

**Autoreferat
w języku polskim**

*Przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych,
w szczególności określonych w art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r.*

Dr Aneta Malinowska

Zakład Badań Plazmy (TJ5)
Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ)
Otwock, 2016

3. Autoreferat w języku polskim

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe	3
3. Przebieg pracy zawodowej	3
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego dzieło opublikowane w całości	4
4.1. Wykaz opublikowanego cyklu artykułów stanowiących osiągnięcie naukowe	4
4.2. Cel i znaczenie badań	7
4.3. Omówienie wyników	8
4.3.1. Spektrometryczna analiza cząstek naładowanych przy użyciu dielektrycznego detektora śladowego	8
4.3.2. Zastosowanie dielektrycznego detektora śladowego	16
4.4. Podsumowanie	26
5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze	27
5.1. Działalność prowadzona przed doktoratem	27
5.2. Działalność prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora	28

3. Autoreferat w języku polskim

1. Imię i nazwisko

ANETA MALINOWSKA (z d. Banaszak)

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Doktorat	2008	doktor nauk fizycznych w zakresie fizyki Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ), poprzednio Instytut Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana, rozprawa doktorska pt. „ <i>Badanie emisji protonów reakcji syntezy emitowanych z układu typu plasma focus</i> “. promotor: Prof. Dr hab. Marek Sadowski recenzenci: Prof. dr hab. Zbigniew Kłos Dr hab. Jerzy Wołowski.
Wyższe	1999	magister inżynier fizyki specjalność: fizyka ciała stałego Wydział Elektryczny Politechniki Szczecińskiej, praca magisterska pt. „ <i>Sezonowe zmiany współczynnika osłabiania światła w wybranych punktach Odry</i> “ promotor: Barbara Pawlak
	1997	licencjat z fizyki specjalność nauczycielska Wydział Fizyki Uniwersytetu Szczecińskiego praca licencyjna pt. „ <i>Analogie w Szkolnym Kursie Fizyki</i> “ promotor: Tadeusz Molenda
Średnie	1994	Liceum Ogólnokształcące, Gorzów Wielkopolski.

3. Przebieg pracy zawodowej

15.X.2008 – do dziś	adiunkt, Zakład Badań Plazmy, Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ), poprzednio Instytut Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana, Otwock.
28.IX.2004-14.X.2008	fizyk, Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ), poprzednio Instytut Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana, Otwock.
1.X.1999-27.IX.2004	studia doktoranckie, Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ), poprzednio Instytut Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana, Otwock.

3. Autoreferat w języku polskim

4. Osiągnięcie będące podstawą o ubieganie się o stopień doktora habilitowanego

Osiągnięciem naukowym wynikającym z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 ze zm.) jest jednotematyczny cykl publikacji pt.:

SPEKTROMETRYCZNA ANALIZA CZĄSTEK NAŁADOWANYCH PRZY UŻYCIU DIELEKTRYCZNEGO DETEKTORA ŚLADOWEGO I JEGO ZASTOSOWANIE W EKSPERYMENTACH FIZYCZNYCH ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM BADAŃ REAKCJI JĄDROWYCH ZACHODZĄCYCH W PLAZMIE.

4.1. Wykaz opublikowanego cyklu artykułów stanowiących osiągnięcie naukowe

Osiągnięcie naukowe stanowi jednotematyczny cykl jedenastu publikacji. Prace opublikowane zostały w recenzowanych czasopismach o obiegu międzynarodowym:

- [B1] **A. Malinowska**, A. Szydłowski, M. Jaskóła, A. Korman, B. Sartowska, M.J. Sadowski, J. Badziak, J. Żebrowski, *Calibration and application of modern track detectors CR-39/PM355 in nuclear physics and high temperature plasma experiments*, **Nukleonika** **53** (2008) S15 – S19.
- [B2] **A. Malinowska**, A. Szydłowski, K. Malinowski, M.J. Sadowski, J. Żebrowski, M. Scholz, M. Paduch, E. Zielińska, M. Jaskóła, A. Korman, *Application of SSNTDs for measurements of fusion reaction products in high-temperature plasma experiment*, **Rad. Meas.** **44** (2009) 878 – 880.
- [B3] **A. Malinowska**, A. Szydłowski, M. Jaskóła, A. Korman, K. Malinowski, M. Kuk: *Calibration of new batches and a study of applications of nuclear track detectors under harsh condition of nuclear fusion experiments*, **Nucl. Instr. & Meth. B** **281** (2012) 56 - 63.
- [B4] **A. Malinowska**, A. Szydłowski, M. Jaskóła, A. Korman, *Influence of high temperature on solid state nuclear track detector parameters*, **Rev. Sci. Instrum.** **83**, (2012) 093502-1 – 093502-4.
- [B5] **A. Malinowska**, A. Szydłowski, M. Jaskóła, A. Korman, B. Sartowska, T. Kuehn, M. Kuk, *Investigations of protons passing through the CR-39/PM-355 type of Solid State Nuclear Track Detectors*, **Rev. Sci. Instrum.** **84** (2013) 073511 – 073515.
- [B6] A. Picciotto, D. Margarone, A. Velyhan, P. Bellutti, J. Krasa, A. Szydłowski, G. Bertuccio, Y. Shi, A. Mangione, J. Prokupek, **A. Malinowska**, J. Ullschmied, G. Korn, *Boron-Proton Nuclear Fusion Enhancement induced in silicon targets by Low Contrast Pulsed Laser*, **Phys. Rev. X.** **4** (2014) 031030-1 – 031030-8.

3. Autoreferat w języku polskim

- [B7] **A. Malinowska**, M. Jaskóła, A. Korman, A. Szydłowski, M. Kuk, *Characterization of solid state nuclear track detectors of the polyallyl-diglicol-carbonate (CR-39/PM-355) for light charged particle spectroscopy*, **Rev. Sci. Instrum.** **85** (2014) 123505 – 123508.
- [B8] D. Margarone, A. Picciotto, A. Velyhan, J. Krasa, M. Kucharik, A. Mangione, A. Szydłowski, **A. Malinowska**, G. Bertuccio, Y. Shi, M. Crivellari, J. Ullschmied, P. Bellutti, G. Korn, *Advanced scheme for high-yield laser driven nuclear reactions*, **Plasma Phys. Control. Fusion** **57** (2015) 014030-1 – 014030-7.
- [B9] **A. Malinowska**, M. Jaskóła, A. Korman, A. Szydłowski, M. Kuk, *Charged projectile spectrometry using the CR-39/PM-355 type of Solid State Nuclear Track Detector*, **Nukleonika** **60** (2015) 591 – 596.
- [B10] A. Szydłowski, **A. Malinowska**, M. Jaskóła, K. Szewczak, A. Korman, M. Paduch, M. Kuk, *Influence of soft X-ray radiation on the parameters of tracks induced in CR-39 and PM-355 solid state nuclear track detectors*, **Rad. Meas.** **83** (2015) 26 – 30.
- [B11] **A. Malinowska**, M. Jaskóła, A. Korman, A. Szydłowski, K. Malinowski, M. Kuk, *Change in the sensitivity of PM-355 track detectors for protons after long – term storage*, **Rad. Meas.** **93** (2016) 55 – 59.

Opisowy i procentowy udział, który określa wkład habilitanta w powstanie wyżej wymienionych publikacji przedstawione zostały w załączniku nr. 7 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych w języku polskim wraz z opisem własnego wkładu oraz procentowego udziału”. W załączniku nr 6 przedstawiono szczegółowy wykaz cytowań niniejszych prac pt. „Wykaz cytowań publikacji według bazy Web of Science z dn. 1.12.2016r.

Oświadczenia współautorów określających indywidualny wkład każdego z nich w powstanie wyżej wymienionych publikacji załączone zostały w załączniku nr 5 pt. „Oświadczenia współautorów”.

3. Autoreferat w języku polskim

Przedstawione wyżej wyniki zebrane zostały w latach 2008-2016 i przyczyniło się do tego wiele osób, za co wszystkim serdecznie dziękuję. Szczególne podziękowanie za chęci oraz sposób, w jakim przekazywali swoją wiedzę i doświadczenie składam prof. Marianowi Jaskóle oraz dr hab. Adamowi Szydłowskiemu.

3. Autoreferat w języku polskim

4.2. CEL I ZNACZENIE BADAŃ

Jednym z najbardziej rozwijanych obecnie programów Unii Europejskiej o dużym potencjale innowacyjności są badania prowadzone nad energetyką termojądrową. Zakłada się, że w przeciągu kilkunastu lat powstaną pierwsze prototypy reaktora termojądrowego. Cała rozwijająca się gospodarka w Polsce i na świecie, uzależniona jest od różnych źródeł energii. Obecne zapotrzebowanie na energię zaspokajają głównie paliwa kopalne (ropa naftowa, węgiel i gaz ziemny), które stanowią 80% całkowitego zużycia energii. Jednakże zasoby ropy naftowej i gazu ziemnego stopniowo wyczerpują się, są coraz droższe, a ponadto w znacznym stopniu przyczyniają się do emisji gazów powodujących efekt cieplarniany. Wiadomym jest iż, zapotrzebowanie na energię ciągle rośnie, przewiduje się że może wzrosnąć dwukrotnie w ciągu najbliższych 50 lat, głównie ze względu na wzrost populacji ludności a także wzrost zamożności społeczeństw krajów rozwijających się, co może doprowadzić do kryzysu energetycznego. Szczególne znaczenie dla zapewnienia w przyszłości wydajnego i bezpiecznego dla ludności, a także środowiska, źródła energii będzie miała energetyka termojądrowa wykorzystująca energię wydzielaną w wyniku syntezy termojądrowej takich izotopów wodoru jak deuter oraz tryt. Z reakcji syntezy będzie można uzyskać dużo więcej energii niż z rozszczepienia ciężkich jader, wykorzystując do tego bogate i ogólnie dostępne złoża surowców naturalnych, jakimi są woda zawierająca deuter i lit służący do wytwarzania trytu.

REAKCJE SYNTEZY JĄDROWEJ

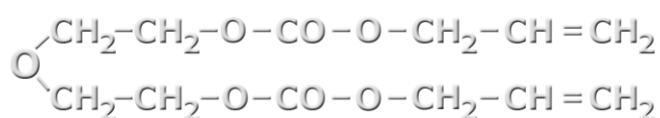
Reakcje	Wyzwolona energia (MeV)
$D + D \begin{cases} \rightarrow {}^3\text{He} (0,82) + n (2,45) \\ \rightarrow T (1,00) + p (3,03) \end{cases}$	3,27 4,03
$D + T \longrightarrow {}^4\text{He} (3,52) + n (14,08)$	17,60
$D + {}^3\text{He} \longrightarrow {}^4\text{He} (3,70) + p (14,70)$	18,40

Produktem ubocznym syntezy termojądrowej jest hel, który nie zanieczyszcza środowiska. W reakcji syntezy nie są produkowane długożyciowe izotopy promieniotwórcze. Radioaktywny tryt wykorzystywany, jako paliwo rozpada się stosunkowo szybko (czas połowicznego zaniku wynosi $T_{1/2}=12.33$ y), a w trakcie jego rozpadu emitowane jest promieniowanie beta (elektrony o bardzo niskiej energii). Ponieważ tryt produkowany jest w samym reaktorze, nie ma, więc potrzeby dostarczania tego surowca z zewnątrz do elektrowni. Zużycie paliwa będzie bardzo małe. Aby wytworzyć 7 miliardów kWh energii, elektrownia o mocy 1 GW będzie potrzebowała około 100 kg deuteru i 3 tony litu. Rocznie dla przykładu do wyprodukowania tej samej ilości energii przez tradycyjną elektrownie węglową potrzebne jest około 1,5 mln ton tego surowca.

3. Autoreferat w języku polskim

Znajomość najważniejszych parametrów plazmy takich jak temperatura, gęstość, straty radiacyjne jest bardzo ważna dla zrozumienia zachowania plazmy w różnych układach eksperymentalnych a także z punktu widzenia niezawodności projektowanych w przyszłości urządzeń. Plazma utrzymywana w stalowej komorze posiada ekstremalne parametry, dlatego też konwencjonalne metody pomiaru nie znajdują zastosowania w ich określaniu. Tak, więc opracowywane diagnostyki plazmy mają zwykle charakter innowacyjny i zawsze odnoszą się do procesów fizycznych, z których dopiero czerpie się informacje na temat poszczególnych parametrów. Opracowane i stosowane przez nas metody pomiarów produktów reakcji syntezy są technikami pasywnymi, oznacza to, że wykonując pomiary nie ingerujemy w obszar plazmy, dzięki czemu nie zaburzymy jej stabilności i zachowania. Stosując metody pasywne, informacje o parametrach i zachowaniu się plazmy w konkretnych warunkach uzyskuje się na ogół z analizy promieniowania elektromagnetycznego i cząstek emitowanych z plazmy.

Głównym celem naukowym jest wykazanie, iż dielektryczny detektor śladowy - Polyallyl diglycol carbonate (PADC):



jest bardzo przydatny w badaniach plazmowych przeprowadzanych w różnych układach eksperymentalnych takich np. jak: Tokamak, Stellarator czy układy laserowe, gdyż jest czuły na produkty reakcji syntezy termojądrowej tj. protony, neutrony, trytony czy cząstki alfa emitowane z plazmy wytwarzanej w tych układach oraz na jony pierwotne - z wydajnością równą ~ 100%. Jest on odporny na trudne warunki istniejące w tych urządzeniach, jak wysoka temperatura, wysoka próżnia, silne pola magnetyczne itp.. Są mało wrażliwe na działanie promieniowania elektromagnetycznego, takiego jak promieniowanie UV, X, γ , a także elektrony.

Wykażę, iż fizyka plazmy nie jest jedyną dziedziną, w której stosowane są opisywane detektory. Inne dziedziny nauki i technologii, w których tego typu detektory są wykorzystywane, jako ważne narzędzie badawcze jest fizyka jądrowa, fizyka promieniowania kosmicznego, dozymetria promieniowania jonizującego, geologia, medycyna i ochrona środowiska.

4.3. OMÓWIENIE WYNIKÓW

4.3.1. SPEKTROMETRYCZNA ANALIZA CZĄSTEK NAŁADOWANYCH PRZY UŻYCIU DIELEKTRYCZNEGO DETEKTORA ŚLADOWEGO

Przy doborze odpowiedniego detektora do pomiarów pierwotnych jonów i produktów reakcji jądrowych, należy zwrócić uwagę na fakt, czy będzie on spełniał swoje zadanie w „trudnych” warunkach eksperymentów plazmowych takich jak: próżnia, wysoka temperatura, silne pola magnetyczne, silne promieniowanie tła – głównie promieniowanie gamma i neutronowe, itp. Dla przykładu jednymi z często stosowanych detektorów do pomiarów cząstek naładowanych są detektory półprzewodnikowe, np. detektor krzemowy i coraz częściej stosowany detektor diamentowy. Detektory półprzewodnikowe charakteryzują się dobrą energetyczną zdolnością rozdzielczą (około 10 keV) oraz czasową zdolnością rozdzielczą około 10 ns. W praktyce jednak w osiągnięciu dobrej zdolności rozdzielczej przeszkadza silne promieniowanie X. Kolejną niedogodnością jest fakt, iż przy badaniach intensywnych strumieni jonów, detektor „nie nadąża” ze zliczeniem sygnałów. Alternatywą w pomiarach cząstek naładowanych

3. Autoreferat w języku polskim

okazały się dielektryczne detektory śladowe (NTD). Przejście cząstki naładowanej przez taki materiał powoduje powstanie obszaru zakłóconego o zwiększonej reaktywności chemicznej rozciągającej się wzdłuż toru cząstki o rozmiarach rzędu 50 Å. Ślady te są widoczne przy użyciu mikroskopu elektronowego pod dużym powiększeniem. Jednak po odpowiedniej obróbce chemicznej, można je także obserwować pod mikroskopem optycznym. Pewne specyficzne właściwości, takie np. jak niskie koszty produkcji, duża wydajność rejestracji ciężkich cząstek naładowanych (prawie 100%), mała wrażliwość na promieniowanie elektromagnetyczne i prędkie elektrony, oraz fakt, że pomiary naładowanych cząstek dielektrycznymi detektorami śladowymi nie są zakłócane przez promieniowanie elektromagnetyczne (X , γ) i zakłócenia E-M intensywnie emitowane przez każde urządzenie plazmowe spowodowały, że zainteresowanie tego typu detektorami w ostatnich latach znacząco wzrosło. NTD znalazły znaczące zastosowanie w badaniach prędkich jonów emitowanych z gorącej plazmy wytwarzanej np. w tokamakach, czy plazmy generowanej impulsem laserowym itp. Jedynymi wadami tego typu detektorów jest ich długa obróbka oraz co istotniejsze, w niektórych eksperymentach, brak rozdzielczości czasowej.

W naszym laboratorium badania właściwości dielektrycznego detektora śladowego typu CR-39/PM-355 prowadzone są od kilkunastu lat, dzięki czemu udało nam się zebrać bardzo dużą ilość danych, opisujących zarówno właściwości jak i ocenić przydatność tego typu detektorów do spektrometrycznej analizy prędkich cząstek naładowanych. Przeprowadzane prace miały na celu wykazanie, iż dielektryczny detektor śladowy typu CR-39/PM-355 może być stosowany do pomiarów cząstek naładowanych w szerokim zakresie ich energii od kilkudziesięciu kiloelektronowoltów do kilku megaelektronowoltów. Detektor ten wybrano, jako najbardziej czuły na ciężkie jony, a wykonane pomiary testowe miały umożliwić ocenę możliwości jego zastosowania w pomiarach spektrometrycznych, w których wyznaczany jest rodzaj i energia cząstki. Tego typu pomiary często wykonywane są na dużych urządzeniach plazmowych, w których detektory umieszczane są wewnątrz komory próżniowej (pod ciśnieniem dochodzącym nawet do \sim kilku Tr, w zależności od rodzaju układu eksperymentalnego), a informacje o rejestrowanych cząstkach (prędkich jonach) uzyskiwane są np. na podstawie wielkości zarejestrowanych śladów.

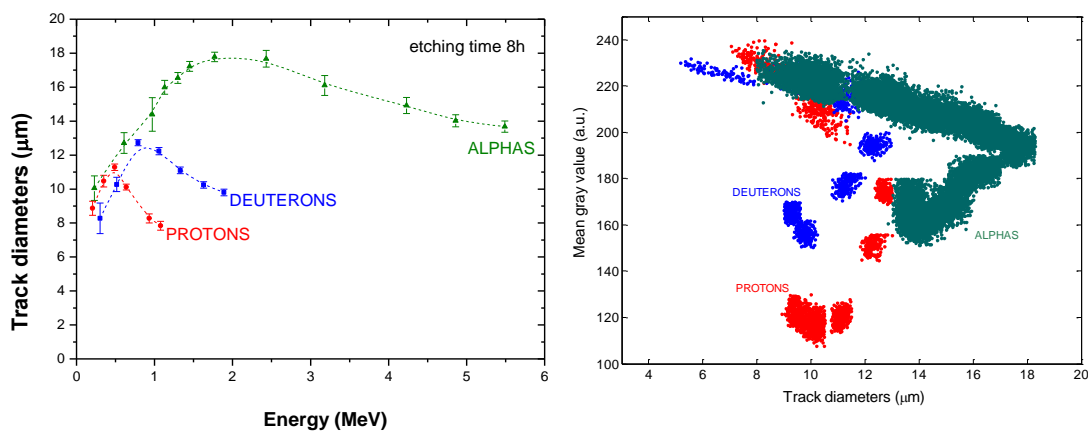
Efektom wykonanych prac było ponadto wyznaczenie czułości (wrażliwości) badanego detektora na takie czynniki zewnętrzne jak: temperatura otoczenia, promieniowanie X i γ . Wyznaczono i porównano diagramy kalibracyjne detektorów z różnych dostaw (wyprodukowanych w różnym czasie w latach 2000-2013). W ten sposób znaleziono zależność pomiędzy zmianami procesów produkcji a wydajnością rejestracji detektora śladowego. Zbadano również tak zwany „ageing effect” („starzenie” się detektora), tj. zmiany właściwości detektora wywołane wpływem czasu oraz takie parametry jak: V_B , V_T , V_B / V_T .

Aby bardziej efektywnie wykorzystać dielektryczny detektor śladowy w eksperymentach fizycznych (plazmowych) przyjęliśmy zasadę, że detektor taki zostaje najpierw wykalibrowany z wykorzystaniem mono-energetycznych jonów z akceleratora. Wykonuje się kilkanaście ekspozycji z tym, że kolejne próbki naświetlane są cząstkami naładowanymi o energii wyższej o kilkadziesiąt keV, niż próbki poprzednie w danym zakresie energetycznym. Zogniskowaną do średnicy dwóch milimetrów wiązkę pierwotną rozprasza się na cienkiej folii (C, Au lub Al), która umieszczana jest naprzeciw wiązki padającej, w celu zmniejszenia gęstości strumienia cząstek na powierzchni detektora. Symetrycznie do detektorów śladowych umieszcza się detektor półprzewodnikowy krzemowy (Si), który służy do określenia „monoenergetyczności” cząstek rozproszonych na folii. Aby powiększyć ślady pierwotne do takich rozmiarów, aby były widoczne pod mikroskopem optycznym (powiększenie $\times 1000$) detektor dielektryczny po naświetleniu, wytrawiany jest w wodnym roztworze odpowiedniego

3. Autoreferat w języku polskim

związku chemicznego. W przypadku detektorów plastikowych jest to na ogół roztwór NaOH lub KOH. Do wytrawiania detektorów stosuje się wyżej wymienione roztwory o różnej koncentracji i temperaturze. Istotne jest, aby dobrać takie warunki trawienia, w których rozmiary uzyskanych śladów będą silnie zależały od rodzaju rejestrowanej cząstki i jej energii. Stosowane w naszym laboratorium próbki detektora CR-39/PM-355 trawi się w wodnym roztworze NaOH o stężeniu 6N (125 gramów NaOH na 0.5 litrów wody dejonizowanej) w temperaturze 70°C. Analizę otrzymanych śladów pod względem jakościowym i ilościowym, dokonuje się za pomocą mikroskopu optycznego, który poprzez kamerę CCD (Nikon DS.-Fi2, 5.24 Mpix) sprzężony był z komputerem wyposażonym w odpowiednie oprogramowanie NIS firmy Nikon (Nikon – NIS – Elements BR 4.00.03 – 64 bit).

Wyzaczyłam szereg tzw. krzywych kalibracyjnych, naświetlając nowo zakupione detektory głównie takimi cząstkami jak np. (H^+ , D^+ , 4He). Krzywe kalibracyjne prezentują rozmiary kraterów wytworzonych przez rejestrowane cząstki w zależności od energii tych cząstek oraz od czasu trawienia detektora [B1], [B3], [B7], [B9], [B11]. Cechą charakterystyczną dielektrycznego detektora śladowego jest to, że średnice śladów przedstawione w funkcji energii jonu narastają do określonego maksimum, po czym następuje monotoniczny ich spadek w miarę jak wzrasta wielkość energii rejestrowanego jonu. Taki charakter tzw. krzywych kalibracyjnych określony jest przez zdolność jonizującą cząstki, jej zasięg w materiale detektora i przez grubość warstwy zewnętrznej detektora usuniętej po wybranym czasie trawienia i jest zbliżony do krzywej Bragga. Rysunek 1 (lewa strona) przedstawia przykład krzywych kalibracyjnych wyznaczonych dla protonów, deuteronów oraz cząstek alfa.



Rys. 1. Zmiany średnic śladów w funkcji energii rejestrowanych cząstek. Dwu-wymiarowy rozkład średniej wartości szarości w funkcji średnic śladów.

Jak widać z powyższego diagramu w obszarze energii 0 – 1 MeV, diagramy kalibracyjne, które przedstawiają średnice śladów w funkcji energii cząstki (p, d, α) i czasu trawienia detektora, mają charakterystyczne maksima. Znaczący to, że wyznaczając jedynie średnicę śladu nie można jednoznacznie określić czy analizowany ślad utworzyła cząstka o niższej energii (przed maksimum) czy o energii wyższej (za maksimum) krzywej kalibracyjnej. Biorąc pod uwagę, tę dwuznaczność można stwierdzić, że pomiar średnicy śladu nie wystarczy, aby określić energię rejestrowanej cząstki. W celu ominięcia tej dwuznaczności, wykonałam dodatkową analizę tzw. poziomu szarości śladu „mean gray level” (Rys.1 po prawej stronie) [B7], [B9]. Parametr ten w przybliżeniu określa ilość światła transmitowanego przez wgłębienie w detektorze powstałe w wyniku zarejestrowania śladu wtedy, gdy detektor skanowany jest pod mikroskopem optycznym. Tzw. „mean gray level” oznacza średnią

3. Autoreferat w języku polskim

wartość poziomu szarości w ośmiobitowej skali koloru (0–czarny – 255–biały). Parametr ten został wyznaczony wcześniej przez innych autorów, jak wynika z przeglądu literatury, dla śladów utworzonych przez cząstki alfa, jednak po raz pierwszy wyznaczyłam ten parametr dla śladów utworzonych w detektorze CR-39/PM-355 przez protony i deuterony. Dysponując dwoma parametrami tzn. średnicą śladu wyznaczoną z krzywych kalibracyjnych (opisanych powyżej) oraz wielkością „mean gray level” można jednoznacznie określić energię tej cząstki, która wygenerowała obserwowany ślad. Z uzyskanych danych (znajomości tych dwóch parametrów) oszacowałam, iż zdolność energetyczna detektora CR-39/PM-355 stosowanego do analizy lekkich jonów (p, d, α) zbliżona jest do wartości $\Delta E \sim 50$ keV. Uzyskane wyniki są bardzo ważne, szczególnie dla eksperymentów plazmowych, gdyż w większości z nich zarówno protony, deuterony jak również cząstki α analizowane są w pierwszej kolejności.

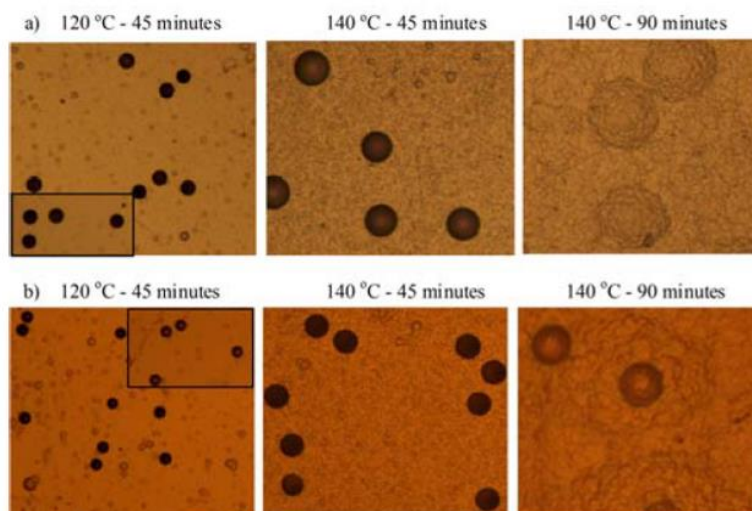
Wydajność rejestracji detektora śladowego typu CR-39/PM-355 określiłam na podstawie wyznaczonej gęstości powierzchniowej śladów (tj. ilości śladów widocznych na jednostkowej powierzchni detektora). Używając dielektrycznego detektora śladowego typu CR-39/PM-355 jesteśmy w stanie określić strumień cząstek o wielkości do 5×10^7 cząstek/cm², przy czym, wyniki przeprowadzonych pomiarów wskazują, że przy optymalnych warunkach trawienia wydajność rejestracji stosowanego detektora wynosi $\sim 100\%$. Wielkość taką uzyskano biorąc pod uwagę liczbę zliczeń krzemowego detektora półprzewodnikowego, który stosowany był, jako monitor strumienia i widma energetycznego jonów emitowanych z akceleratora, którymi naświetlano detektor CR-39/PM-355. Oszacowana wielkość wydajności rejestracji nie zależała od rodzaju i energii badanych cząstek w dość szerokim zakresie ich energii (dla protonów np. w przedziale energii od 0.1 do ~ 8 MeV). Wyniki badań wskazują, więc na szeroką możliwość zastosowania detektora CR-39/PM-355 w wielu dziedzinach nauki i techniki.

Zbadałam również czy własności detekcyjne detektora CR-39/PM-355 różnią się w zależności od serii produkcji (brak informacji producenta o szczegółowych procesach produkcji detektorów) czyli tego kiedy został zakupiony, tzn. czy zależą od zmian procesów produkcji detektorów [B3]. Ze względu na to, że kalibrowaliśmy każdą nowo zakupioną partię detektorów i zebraliśmy wiele krzywych kalibracyjnych (od 1990 roku), odpowiedź nie sprawiała większych trudności. Porównywano krzywe kalibracyjne dla tych samych cząstek i okazało się, że np. detektor zakupiony i wykalibrowany w 2010 wykazywał ślady o średnicach o około 30% większych niż te, które obserwowano w detektorach zakupionych i naświetlonych cząstkami d, p, α , wcześniej. Ta różnica była najbardziej widoczna w przypadku śladów pozostawionych przez cząstki α . Można przypuszczać, że stosowane były różne procedury produkcyjne, o których ze względu na tajemnice patentowe producent nie informuje. Wynika z tego, że każdą nowo zakupioną partię detektorów śladowych typu CR-39/PM-355 przed ich użyciem w eksperymencie, należy precyzyjnie wykalibrować dla cząstek, które będą analizowane w danym eksperymencie. Zauważono, że wraz ze wzrostem średnic śladów rośnie również tzw. zredukowana prędkość trawienia detektora, czyli funkcja czułości $V = V_T/V_B$, którą określono, jako iloraz prędkości trawienia wzdłuż osi śladu V_T do prędkości trawienia nienaświetlonej powierzchni detektora V_B . Wykazałam, iż prędkość trawienia powierzchni detektora nie zmienia się znacząco (od 1,5 do 1,65 $\mu\text{m/h}$) dla partii zakupionego detektora, w związku z tym parametr ten nie może być decydującym wyznacznikiem czułości detektora.

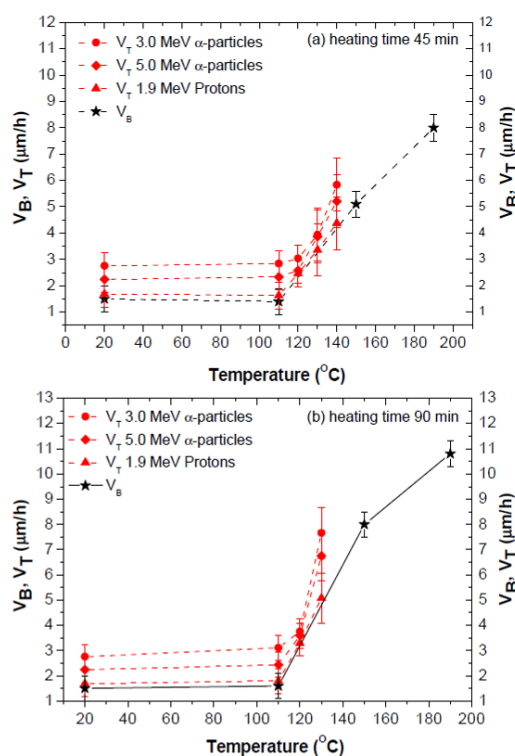
Wyznaczyłam również wpływ temperatury na właściwości detekcyjne detektora CR-39/PM-355 [B4]. Z przeprowadzonych pomiarów wynika, iż kraterki pozostawione przez cząstki naładowane w detektorze CR-39/PM-355 nie zmieniają swoich rozmiarów w temperaturach do 120°C bez względu na czas przetrzymywania próbki detektora w określonej temperaturze. Powyżej 120°C następuje deformacja detektora, a średnice kraterów diametralnie rosną. W

3. Autoreferat w języku polskim

temperaturach powyżej 180°C następuje natomiast całkowity zanik obserwowanych kraterów Rys.2. Spowodowane jest to wzrostem prędkości trawienia powierzchni detektora V_B , która zrównuje się z prędkością trawienia wzdłuż osi śladu V_T dla badanego detektora śladowego. Już w temperaturze powyżej 120°C wartość współczynnika V_T staje się równa współczynnikowi V_B , oznacza to, że funkcja czułości V określana, jako $V = V_T/V_B$ dąży do jedności i zarejestrowane ślady w detektorze śladowym nie zależnie od rodzaju cząstek, zanikają (Rys. 3).



Rys. 2. Przykładowe zdjęcia kraterów: a) 3.0 MeV cząstek alfa oraz b) 5.0 MeV cząstek alfa; po czasie trawienia 5h.



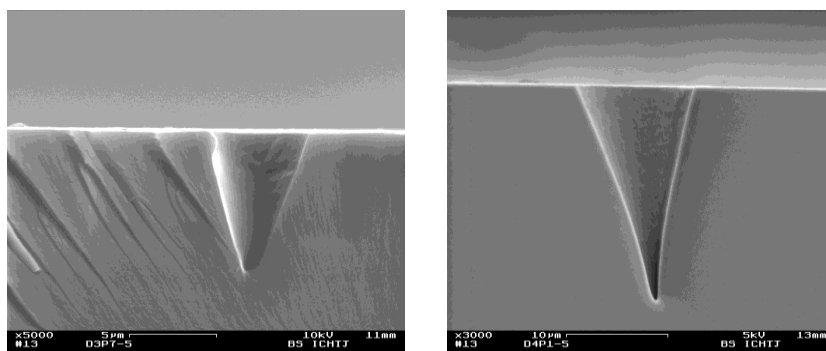
Rys. 3. Wyznaczone współczynniki szybkości trawienia V_B oraz V_T dla różnych czasów wygrzewania detektora śladowego typu CR-39/PM-355.

3. Autoreferat w języku polskim

Omawiana funkcja czułości V uzyskana została na podstawie zmierzonych średnic śladów w funkcji czasu trawienia $D(t)$. Prędkość trawienia wzdłuż osi śladów pozostawionych przez cząstki naładowane V_T wyznaczona została ze standardowej formuły zaproponowanej przez R. Fleischer (1975):

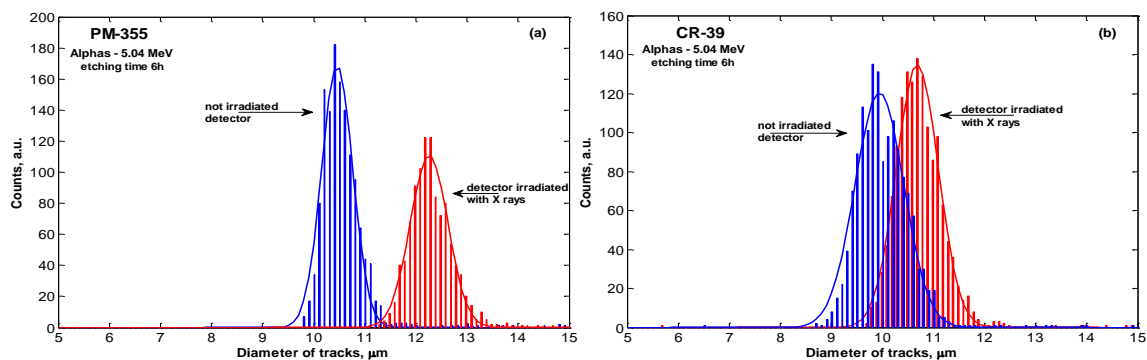
$$V_T = V_B \frac{1 + (D(t)/2 \cdot V_B \cdot t)^2}{1 - (D(t)/2 \cdot V_B \cdot t)^2}$$

gdzie: D jest zmierzoną średnicą śladu po czasie trawienia detektora śladowego t . Formuła Fleischera jest słuszna, przy założeniu, że kształt krateru wewnątrz detektora jest stożkowy. Takie założenie zostało przez nas potwierdzone podczas badań profilu kraterów przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) (Rys. 4).



Rys. 4. Przykładowe zdjęcia śladów pozostawionych w detektorze podczas przejścia cząstek alfa o energii 5.5 MeV.

W roku 2014 zbadano również, z dużym moim udziałem, wpływ miękkiego promieniowania X na wielkości śladów wytworzonych w detektorze śladowym przez protony i cząstki α [B10]. Przebadano dwa rodzaje detektora dielektrycznego; powszechnie stosowany w Zakładzie TJ5 detektor PM-355, jak również detektor CR-39 stosowany w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) wyprodukowany przez firmę TASTRAK. Stwierdzono, że w próbkach detektora naświetlonych dodatkowo promieniowaniem X o dawce 1.2 kGy ślady miały średnice wyraźnie większe (do $\sim 30\%$) niż ślady w detektorach nie eksponowanych promieniowaniem X. Znacznie bardziej powiększone były ślady wytworzone przez protony o niższej energii (0.5 MeV) niż te, które wytworzyły protony o energii 1.9 MeV.



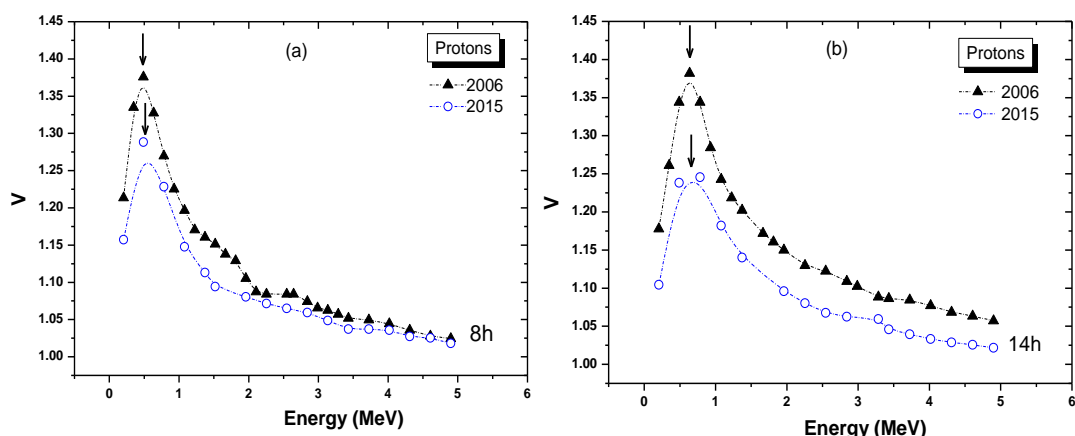
Rys. 5. Przykładowe histogramy średnic śladów zmierzonych w detektorze PM-355 oraz CR-39 (TASTRAK), które najpierw naświetlono cząstkami alfa o energii 5.04 MeV, a potem

3. Autoreferat w języku polskim

promieniowaniem X. Niebieskie histogramy przedstawiają zmierzone średnice śladów bez naświetlania promieniowaniem X.

Detektor CR-39 firmy TASTRAK okazał się znacznie mniej czuły na promieniowanie X niż detektor PM-355 i to w dużej mierze zadecydowało o większym zainteresowaniu z naszej strony, tego typu detektorem dla planowanych eksperymentów plazmowych (Rys. 5). Prace w tym kierunku są kontynuowane.

W jednej z wykonanych ostatnio prac, wyznaczyłam, tak zwany „ageing effect” [B11]. Chodzi o to, jaki wpływ miał długi okres przechowywania (w konkretnych warunkach) naświetlonych detektorów śladowych na wielkość śladów wytrawionych po tym okresie. Najważniejsze konkluzje wynikające z tych badań wskazują, iż funkcja czułości $V = V_T/V_B$ zmierzona dla protonów wykazuje niewielką utratę swojej wielkości o około 1 - 2% rocznie, w czasie przechowywania detektorów w powietrzu o temperaturze pokojowej w przypadku braku światła. Uzyskane wyniki wskazują, iż wielkość parametru V_B związanego z szybkością trawienia powierzchni detektora jest prawie stała, nawet po przechowywaniu przez długi czas (około dziesięciu lat) w powietrzu w temperaturze pokojowej w przypadku odizolowania detektorów od dopływu światła (Rys. 6). Zauważona zmiana czułości prawdopodobnie spowodowana jest tym, iż niektóre łańcuchy polimerowe zerwane przez rejestrowaną cząstkę ulegają samo naprawieniu się (rekombinacji). Efekt ten należy uwzględnić, jeżeli bierze się pod uwagę detektor, trawiony po długim okresie od momentu naświetlania.



Rys. 6. Zmiana funkcji czułości $V = V_T/V_B$ w okresie od 2006 do 2015 dla różnych czasów trawienia detektora.

Wyniki tych prac opublikowano w następujących czasopismach z listy filadelfijskiej:

[B1] **A. Malinowska**, A. Szydłowski, M. Jaskóła, A. Korman, B. Sartowska, M.J. Sadowski, J. Badziak, J. Żebrowski, *Calibration and application of modern track detectors CR-39/PM355 in nuclear physics and high temperature plasma experiments*, Nukleonika 53 (2008) S15 – S19.

[B3] **A. Malinowska**, A. Szydłowski, M. Jaskóła, A. Korman, K. Malinowski, M. Kuk: *Calibration of new batches and a study of*

3. Autoreferat w języku polskim

applications of nuclear track detectors under harsh condition of nuclear fusion experiments, Nucl. Instr. & Meth. B 281 (2012) 56 – 63.

- [B4] **A. Malinowska**, A. Szydłowski, M. Jaskóła, A. Korman, *Influence of high temperature on solid state nuclear track detector parameters, Rev. Sci. Instrum.* 83, (2012) 093502-1 – 093502-4.
- [B5] **A. Malinowska**, A. Szydłowski, M. Jaskóła, A. Korman, B. Sartowska, T. Kuehn, M. Kuk, *Investigations of protons passing through the CR-39/PM-355 type of Solid State Nuclear Track Detectors, Rev. Sci. Instrum.* 84 (2013) 073511 - 073515.
- [B7] **A. Malinowska**, M. Jaskóła, A. Korman, A. Szydłowski, M. Kuk, *Characterization of solid state nuclear track detectors of the polyallyl-diglicol-carbonate (CR-39/PM-355) for light charged particle spectroscopy, Rev. Sci. Instrum.* 85 (2014) 123505 – 123508.
- [B9] **A. Malinowska**, M. Jaskóła, A. Korman, A. Szydłowski, M. Kuk, *Charged projectile spectrometry using the CR-39/PM-355 type of Solid State Nuclear Track Detector, Nukleonika* 60 No3 (2015) 591 – 596.
- [B10] A. Szydłowski, **A. Malinowska**, M. Jaskóła, K. Szewczak, A. Korman, M. Paduch, M. Kuk, *Influence of soft X-ray radiation on the parameters of tracks induced in CR-39 and PM-355 solid state nuclear track detectors, Rad. Meas.* 83 (2015) 26–30.
- [B11] **A. Malinowska**, M. Jaskóła, A. Korman, A. Szydłowski, K. Malinowski, M. Kuk, *Change in the sensitivity of PM-355 track detectors for protons after long – term storage, Rad. Meas.* 93 (2016) 55 –59.

Najważniejsze wyniki były także zaprezentowane na kilku konferencjach:

1. **A. Malinowska**, A. Szydłowski, M. Jaskóła, A. Korman, M. Kuk. Application of SSNTDs for corpuscular diagnostics in plasma experiments. Deformation of craters by heat effects, 25th Int. Conf. on Nuclear Tracks in Solids, 4–9 Sept. 2011, Puebla, Mexico – **Oral**.
2. A. Szydłowski, **A. Malinowska**, M. Jaskóła, A. Korman, M. Kuk. Further investigation of modern SSNTDs, Int. Conf. PLASMA 2011, “Research and Applications of Plasmas”, Sept. 12 – 16, 2011, Warsaw, Poland – **Poster**.
3. **A. Malinowska**, M. Jaskóła, A. Korman, A. Szydłowski, M. Kuk: Characterization of Solid State Nuclear Track Detectors of the CR-39/PM-355 type for light charged particle spectroscopy, 26th Int. Conf. on Nuclear Tracks in Solids, 15-19th Sept. 2014, Kobe, Japan – **Oral**.
4. **A. Malinowska**, M. Jaskóła, A. Korman, A. Szydłowski: Charged projectile spectrometry using the CR-39/PM-355 type of solid state nuclear track detector, NUTECH-2014,

3. Autoreferat w języku polskim

Intern, Conf. on Development and Applications of Nuclear Technology, Warsaw, Poland – **Oral**.

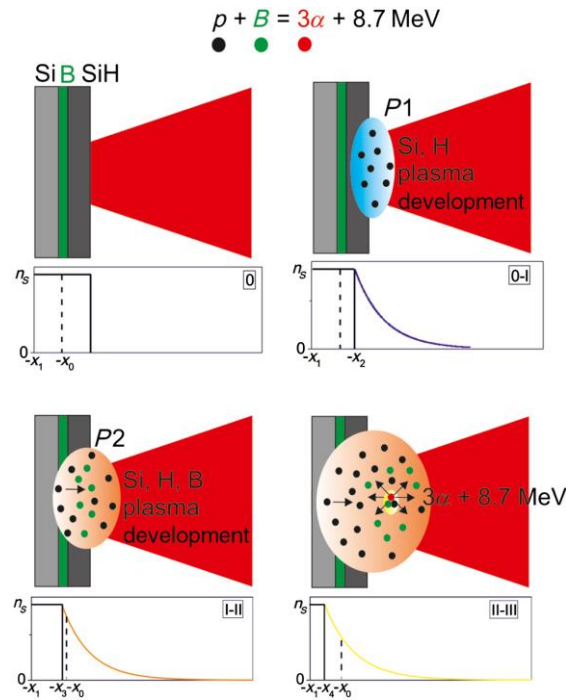
5. A. Szydłowski, **A. Malinowska**, M. Jaskóła, K. Szewczak, A. Korman, M. Paduch: Influence of intense soft X-ray radiation on the parameters of tracks induced in CR-39 and PM-355 solid state nuclear track detectors, 26th Int. Conf. on Nuclear Tracks in Solids, 15-19th Sept. 2014, Kobe, Japan – **Poster**.
6. **A. Malinowska**, M. Jaskóła, A. Szydłowski, „Change in the sensitivity of solid state nuclear track detectors for ions emitted from plasma”; 18th International Conference on the Physics of Highly Charged Ions, 11-16 September 2016, Kielce, Poland – **Poster**.

4.3.2. ZASTOSOWANIE DIELEKTRYCZNEGO DETEKTORA ŚLADOWEGO

Jednym z bardzo ważnych powodów przeprowadzenia wyżej omawianych badań właściwości dielektrycznego detektora śladowego, jest wzrost zainteresowania badaniami nad reakcją $p + {}^{11}\text{B}$ i możliwościami wykorzystania detektorów do tych właśnie badań. Reakcja ta była po raz pierwszy przeprowadzona w 1930 roku przez Oliphanta i Rutherforda. Obecnie obserwujemy ponownie wzrastające zainteresowanie tego typu reakcjami, a to ze względu na możliwość przekazania całej wytworzonej energii syntezy cząstkom alfa bez utraty jej pod postacią energii kinetycznej neutronów. Na bazie tej reakcji syntezy jądrowej rozważana też jest koncepcja zbudowania ultra czystego reaktora jądrowego ("UltraClean reactor"). Pierwsza demonstracja eksperymentalna uzyskania metodami laserowymi opisywanej powyżej reakcji jądrowej przeprowadzona była na pikosekundowym laserze o gęstości mocy wynoszącej $2 \times 10^{18} \text{ W cm}^{-2}$. Wydajność emisji cząstek alfa z tarczy polimerowej wzbogaconej borem po naświetleniu wiązką z takiego lasera wynosiła około 10^3 na steradian. Obecnie w podobnych eksperymentach, w których stosuje się bardziej wyrafinowane układy eksperymentalne, uzyskuje się wydajność rzędu 10^7 na steradian.

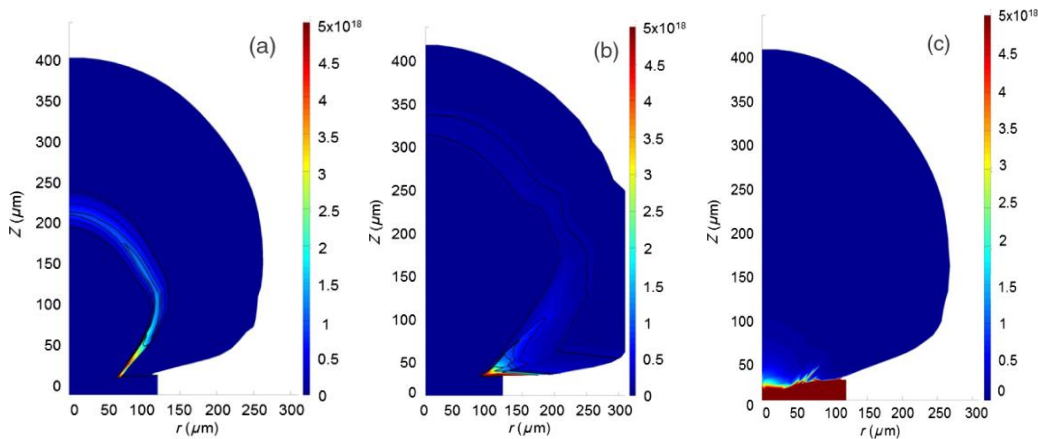
W ostatnim czasie (począwszy od 2013 r.) bierzemy udział w serii eksperymentów wykonywanych przez międzynarodowe zespoły na dużych układach laserowych dostępnych w różnych europejskich krajach (Czechy, Włochy, Polska, Niemcy, Anglia). Istotnym osiągnięciem habilitanta, za co uzyskał wyróżnienie nadane przez komisję Rady Naukowej oraz przez dyrektora Narodowego Centrum Badań Jądrowych, jako „osiągnięcie naukowe w 2014 roku“, było opracowanie wyników i uzyskanie informacji o reakcji $p + {}^{11}\text{B}$ zachodzącej w tarczach krzemowych, w które wcześniej „wdyfundowano” wodór, a następnie implantowano bor. Celem tych eksperymentów jest zbadanie wydajności omawianej reakcji $p + {}^{11}\text{B}$ w zależności od energii i mocy wiązki laserowej a także od rodzaju tarczy, w której reakcja ta jest inicjowana przez promieniowanie laserowe. Sub-nanosekundowe i pikosekundowe impulsy laserowe z dużą efektywnością generowały wiązkę energetycznych protonów, które z kolei mogą indukować w chmurze ablacyjnej przy tarczy krzemowej reakcję $p + {}^{11}\text{B}$ z dużą wydajnością. Nasz Zespół zaangażowany jest w pomiary prędkich protonów i cząstek alfa, które są odpowiednio substratami i produktami badanej reakcji. Pomiary te wykonujemy za pomocą dielektrycznego detektora śladowego typu CR-39/PM-355. Omawiany eksperyment przeprowadzony został na układzie laserowym PALS w Instytucie Fizyki Plazmy (IPP) w Pradze [B6, B8]. Rysunek 7 przedstawia kolejne fazy oddziaływania wiązki laserowej z tarczą krzemową.

3. Autoreferat w języku polskim



Rys. 7. Oddziaływania: Wiązka lasera-tarcza, wiązka lasera-plazma oraz oddziaływanie proton-bor w przedziale czasowym rozpoczynającym się 2-ns przed maksimum natężenia wiązki laserowej.

Rysunek 8 przedstawia przeprowadzoną symulację ekspansji plazmy boronowej.

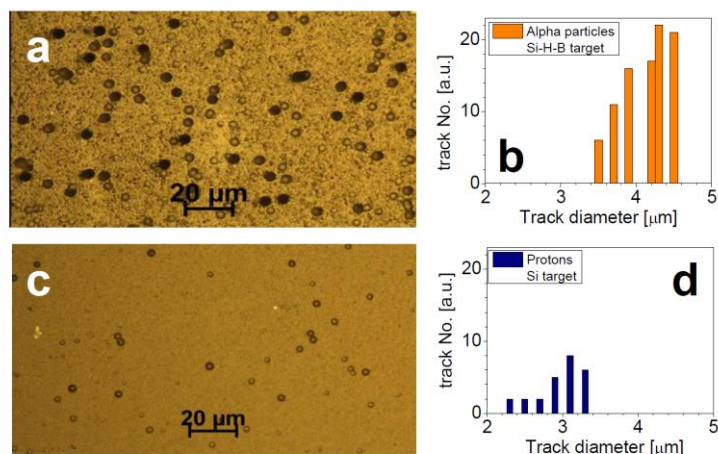


Rys. 8. Symulacja 2D ekspansji (rozchodzenia się) plazmy boronowej (1 – 1.85 ns) po interakcji wiązki laserowej z (a) warstwą B zaimplantowaną w substracie SiH, (b) warstwą B zdeponowaną na substracie SiH oraz (c) warstwą B wdyfundowaną na substracie SiH. Gradient skali po prawej stronie pokazuje gęstość plazmy.

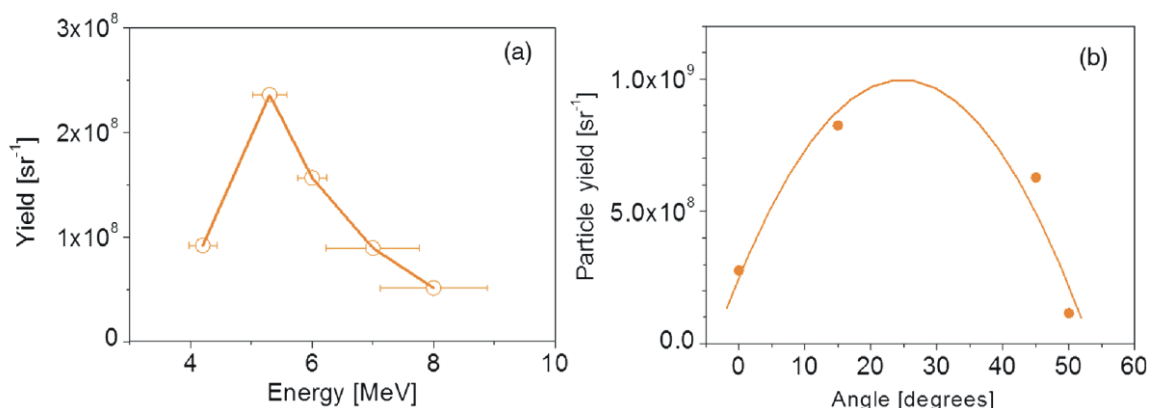
Stosowano trzy rodzaje tarcz krzemowych, z tym że każda z nich została najpierw nasycona wodorem (do gęstości 10^{20} atomów H/cm^3), a następnie wprowadzano do nich atomy boru. W zależności od rodzaju tarczy atomy te wprowadzono metodą dyfuzji (do gęstości 10^{20} atomów B/cm^3), metodą implantacji 50 keV jonów B na głębokość 190 nm (do gęstości 10^{22} atomów na cm^3) oraz napylenia powierzchniowego (do gęstości 10^{20} cm^3). Zarejestrowane w detektorze ślady pochodzących z reakcji $p + {}^{11}\text{B}$ cząstek α rozróżniono od śladów

3. Autoreferat w języku polskim

protonowych na podstawie wyznaczonych wcześniej diagramów kalibracyjnych stosowanego detektora CR-39/PM-355. Diagramy takie uzyskano naświetlając detektor monoenergetycznymi jonami z akceleratora. Wyniki uzyskane za pomocą detektora CR-39 - PM-355 pokazały, że w tarczach, w których jony B zostały zaimplantowane na głębokość około 190 nm zachodziło około 4×10^8 aktów reakcji $p + {}^{11}\text{B}$. Maksymalny strumień cząstek α wynoszący $\sim 10^9$ /steradian, zarejestrowano pod kątem emisji zbliżonym do 0° - w stosunku do prostopadłej do tarczy (Rys. 9). Uzyskana tak rekordowa, jak do tej pory, ilość aktów reakcji związana była z zastosowaniem lasera średniej mocy 2 TW oraz natężeniu 3×10^{16} W/cm^2 .



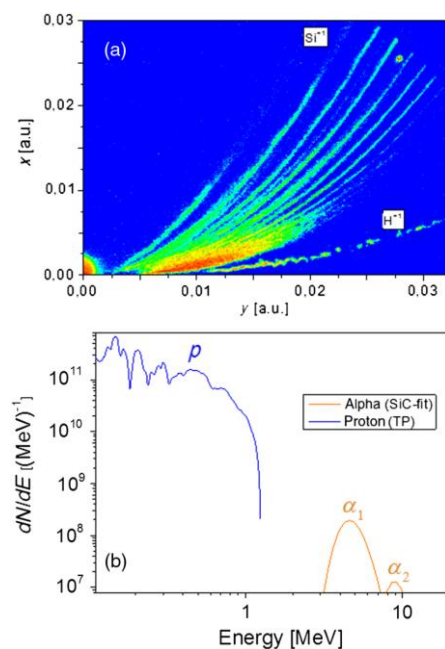
Rys. 9. Przykładowe zdjęcia kraterów pochodzących od protonów oraz cząstek alfa uzyskane dla tarczy Si-H-B (a)(b) oraz samych protonów dla tarczy Si (c)(d).



Rys. 10. Rozkłady: (a) energetyczny; (b) kątowy cząstek alfa, uzyskane za pomocą detektorów śladowych.

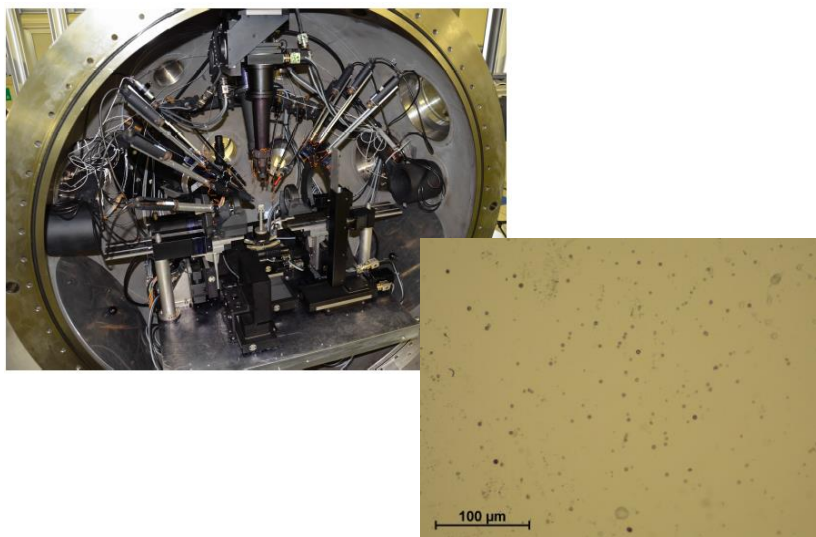
W tarczach, w których jony B wprowadzone zostały metodą dyfuzji impuls laserowy inicjował kilkadziesiąt razy mniej aktów w/w reakcji. Wyniki uzyskane za pomocą detektora dielektrycznego potwierdziły inne uczestniczące w omawianym eksperymencie ekipy badawcze, które stosowały inne techniki pomiarowe. Za pomocą detektora SiC ekipa włoska (z Mediolanu) wyznaczyła (metodą czasu przelotu) widmo energetyczne cząstek α – produktów reakcji $p + {}^{11}\text{B}$. Ekipa czeska potwierdziła emisję w/w cząstek analizując wyemitowane jony przy użyciu spektrometru Thomsona (Rys. 11).

3. Autoreferat w języku polskim



Rys. 11. Przykładowy spektrogram akcelerowanych protonów oraz ciężkich jonów plazmy. Rozkład energetyczny protonów uzyskany ze spektrometru Thomsona oraz dla porównania widmo cząstek alfa zarejestrowanych za pomocą diagnostyki TOF.

Wyznaczona liczba aktów reakcji $p + {}^{11}\text{B}$ jest rekordowa (4×10^8) nawet, jeżeli porówna się ją z liczbami reakcji uzyskanymi w innych eksperymentach, w których stosowano lasery o dużo większych gęstościach mocy. W laboratorium ENEA we Frascati gdzie przeprowadziliśmy wstępne pomiary produktów reakcji $p + {}^{11}\text{B}$ zaobserwowano o kilka rzędów wielkości mniej aktów reakcji (Rys. 12).



Rys. 12. Przykładowe zdjęcia układu laserowego ABC oraz zdjęcie kraterów pochodzących od protonów, których liczbę oszacowano na 3×10^7 cząstek/steradian.

Aby potwierdzić wyżej zaprezentowane wyniki, planowane są dalsze eksperymenty, w których badana będzie reakcja $p + {}^{11}\text{B}$ i jej produkty na innych dużych układach laserowych, takich jak np. PHYLIX w GSI w Niemczech czy ABC w laboratorium ENEA we Frascati.

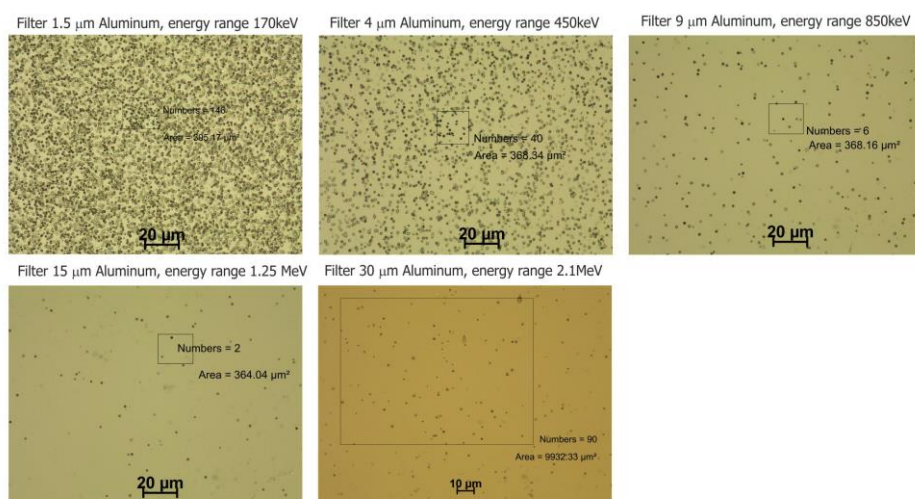
3. Autoreferat w języku polskim

W Laboratorium laserów wysokiej mocy w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy (Rys. 13), prowadzone są badania, z udziałem habilitanta, wpływu oddziaływania wysokiej mocy wiązek laserowych z plazmą [1]. Polega to na zbadaniu dwóch głównych obszarów tematycznych związanych z generacją ultra-krótkich impulsów promieniowania rentgenowskiego oraz laserowej akceleracji jonów.



Rys. 13. Laboratorium femto-sekundowego układu laserowego w IFPiLM, Warszawa.

Prace przeprowadzane nad femto-sekundowymi układami laserowymi związane są głównie z badaniami zjawisk fizycznych obserwowanych w eksperymentach nad inercyjnym utrzymaniem plazmy, akceleracji jonów, foto indukcyjne modyfikacje materiałów pod wpływem ultra krótkich wiązek laserowych, itp.. Widma energetyczne prędkich jonów (protonów) emitowanych z plazmy były zmierzone za pomocą dwóch rodzajów detektorów: detektora SiC (węgiel krzemu) w zakresie wysokich energii oraz detektora IC (kolektory jonów) w zakresie niskich energii. Używając obydwu detektorów pomiary przeprowadzane były metodą czasu przelotu (TOF) uzyskując w ten sposób widma jonów.



Rys. 14. Przykładowe zdjęcia śladów jonów generowanych przez wiązkę lasera femto-sekundowego i zarejestrowanych na detektorze CR-39/PM-355 maskowanym przez folię Al. o różnych grubościach.

Za pomocą dielektrycznych detektorów śladowych typu PM-355 a dokładnie z metody absorpcyjnej (stosowanie folii o różnej grubości) również uzyskuje się informacje o widmie jonów rys.14. W przypadku omawianego eksperymentu zastosowanie folii o odpowiedniej grubości pozwoliło zmierzyć widmo z zakresu od 170 keV do 2.1 MeV. Zastosowanie

3. Autoreferat w języku polskim

omawianego detektora śladowego pozwoliło oszacować widmo energetyczne emitowanych jonów z plazmy oraz potwierdzić dane uzyskane z innych diagnostyk (detektora SiC) na temat występowania jonów z zakresu wyższych energii to znaczy powyżej 2.1 MeV.

Wyniki tych prac opublikowano w czasopismach z listy filadelfijskiej:

- [B6] A. Picciotto, D. Margarone, A. Velyhan, P. Bellutti, J. Krasa, A. Szydłowski, G. Bertuccio, Y. Shi, A. Mangione, J. Prokupek, **A. Malinowska**, J. Ullschmied, G. Korn, *Boron-Proton Nuclear Fusion Enhancement induced in silicon targets by Low Contrast Pulsed Laser*, Phys. Rev. X. 4 (2014) 031030-1 – 031030-8.
- [B8] D. Margarone, A. Picciotto, A. Velyhan, J. Krasa, M. Kucharik, A. Mangione, A. Szydłowski, **A. Malinowska**, G. Bertuccio, Y. Shi, M. Crivellari, J. Ullschmied, P. Bellutti, G. Korn, *Advanced scheme for high-yield laser driven nuclear reactions*, Plasma Phys. Control. Fusion 57 (2015) 014030-1 – 014030-7.
1. M. Rosiński, J. Badziak, P. Parys, A. Zaras-Szydłowska, L. Ryć, L. Torrissi, A. Szydłowski, **A. Malinowska**, B. Kaczmarczyk, J. Makowski, A. Torrissi, *Acceleration of protons in plasma produced from a thin plastic or aluminum target by a femtosecond laser*, J. Instrum. 11 (2016) CO5017-1 – CO5017-8.

oraz zaprezentowano na konferencji:

1. D.Margarone, A.Picciotto, V.Velyhan, J.Krasa, M.Kucharik, M.Morrissey, A.Mangione, A.Szydłowski, **A.Malinowska**, G.Bertuccio, Y.Shi, M.Crivellari, J.Ullschmied, P.Bellutti, G.Korn. *Advanced scheme for high-yield laser driven proton-boron fusion reaction*, High Power Laser for Fusion Research III; 07-12 February 2015, San Francisco, USA – **Oral**.
2. **A. Malinowska**, A. Szydłowski, M. Jaskóła. *Wzrost zainteresowania reakcją syntezy $^{11}\text{B}(p, \alpha)^{2}\alpha$, czy uda się powrócić do koncepcji zbudowania ultra czystego reaktora jądrowego? Polski wkład w badania*, XLIII Zjazd Fizyków Polskich, 06-11 September 2015, Kielce – **Oral**.

Fizyka plazmy nie jest jedyną dziedziną, w której stosowane są dielektryczne detektory śladowe. Inne dziedziny nauki i techniki, w których detektory tego typu wykorzystywane są, jako ważne narzędzie badawcze to fizyka jądrowa, fizyka promieniowania kosmicznego, dozymetria promieniowania jonizującego, geologia, medycyna i ochrona środowiska. Brałam udział w pracach prowadzonych przy współpracy z Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego w badaniach radio-biologicznych.

Napromieniowanie żywej materii za pomocą cząstek naładowanych staje się obecnie coraz bardziej interesujące w kontekście zastosowań medycznych, takich jak radioterapia, radiobiologia czy ochrona radiologiczna [1, 2]. W tej dziedzinie, akceleratory cząstek naładowanych są powszechnie stosowane ze względu na szeroką gamę dostępnych jonów, energii i strumieni oraz frakcjonowanie dawek. Zazwyczaj stosuje się dwa typy konfiguracji wiązek: mikro/nano wiązki oraz szerokie wiązki [B1]. Mikro-wiązki można kierować w precyzyjnie określony punkt na komórki lub grupy komórek. Natężenie i rozkład

3. Autoreferat w języku polskim

rozproszonych jonów mierzono za pomocą detektorów z barierą powierzchniową - detektory Si (krzemowe) z kolimatorem o średnicy 0,5 mm. Profile wiązek jonowych mierzono za pomocą detektora Si w dwóch płaszczyznach (x, y) rozkładu natężenia wiązek (Fig. 15 (a)). Zmierzona jednorodność wiązki była rzędu $\pm 2,5\%$. Tą samą jednorodność wiązki sprawdzono również przy użyciu dielektrycznego detektora śladowego (PADC) typu CR-39/PM-355. Rysunek 16 przedstawia wyraźnie skolimowaną wiązkę o wymiarach 1 x 1 cm². Dwuosiowy (x, y) rozkład profilu wiązki zmierzony za pomocą detektora śladowego przedstawiono na rysunku 15 (b). Osiągnięta jednorodność wiązki wynosiła około $\pm 3\%$ z dość dobrą zgodnością z wynikami uzyskanymi przy użyciu detektora krzemowego [B1].

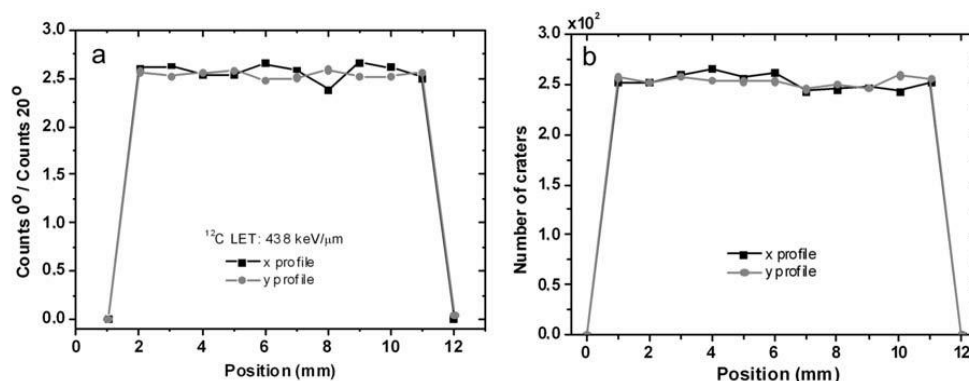
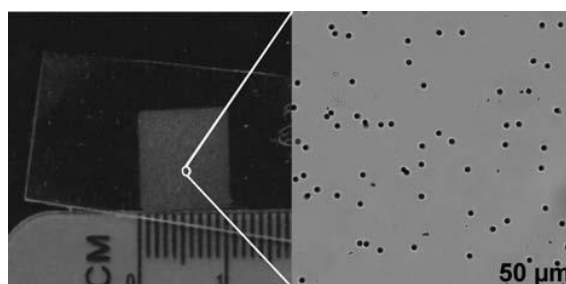


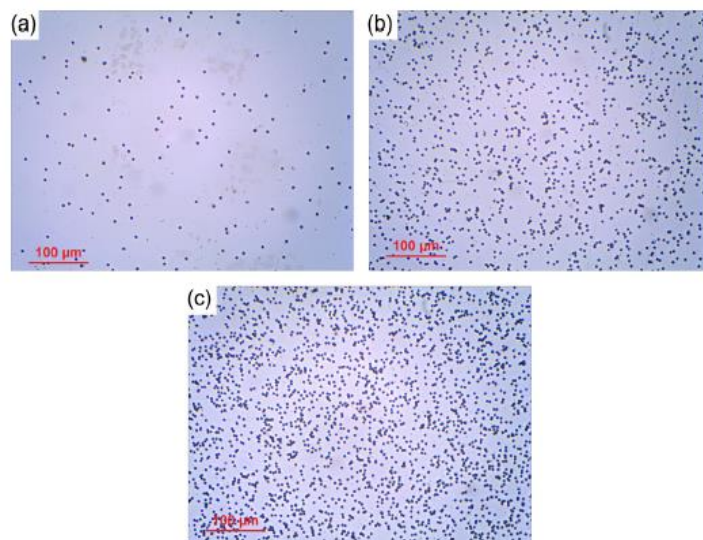
Fig. 15. Profile wiązek jonowych zmierzonych przy urzyciu: a – detektora Si; b – detektora typu PM-355.



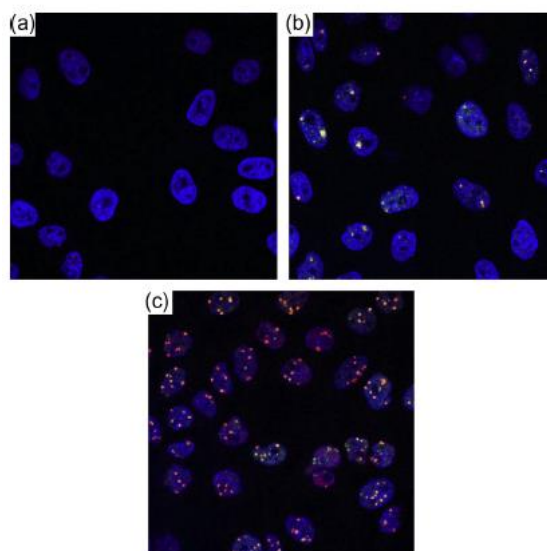
Rys. 16. Uzyskany profil wiązki oraz zdjęcie śladów zarejestrowanych jonów przy użyciu dielektrycznego detektora śladowego typu CR-39/PM-355.

W tej samej współpracy, uczestniczyłam również w pracach w których głównym celem było sprawdzenie różnymi metodami dozymetrycznymi źródeł wykorzystywanych w naświetlaniu komórek biologicznych wiązkami jonów węgla ¹²C [2]. Ilość jonów uderzających w jądra komórek, obliczona została za pomocą matrycy składającej się z detektorów krzemowych Si, która następnie porównana została z ilością jonów zarejestrowanych za pomocą detektorów śladowych typu CR-39/PM-355 oraz z numerem śladów jonów zarejestrowanych w napromieniowanych komórkach (Chinese Hamster Ovary: CHO-K1), które przetwarzają się w teście γ -H2AX (Rys. 17, 18).

3. Autoreferat w języku polskim



Rys. 17. Przykładowe zdjęcia zarejestrowanych jonów węgla ^{12}C w dawkach a) 0,05 Gy, b) 0,5 Gy, c) 1 Gy przy użyciu detektora śladowego typu CR-39/PM-355.

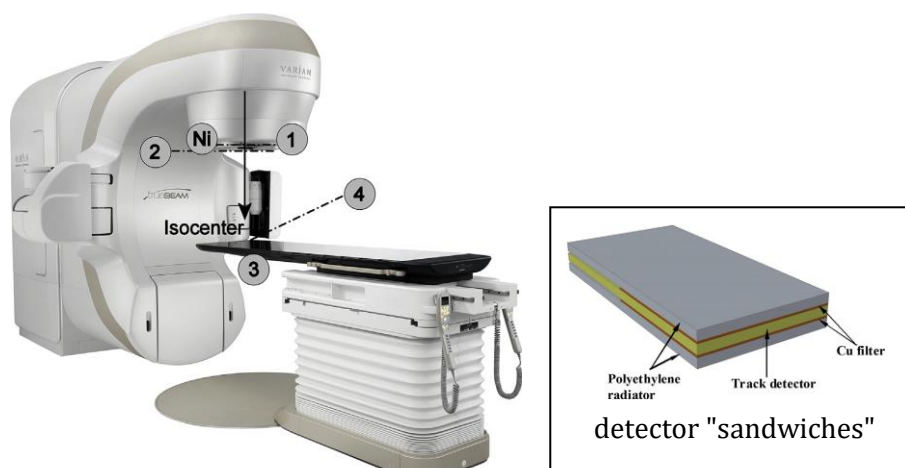


Rys. 18. Komórki jąder CHO-K1 naświetlone wiązkami jonów węgla ^{12}C ; a) komórki kontrolne, b) 1 Gy, c) 4 Gy; w teście γ -H2AX.

Dielektryczny detektor śladowy typu CR-39/PM-355 zastosowany został (z dużym moim udziałem) do wykonania pomiarów dawek tzw. foto-neutronów. Pomiarów takich wykonano w Centrum Onkologii przy akceleratorze medycznym typu Variann Clinac 2300 C/D-S [3] (Rys. 19). Uzyskane wyniki pokazały pozytywną próbę zastosowania dielektrycznego detektora śladowego (PADC) jako zintegrowany czujnik dla monitorowania poziomu dawek neutronów podczas radioterapii raka prostaty z wykorzystaniem techniki IMRT z wykorzystaniem 15 MeV promieniowania rentgenowskiego. W celu weryfikacji wyników uzyskanych za pomocą detektorów śladowych (PADC), zostały zastosowane również detektory neutronów Ni. Uzyskane wyniki wynosiły odpowiednio: $\sim 1,6 \times 10^9/\text{cm}^2$ neutronów

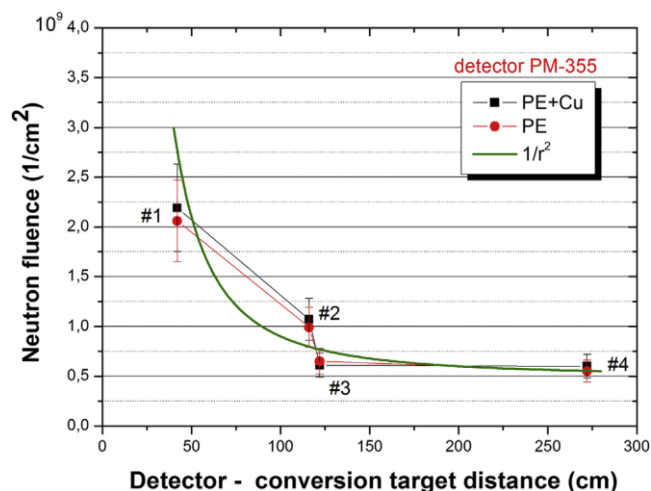
3. Autoreferat w języku polskim

z próbki Ni, oraz $\sim 1,4 \times 10^9/\text{cm}^2$ neutronów z detektora śladowego, które umieszczone zostały w tym samym miejscu i napromieniowane w tym samym okresie czasu.



Rys. 19. Schemat umieszczenia "sandwiches" detektora śladowego dookoła czaszy akceleratora oraz w płaszczyźnie naświetlanego pacjenta. Próbki #1 i "Ni" były umieszczone blisko czaszy akceleratora. Próbka #2 była umieszczona około 100 cm od tarczy konwersji, próbki #3 i #4 były umieszczone w płaszczyźnie pacjenta.

Rysunek 20 przedstawia schematy całkowitego zmierzonego strumienia neutronów rejestrowanych przez poszczególne próbki w zależności od ich odległości od tarczy konwersji akceleratora.



Rys. 20. Strumień neutronów zarejestrowany przez detektory śladowe w stosunku do odległości od tarczy konwersji akceleratora. Numery detektorów odpowiadają położeniu zilustowanemu na rysunku 19.

Całkowity strumień foto-neutronów padających na zastosowane detektory zostały oszacowane poprzez porównanie gęstości śladów w naświetlonych próbkach neutronami pochodzącymi z akceleratora do gęstości śladów w próbkach naświetlonych neutronami ze źródła ^{252}Cf . Wyznaczone gęstości śladów zostały wyznaczone według szacunkowych efektywności detekcji neutronów, wynoszących odpowiednio $7,0 \times 10^{-2}$ dla detektorów

3. Autoreferat w języku polskim

uposażonych w radiator PE (polietylen) oraz $1,0 \times 10^{-3}$ dla detektorów zamaskowanych filtrem Cu. Całkowity strumień neutronów zmniejszał się wraz z odległością w odwrotnej proporcji kwadratowej (Rys. 20). Wykazano, że obydwie typy badanych detektorów mogą być wykorzystane jako oddzielne detektory pomiaru poziomu promieniowania na który narażony jest pacjent podczas leczenia przy zastosowaniu 15 MeV promieni rentgenowskich [3].

Wszystkie opisane wcześniej badania prowadzone przez habilitanta - miały na celu wykazanie możliwości szerokiego zakresu zastosowania dielektrycznego detektora śladowego.

Wyniki tych prac opublikowano w czasopismach z listy filadelfijskiej:

[B1] **A. Malinowska**, A. Szydłowski, M. Jaskóła, A. Korman, B. Sartowska, M.J. Sadowski, J. Badziak, J. Żebrowski, *Calibration and application of modern track detectors CR-39/PM355 in nuclear physics and high temperature plasma experiments*, Nukleonika 53 (2008) S15 – S19.

1. A. Szydłowski, M. Jaskóła, **A. Malinowska**, S. Pszona, A. Wysocka-Rabin, A. Korman, K. Pytel, R. Prokopowicz, J. Roztkowska, W. Bulski, M. Kuk: *Application of nuclear track detectors as sensors for photoneutrons generated by medical accelerators*, Rad. Meas. 50 (2013) 74 – 77.
2. U. Kaźmierczak, D. Banaś, J. Braziewicz, J. Czub, M. Jaskóła, A. Korman, M. Kruszewski, A. Lankoff, H. Lisowska, **A. Malinowska**, T. Stępkowski, Z. Szepliński, M. Wojewódzka: *Dosimetry in radiobiological studies with heavy ion beam of the Warsaw cyclotron*, Nucl. Instr. & Meth. B 365 (2015) 404 – 408.

oraz zaprezentowano na konferencjach:

1. **A. Malinowska**, A. Szydłowski, M. Jaskóła, A. Korman, B. Sartowska, M.J. Sadowski, J. Badziak, J. Żebrowski, “Calibration and application of modern track detectors CR-39/PM355 in nuclear physics and high temperature plasma experiments”, Recent Developments and Applications of Nuclear Technologies, 15-17 September, 2008, Białowieża, Poland – **Oral**.
2. U.Kaźmierczak, D.Banaś, J.Braziewicz, J.Czub, M.Jaskóła, A.Korman, M.Kruszewski, A.Lankoff, H.Lisowska, **A.Malinowska**, T.Stępkowski, Z.Szepliński, M.Wojewódzka; *Dosimetry in radiobiological studies with heavy ion beam of the Warsaw cyclotron*, 19th International Conference on Ion Beam Modification of Materials, 14-19th Sept. 2014, Leuven, Belgium – **Poster**.
3. U.Kaźmierczak, D.Banaś, J.Braziewicz, J.Czub, M.Jaskóła, A.Korman, M.Kruszewski, A.Lankoff, H.Lisowska, **A.Malinowska**, T.Stępkowski, Z.Szepliński, M.Wojewódzka; *Dozymetria promieniowania jonizującego w badaniach radiobiologicznych w ŚLCJ UW*, XLIII Zjazd Fizyków Polskich, 06-11 September, Kielce, Poland – **Oral**.
4. A. Szydłowski, M. Jaskóła, **A. Malinowska**, S. Pszona, A. Wysocka-Rabin, A. Korman, K. Pytel, R. Prokopowicz, J. Rostkowska, W. Bulski, M. Kuk, “Application of nuclear track detectors as sensors for photoneutrons generated by medical accelerators”; 25th

3. Autoreferat w języku polskim

International Conference on Nuclear Tracks in Solids, 04-09 September, 2011, Puebla, Mexico – **Oral**.

4.4. PODSUMOWANIE

Zaprezentowane prace, miały na celu wykazanie, iż dielektryczny detektor śladowy typu CR-39/PM-355, może być stosowany do pomiarów cząstek naładowanych w szerokim zakresie ich energii tzn. od kilkudziesięciu kiloelektronowoltów do kilku megaelektronowoltów. Detektor ten wybrano, jako jeden z najbardziej czułych na ciężkie jony, a wykonane pomiary testowe miały umożliwić ocenę możliwości jego zastosowania w pomiarach spektrometrycznych, w których wyznaczany jest rodzaj i energia cząstki. Tego typu pomiary często wykonywane są na dużych urządzeniach plazmowych, w których detektory umieszczane są wewnątrz komory próżniowej, a informacje o rejestrowanych cząstkach uzyskiwane są np. na podstawie wielkości zarejestrowanych śladów. Efektem wykonanych prac było ponadto wyznaczenie czułości (wrażliwości) badanego detektora na takie czynniki związane z wyładowaniem plazmowym jak: temperatura otoczenia, promieniowanie X i gamma. Wyznaczono i porównano diagramy kalibracyjne detektorów z różnych dostaw w celu określenia wpływu zmian procesów produkcji na wydajność rejestracji detektora. Zbadano tak zwany „ageing effect” („starzenie” się detektora), tzn., jaki wpływ miał długi okres przechowywania (w konkretnych warunkach) naświetlonych detektorów śladowych na wielkość śladów wytrawionych po tym okresie. Najważniejsze konkluzje wynikające z tych badań wskazują, iż funkcja czułości $V = V_T/V_B$ zmierzona dla protonów wykazuje niewielką utratę swojej wielkości o około 1 - 2% rocznie, w czasie przechowywania detektorów w powietrzu o temperaturze pokojowej w przypadku braku światła. Oszacowano również wielkość wydajności rejestracji, która nie zależała od rodzaju i energii badanych cząstek w dość szerokim zakresie ich energii. A wszystko po to, aby zastosować przetestowany w ten sposób detektor śladowy w szerokim zakresie badań ze szczególnym uwzględnieniem badań reakcji jądrowych, które zachodzą w plazmie.

Wiedza na temat najważniejszych parametrów plazmy takich jak temperatura, gęstość, straty radiacyjne jest bardzo ważna dla zrozumienia zachowania plazmy z punktu widzenia niezawodności projektowanych w przyszłości urządzeń. Ponieważ plazma zamknięta w stalowej komorze posiada ekstremalne właściwości to konwencjonalne metody pomiaru nie znajdują zastosowania. Zastosowana przez nas diagnostyka przy użyciu dielektrycznych detektorów śladowych, do pomiarów produktów reakcji syntezy i jonów pierwotnych jest techniką pomiarów pasywnych. Ważną zaletą metod pasywnego pomiaru jest to, iż mierzy się promieniowanie i cząstki opuszczające plazmę. Na tej podstawie wnioskuje się o zachowaniu plazmy w konkretnych warunkach.

Cennym doświadczeniem wynikającym z przeprowadzanych badań jest współpraca habilitanta z Instytutem Fizyki Plazmy czy innymi ośrodkami naukowymi, t.j. IPP Pradze, GSI w Niemczech czy laboratorium ENEA we Frascati, co zwiększa możliwość prowadzenia przyszłych wspólnych badań przez krajowe i zagraniczne ośrodki badawcze w ramach Europejskiego Programu budowy reaktora termojądrowego, wzmacnia integrację polskiego środowiska naukowego oraz jego znaczenie na międzynarodowej arenie.

W przyszłości kolejnym krokiem będzie rozwinięcie metod detekcji neutronów przy użyciu nowego Dielektrycznego Detektora CR-39 (TASTRAK), (zaprojektowanie, wykonanie i użytkowanie). Dzięki zastosowaniu detektora typu CR-39 będzie możliwy pomiar strumieni i rozkładów kątowych wyemitowanych neutronów w celu oszacowania liczby reakcji

3. Autoreferat w języku polskim

jądrowych zachodzących w wytworzonej plazmie, wydzielonej energii syntezy jądrowej oraz w celu określenia mechanizmu oddziaływań jądrowych i rozkładów energetycznych jonów biorących udział w reakcji jądrowej.

5 Omówienie innych dokonań naukowych

5.1. Działalność prowadzona przed doktoratem

Studia ukończyłam na Wydziale Elektrycznym Politechniki Szczecińskiej na kierunku Fizyka Techniczna w czerwcu 1999 roku (pod panińskim nazwiskiem A. Banaszak). Uzyskane wyniki zawarte w przygotowanej pracy magisterskiej pod tytułem: *Sezonowe zmiany współczynnika załamania światła w wybranych punktach Odry* opublikowano w recenzowanym czasopiśmie o obiegu krajowym:

B. Pawlak, R. Gąsowski, **A. Banaszak**, A. Andrzejewska: *Seasonal Changes of Light Attenuation Coefficient in Selected Points of the Oder River in the Szczecin Region, Poland*, **Polish Journal of Environmental Studies** 12 No.2 (2003) 221-226.

Po zdaniu egzaminu magisterskiego i po pozytywnym zaliczeniu rozmowy kwalifikacyjnej 1 października 1999 roku zostałam przyjęta na dzienne studia doktoranckie w Narodowym Centrum Badań Jądrowych (dawne IPJ) w zakładzie Badań Plazmy (P5). Zajmowałam się pomiarami jonów pierwotnych, elektronów oraz produktów reakcji syntezy emitowanych z plazmy, wytwarzanej na różnych co do wielkości układach typu Plazma Focus. We wrześniu 2004 roku dostałam zatrudnienie na stanowisku Fizyka w w/w zakładzie.

W latach 2004 – 2008 czynnie uczestniczyłam w wielu eksperymentach plazmowych w międzynarodowym składzie, przeprowadzanych na układzie typu PF-1000 w IFPiLM w Warszawie oraz na mniejszym, co do wielkości układzie typu PF-360 na terenie NCBJ (dawne IPJ) w Świerku. Przeprowadzane badania naukowe na wyżej wymienionych układach stały się podstawą mojej pracy doktorskiej. Omawiane badania dotyczyły pomiarów produktów reakcji syntezy jądrowej D-D, głównie szybkich neutronów i protonów. Główne założenia związane były z następującymi zadaniami:

- Jakie są charakterystyki energetyczne i przestrzenne emitowanych energetycznych protonów w wyładowaniach plazmowych realizowanych w układach Plazma Fokus;
- Zbadanie na podstawie kształtów rozkładów energetycznych protonów w wyniku, jakich oddziaływań jądrowych (termojądrowe czy wiązka-tarcza) są one generowane, określenie przestrzennej lokalizacji i mikrostruktury obszarów generacji oraz jej wydajności;
- Znalezienie zależności pomiędzy emisją i charakterystyką energetycznych protonów od typu (energii i prądu) urządzenia, na którym realizowane jest wyładowanie.

Eksperymentalna realizacja wymienionych wyżej zadań była przedsięwzięciem złożonym zarówno technicznie jak i logistycznie tzn. uzyskanie dobrze wykalibrowanych dielektrycznych detektorów śladowych (SSNTD), przeprowadzenie pomiarów na urządzeniach w dwóch różnych instytucjach, współpraca w ramach różnych grup badawczych. Dodatkowo habilitant miał pierwszą przerwę związaną z urlopem macierzyńskim (2007 rok), co w znaczący sposób wydłużyło czas złożenia dysertacji.

Uzyskane przeze mnie wyniki badań eksperymentalnych oraz wykonane obliczenia teoretyczne weszły w skład rozprawy doktorskiej pod tytułem: *Badanie emisji protonów*

3. Autoreferat w języku polskim

reakcji syntezy emitowanych z układu typu Plasma Focus pod opieką naukową prof. dr hab. Marka Sadowskiego. Stopień naukowy doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki plazmy nadała Rada Naukowa Instytutu Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana uchwałą z dnia 14 października 2008 roku.

Uzyskane wyniki badań w omawianym okresie były przedmiotem publikacji w ilości **28** pozycji (w tym **5** pozycji, jako pierwszy autor) (Załącznik nr **7**) w recenzowanych czasopismach z listy filadelfijskiej oraz zaprezentowane zostały na krajowych i międzynarodowych konferencjach, sympozjach oraz posiedzeniach Expert Meeting organizowanych przez ICDMP (International Centre for Dense Magnetize Plasmas). W sumie zebranych zostało **54 pozycji** prezentowanych prac w postaci Invitation lectures, Orali oraz Posterów (Załącznik nr **1**).

Dodatkowo habilitant brał czynny udział w organizowaniu międzynarodowych konferencji z dziedziny Fizyki Plazmy:

International Conference Plasma 2003 “Research and Applications of Plasmas”, Warsaw, Poland, September 9 – 12, 2003, Local Committee.

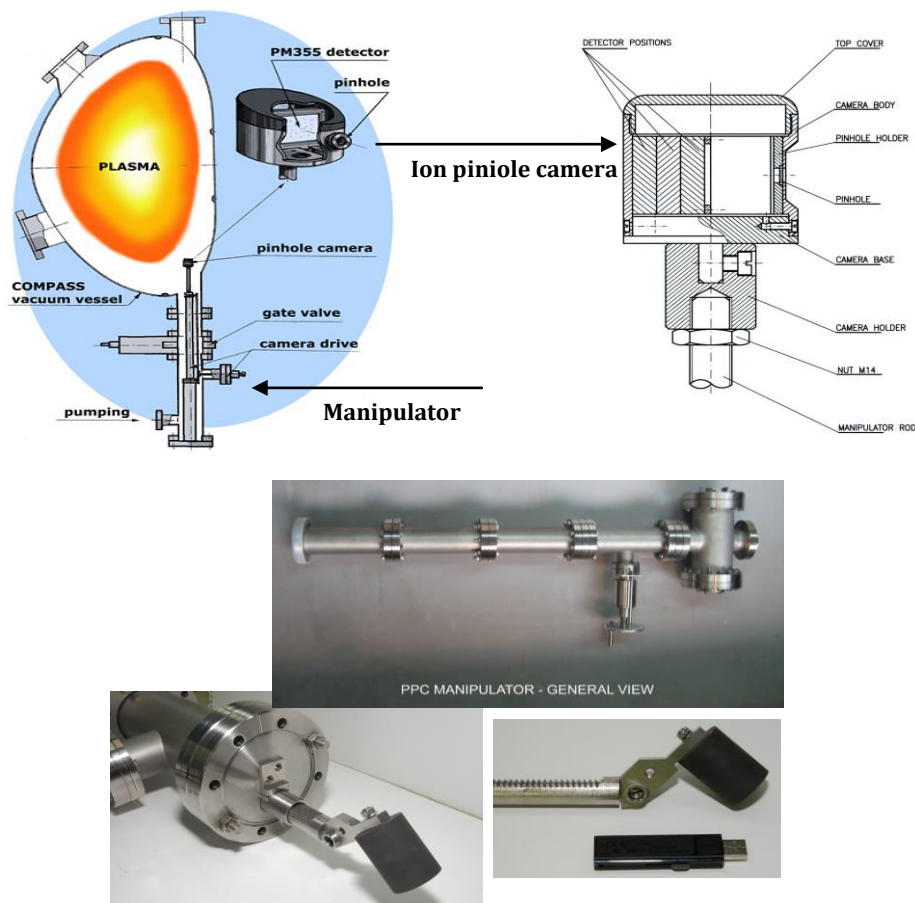
The 2nd German-Polish Conference on Plasma Diagnostics for Fusion and Applications, Cracow, Poland, September 8 – 10, 2004, Local Committee.

5.2. Działalność prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora

Celem pracy naukowej po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych w 2008 roku, było kontynuowanie badań charakterystyk dielektrycznego detektora śladowego typu CR-39/PM-355 a szczególnie jego właściwości spektrometrycznych przy analizie prędkich cząstek naładowanych. Prace te związane były z realizacją projektu międzynarodowego zatytułowanego: „Rozwój wybranych technik diagnostycznych (detektory Czerenkowa, dielektryczne detektory śladowe i detektory scyntylacyjne dla diagnostyki promieniowania X) w ramach europejskiego programu badań nad syntezą jądrową (EURATOM)”. Projekt ten wchodził w skład 7-go Programu Ramowego – EURATOM, Fusion - kontrakt FU06-CT-2004-00081 prowadzony w latach 2005-2007 oraz FU07-CT-2008-00061 prowadzony w latach 2008-2012. Mój udział w omawianym projekcie związany był z zadaniem 5-tym, które było zatytułowane: „Pomiary kalibracyjne wybranych detektorów śladowych w celu optymalnego wykorzystania tych detektorów w diagnostyce prędkich jonów pierwotnych i cząstek alfa wyprodukowanych w reakcji syntezy jądrowej. Jako kierownik zadania habilitant odpowiedzialny był za wykonanie badań właściwości detektorów śladowych nowych generacji typu CR-39/PM-355. W ramach omówionego wyżej programu europejskiego detektory śladowe typu PM-355 zostały zastosowane w eksperymentach wykonywanych w Tokamaku TEXTOR w Institut für Plasma Physik, Forschungszentrum w Juelich, Niemcy. Uczestniczyłam w kilku sesjach eksperymentalnych trwających jeden lub dwa tygodnie każda i w kilku konsultacjach (dyskusjach naukowych) między innymi w Brukseli, gdyż eksperymenty przeprowadzane były w ścisłej współpracy z naukowcami z wydziału fizyki z Royal Military Academy. Celem tych pomiarów było wyznaczenie liczby 3 MeV protonów wyprodukowanych w reakcji syntezy D-D oraz określenie źródła emisji tych protonów w plazmie. W tym samym projekcie nadzorowałam zaprojektowanie i wykonanie kamery typu pinhole, która wyposażona w dielektryczny detektor śladowy ma służyć do pomiarów jonów

3. Autoreferat w języku polskim

pierwotnych i produktów reakcji syntezy na układzie TEXTOR oraz na układzie COMPASS w Instytucie Fizyki A.S.C.R. w Pradze, Czechy. Kamera na dzień dzisiejszy jest ukończona i gotowa do pomiarów (Rys. 21). Obecnie oczekujemy od strony czeskiej na zaproszenie do udziału w sesji pomiarowej, w której badane będą zarówno jony pierwotne jak i produkty reakcji syntezy jądowej. Możliwe jest zaangażowanie w pomiarach zarówno studentów jak i doktorantów, którym powinno to umożliwić przygotowanie rozpraw doktorskich z tematyki badań plazmy wytwarzanej w układach typu TOKAMAK. W okresie tym miałam kolejną roczną przerwę z powodu drugiego urlopu macierzyńskiego (2009 rok).

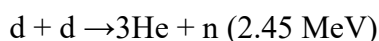
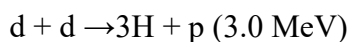


Rys. 21. Kamera typu Pinhole zadedykowana układowi Compass w Pradze.

Od 2014 - 2015 roku uczestniczyłam w projekcie „Wzmocnienie potencjału innowacyjnego ośrodka w Świerku w zakresie rozwoju technologii wykorzystujących promieniowanie jonizujące”, współfinansowanego przez Unię Europejską. Pracę tą wykonywałam na stanowisku adiunkta – kierownika tematu – „Układy diagnostyki plazmy i akwizycji danych”. W projekcie współuczestniczyłam w projektowaniu przeznaczonych dla projektu 4Lab układów diagnostyki plazmy i akwizycji danych, za nadzór oraz za ich realizacją (zbudowanie lub zakup) i uruchomienie. Z przygotowanych diagnostyk zaproponowałam pomiary jonów pierwotnych przy użyciu spektrometru typu Thomsona. Spektrometr ten analizuje cząstki względem ich masy i energii. Zastosowanie w tym spektrometrze do rejestracji cząstek innych detektorów np. scyntylatorów umożliwia pomiar cząstek z rozdzielczością czasowo-przestrzenną. Ma to duże znaczenie w przypadku analizy jonów emitowanych np. z plazmy wytwarzanej w urządzeniu IBIS, gdzie mamy zazwyczaj do

3. Autoreferat w języku polskim

czynienia z intensywnymi wiązkami jonowymi. Badanie jonów pierwotnych dostarcza ważnych informacji między innymi o ważnych procesach akceleracji wiązek jonów w plazmie. Znajomość tych procesów znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach nauki. Z moim udziałem opracowano również nowoczesne liczniki neutronów oparte o aktywację srebra, która jest efektem wychwytu spowolnionych neutronów przez obydwa izotopy będące składowymi srebra naturalnego tj. przez ^{107}Ag i ^{109}Ag . W przypadku zastosowania deuteru, jako gazu roboczego w układzie IBIS mamy możliwość zarejestrowania produktów następujących reakcji syntezy jądrowej:



Neutrony wykorzystywane są do diagnostyki plazmy wysokotemperaturowej. Emisja neutronów daje informację o tym, że osiągnięto warunki niezbędne zainicjowania procesu syntezy. Pomiar widma energetycznego neutronów emitowanych z obszaru plazmy daje informację o mechanizmach zachodzących reakcji i o temperaturze plazmy. Zaś przygotowywane diagnostyki rentgenowskie, które mają umożliwić pomiary promieniowania X zwłaszcza w zakresie miękkich X (długość fali od 0,1 nm do 10 nm) udzielą nam informacji odnośnie innych zjawisk zachodzących wewnątrz ogniska plazmowego a także o innych parametrach plazmy takich np. jak temperatura i gęstość elektronowa plazmy. Pomimo tego, że projekt jest inwestycyjny w części budowanego zestawu diagnostyk wykorzystany zostanie dielektryczny detektor śladowy, w związku z powyższym habilitant będzie kontynuował prace związane z badaniami spektroskopowymi detektora jak i jego zastosowaniami.

Praca, jaka została włożona w wymienione wyżej projekty oraz wynikające ze współpracy z różnymi ośrodkami w kraju i zagranicą, umożliwiła mi opublikowanie łącznie **24** pozycji bibliograficznych (w tym **13** pozycji po uzyskaniu stopnia doktora) (załącznik nr **7**) opublikowanych w czasopismach z tak zwanej listy filadelfijskiej, takich jak:

Physics Review X – 1 artykuł, opublikowany po uzyskaniu stopnia doktora;

Plasma Physics and Controlled Fusion – 1 artykuł, opublikowany po uzyskaniu stopnia doktora;

Radiation Measurements – 12 artykułów, w tym 5 opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora;

Review of Scientific Instruments – 3 artykuły, wszystkie opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora;

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B – 2 artykuły, wszystkie opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora;

Według bazy danych cytowań Web of Science (WoS) zaprezentowane publikacje były **283** – krotnie cytowane, w tym **215** bez autocytowań. Mój indeks hirscha h wynosi **10** według bazy WoS. Szczegółowy wykaz cytowań prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego sporządzony na dzień 1.12.2016r przedstawiłam w załączniku nr **6** pt. „Wykaz cytowań publikacji według bazy WoS na dzień 1.12.2016r”. Sumaryczny impact factor wszystkich moich publikacji wynosi **27.91**, **Phys. Rev. X.** - IF **8.701** od 2011 roku – nie widnieje w JCR.

3. Autoreferat w języku polskim

Staram się również brać czynny udział w życiu naukowym swojej dyscypliny naukowej poprzez aktywne uczestnictwo w konferencjach naukowych zarówno międzynarodowych jak i krajowych. Wyniki badań, w realizacji, których brałam udział po uzyskaniu stopnia doktora, były przedstawiane w postaci 9 referatów, w tym 3 wygłoszonych przeze mnie osobiście w formie ustnej, w tym na jednej z nich byłam przewodniczącą sesji pt. „Radiation Protection and Dosimetry“ oraz 7 zaprezentowanych w formie plakatu na krajowych i międzynarodowych konferencjach, kongresach i sympozjach naukowych poświęconych fizyce plazmy oraz samych detektorom śladowym (Załącznik nr 8).

Dodatkowo habilitant od 2008 roku jest, wybranym przez organizację, członkiem międzynarodowej organizacji naukowej: **International Nuclear Track Society** oraz poprzez akces własny należy do **Sekcji Fizyki Plazmy** Komitetu Fizyki przy Polskiej Akademii Nauk (od 2005).

Moje osiągnięcia naukowe zostały dwukrotnie docenione przez komisję Rady Naukowej Narodowego Centrum Badań Jądrowych, poprzez nagrody naukowe indywidualne za osiągnięcia naukowe zdobyte w latach 2011-2014 oraz 2014-2016 przyznane odpowiednio w – 2014 i 2016 roku oraz wyróżnienie zespołowe od Dyrektora Narodowego Centrum Badań Jądrowych za **osiągnięcie naukowe w 2014 roku** za pracę dotyczącą: *Badania reakcji tarczy krzemowej nasyconej wodorem i domieszkowanej borem w układzie laserowym PALS w Pradze*, w 2015 roku. (Załącznik nr 11). W roku 2015 zostało mi przyznane stypendium habilitacyjne na okres dwóch lat w Narodowym Centrum Badań Jądrowych.

Dodatkowo habilitant jest autorem kilku recenzji prac wysłanych do uznanych czasopism naukowych należących do listy filadelfijskiej (Radiation Measurements, Nukleonika), jako regular paper.

Będąc uczestnikiem studiów na Uniwersytecie Szczecińskim, prowadziłam zajęcia dydaktyczne z podstaw Fizyki na poziomie szkół podstawowych. Ze względu na charakter jednostki naukowej, osiągnięcia dydaktyczne dotyczą:

W 2015 roku byłam opiekunem naukowym pana Tomasza Zwalińskiego studenta Wydziału Mechatroniki na Politechnice Warszawskiej, który na podstawie zebranych danych przygotował pracę magisterską zatytułowaną: „*Model personalnego detektora neutronów*”. Praca obejmowała model personalnego detektora neutronów składającego się z detektora śladowego typu CR-39 z powłoką z materiału zawierającego bor oraz zbadanie odpowiedzi tego materiału we wzorcowych polach promieniowania neutronowego. Moja rola polegała na przekazaniu wiedzy na temat dielektrycznych detektorów śladowych oraz sposobów ich obróbki. Pomoc w zgromadzeniu niezbędnej literatury naukowej.

W 2016 byłam opiekunem naukowym pana Pawła Podrygusa, studenta Uniwersytetu Warszawskiego na Wydziale Fizyki Jądrowej, ze zdobytych umiejętności dotyczących wykalibrowania nowego typu detektora śladowego CR-39 typu TASTRAK, zaliczył laboratorium w ramach programu studiów.

Chętnie służę pomocą doktorantom podczas pisania swoich rozpraw. W 2014 roku w rozprawie doktorskiej „*Analiza wyników najnowszych pomiarów jonów, elektronów i promieniowania widzialnego plazmy w układach „PF-360 i PF-1000“ mgr Rocha Kwiatkowskiego*, służyłam swoją wiedzą i doświadczeniem na temat metod opracowania i analizy uzyskanych wyników eksperymentalnych na układach typu Plasma Focus.

Aneta Malinowska