i zredukowanego pola elektrycznego w zależności od ciśnienia (wg. modelu Zastawnego, praca H6 i rysunki 14,15 w przewodniku - nawiasem mówiąc błędnie zacytowane jako pochodzące z H5, lub wg. modelu Diethorna) nie pracują poprawnie dla ciśnień poniżej 100 hPa. Ma to związek ze wzrostem ilości procesów wzbudzeń bez-promienistych (bez jonizacji) redukujących wzmocnienie ładunkowe w rzadkich mieszaninach. Generalnie, wykazano jednak bardzo dobrą jednorodność odpowiedzi niskociśnieniowych detektorów TEG w dużym zakresie rozmiarów symulowanej wielkości tkanki, nawet do obszarów rzędu 0.3 μm (praca H7). Odstępstwa od w.w prostego skalowania nie eliminuje użycia detektorów pod ciśnieniem < 100 hPa ale wymaga to każdorazowej kalibracji. Pouczającym wynikiem badań pomocnym dla zrozumienia pracy takich niskociśnieniowych detektorów są uzyskane charakterystyki wielkości całego obszaru lawiny i obszary lawiny w którym występuje istotne wzmocnienie, wielkości energii uzyskiwanej przez elektron pomiędzy dwoma zderzeniami w zależności od ciśnienia (praca H8) . Pozwalają one lepiej zrozumieć mechanizm jonizacji i wzmocnienia w takich detektorach i występujące odstępstwa of prostych skalowań proponowanych w literaturze. Innym istotnym wynikiem było określenie maksymalnego wzmocnienia, ograniczającego pracę przy dużych polach elektrycznych (praca H9). Ograniczenia wynikają z powodu efektów wtórnych, jak np. sprzężenia zwrotnego od nie zaabsorbowanych fotonów, opisywanego przez drugi współczynnik Townseda, i od deformacji pola wewnątrz lawiny. Wyznaczona zależność tego maksymalnego wzmocnienia od ciśnienia wskazuje pewne maksimum które jest efektem w.w ograniczeń (sprężenie od fotonów odgrywa rolę w obszarze niskich ciśnień a deformacji pola w obszarze dużych ciśnień).

Przedstawiane do oceny pracy zostały opublikowane w ciągu ostatnich 3-4 latach i ich cytowalność nie jest wysoka (w sumie 9 cytowań, z wyłączeniem autocytowań), co nie jest dla mnie zaskoczeniem biorąc pod uwagę generalnie ich specyfikę i czas który upłynął od ich publikacji. Przedstawione prace dają świadectwo bardzo solidnego przygotowania metodologicznego i bardzo dobrej znajomości dziedziny oraz łączą wyniki eksperymentalne z czytelną interpretacją. Dostarczają spójnego materiału badawczego która pozwala na lepsze zrozumienie skomplikowanego mechanizmu powstawania lawiny ładunkowej w obszarze dużych wzmocnień. Poza walorem poznawczym, są one też bardzo pożytecznym materiałem dla szerokiego grona użytkowników różnego rodzaju detektorów gazowych opartych na badanych mieszaninach , które jak już wspomniałem są szeroko używane. Pozwalają na zrozumienie ograniczeń ich pracy oraz prezentują metodologie wyznaczenia wielu interesujących charakterystyk. Patrząc na dorobek autora można się jedynie zastanawiać dlaczego w cyklu nie znalazło się prace ze wcześniejszego okresu pracy po doktoracie, które dotyczyły podobnej tematyki.

Podsumowując przedstawiony cykl publikacji oceniam pozytywnie zarówno pod względem formalnym jak i merytorycznym.

Działalność dydaktyczna, organizacyjna, popularyzacja nauki oraz współpraca międzynarodowa

Współpraca międzynarodowa dr. Kowalskiego jest bardzo bogata i rozciąga się na szereg lat. Oprócz wspomnianych już w części pierwszej recenzji aktywności w eksperymentach ZEUS w DESY (1986-2006) oraz ATLAS w CERN (od 1992) dr. Kowalski współpracował także z Europejskim Ośrodkiem Badań Kosmicznych, ESTEC (koniec lat 80) w misji satelity SAX. Aktywności te wiązały się z wielokrotnymi (średnio 3-6 miesięcy w roku) wizytami w tych ośrodkach i współpracy z dużymi grupami badawczymi. Oprócz działalności naukowej która była związana bezpośrednio z jego zainteresowaniami uczestniczył także regularnie w dyżurach pomiarowych eksperymentów ATLAS i ZEUS w czasie zbierania danych. Dr. Kowalski koordynował także zadania powierzone większym zespołom: systemu CGSS (Gass Gain Stabilisation System) w eksperymencie ATLAS oraz systemu monitorowania układu gazowego kalorymetru BAC, co świadczy o jego uznanej reputacji w środowisku. Jest obecnie członkiem kluczowego projektu CERN RD51 „Development of Micro-Pattern Gas Detectors Technologies” dla rozwoju nowych detektorów gazowych nowej generacji. Ten projekt jest kontynuacją innego programu RD-28 którego był członkiem w latach 1992-1996.

Dr. Kowalski jest recenzentem międzynarodowych czasopism Nuclear Instruments and Methods, Applied Radiation and Isotopes poświęconych tematyce detektorów.

Wyniki swoich prac przedstawiał na wielu znanych regularnych międzynarodowych konferencjach poświęconych tematyce detektorów: International Conference on Position Sensitive Detectors, Topical Seminar on Innovative Particle and Radiation Detectors, Frontier Detectors for Frontier Physics (Pisa Meeting on Advanced Detectors), Viena Wire Chamber Conference. W przewodniku nie załączono szczegółowego wykazu wystąpień ale jest adnotacja o „wielokrotnym uczestnictwie z wygłoszonymi referatami”, co pozwala mi uznać iż wygłaszał na nich referaty

Dr. Kowalski prowadzi długoletnią i szeroką działalność dydaktyczną na Akademii Górniczo-Hutniczej obejmującą wykłady z Fizyki Ogólnej (Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu), Detektorów Promieniowania, Detektorów promieniowania w medycynie (na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej), Inżynierii Jądrowej oraz ćwiczenia rachunkowe do wszystkich ww. wykładów. Prowadził dwa wykłady zewnętrzne w Centrum Onkologii w Krakowie „Metody detekcji i dozymetrii promieniowania” oraz na Uniwersytecie Pedagogicznym w Krakowie „Detektory promieniowania”. Opiekował się 17 (!) pracami magisterskimi.

Podsumowując, uważam że przedstawiony cykl publikacji pt. *"Mieszaniny robocze w detektorach gazowych stosowanych w eksperymentach fizyki wysokich energii i mikro-dozymetrii"*, spełnia ustawowe wymogi osiągnięcia habilitacyjnego zarówno pod względem merytorycznym, jak i formalnym. Fakt ten w połączeniu z dorobkiem naukowym oraz aktywnością dydaktyczną, organizacyjną popularyzatorską oraz

osiągnięciami na polu współpracy międzynarodowej, w pełni uzasadnia ubieganie się o stopień doktora habilitowanego nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka . Wnioskuje zatem o dopuszczenie dr. Tadeusza Kowalskiego do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego

Prof. dr hab.

Piotr Salabura

A handwritten signature in blue ink that reads "Piotr Salabura". The script is cursive and fluid, with the first name "Piotr" and last name "Salabura" clearly legible.