

Warszawa, 15.04.2019 r.

Prof. dr hab. inż. Henryk Fiedorowicz
Instytut Optoelektroniki
Wojskowa Akademia Techniczna
Ul. Urbanowicza 2
00-908 Warszawa

Ocena osiągnięć naukowo-badawczych dr Sławomira Jabłońskiego w związku z postępowaniem habilitacyjnym prowadzonym przez Radę Naukową Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Otwocku

Dr Sławomir Jabłoński ukończył studia wyższe na Wydziale Chemii Podstawowej i Stosowanej Uniwersytetu Warszawskiego w roku 1986, gdzie otrzymał tytuł magistra chemii. Praca magisterska dotyczyła syntezy peptydów. Bezpośrednio po studiach rozpoczął pracę w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy (IFPiLM) w Warszawie. W latach 1986-1991 pracował na stanowisku asystenta w Samodzielnym Laboratorium Technologicznym IFPiLM, natomiast w latach 1991-1998 był asystentem w Zakładzie Plazmy Laserowej w tym instytucie. W roku 1998 obronił rozprawę doktorską pt.: „*Modelowanie generacji krótkich impulsów światła w laserach ekscymerowych*”, na podstawie której Rada Wydziału Fizyki i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej nadał mu stopień doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki. Po uzyskaniu stopnia doktora awansował na stanowisko adiunkta w Zakładzie Fuzji Laserowej IFPiLM, w którym pracował do roku 2017. Od tego roku do chwili obecnej pracuje na stanowisku adiunkta w Zakładzie Fuzji Laserowej i Spektroskopii IFPiLM.

Ocena osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Osiągnięcie naukowe dr. Sławomira Jabłońskiego zostało przedstawione w postaci cyklu 24 artykułów pod tytułem: „*Badania procesów akceleracji tarcz plazmowych przy użyciu laserów dużej ($I_L < 10^{19} \text{ W/cm}^2$) i wielkiej mocy ($I_L < 10^{19} \text{ W/cm}^2$) przy wykorzystaniu modelowania komputerowego*”. Lista artykułów wraz z podanymi współczynnikami *IF* dla określonego roku publikacji oraz ilość cytowań poszczególnych artykułów jest pokazana w tabeli (w nawiasach podano ilość cytowań z pominięciem autocytowań).

L.p.	Publikacja	IF	Cytowania
1	J. Badziak, S. Głowacz, S. Jabłoński , P. Parys, J. Wołowski and H. Hora, "Production of ultrahigh-current-density ion beams by short-pulse skin-layer laser-plasma interaction", Applied Physics Letters 85, 3041 (2004)	4,308	51(20)
2	J. Badziak, S. Głowacz, S. Jabłoński , P. Parys, J. Wołowski, H. Hora, J. Krasa, L. Laska and K. Rohlena, "Production of ultrahigh ion current densities at skin-layer subrelativistic laser-plasma interaction", Plasma Physics and Controlled Fusion 46, B541 (2004)	2,344	66(22)
3	S. Głowacz, J. Badziak, S. Jabłoński , H. Hora, "Numerical modelling of production of ultrahigh-current-density ion beams by short-pulse laser-plasma interaction", Czechoslovak Journal of Physics (2004) 54 (Suppl 3),	0,292	14(3)
4	J. Badziak, S. Głowacz, S. Jabłoński , P. Parys, J. Wołowski and H. Hora, "Generation of picosecond high-density ion fluxes by skin-layer laser-plasma interaction", Laser and Particle Beams 23, 143 (2005)	2,590	30 (11)
5	J. Badziak, S. Głowacz, S. Jabłoński , P. Parys, J. Wołowski, and H. Hora, "Laser-driven generation of high-current ion beams using skin-layer ponderomotive acceleration", Laser and Particle Beams 23, 401 (2005)	2,590	69(24)
6	S. Jabłoński , H. Hora, S. Głowacz, J. Badziak, Yu Cang and F. Osman, "Two-	2,590	5(1)

	<i>fluid computations of plasma block dynamics for numerical analyze of rippling effect</i> ", Laser and Particle Beams 23, 433 (2005)		
7	J. Badziak, S. Jabłoński , S. Glowacz, "Generation of highly collimated high-current ion beams by skin-layer laser-plasma interaction at relativistic laser intensities", Applied Physics Letters 89, 061504 (2006)	3,977	34(15)
8	S. Glowacz, H. Hora, J. Badziak, S. Jablonski , Yu Cang, and F. Osman, "Analytical description of rippling effect and ion acceleration in plasma produced by a short laser pulse", Laser and Particle Beams 24, 15 (2006)	3,958	31(18)
9	J. Badziak, S. Glowacz, H. Hora, S. Jabłoński , and J. Wołowski, "Studies on laser-driven generation of fast high-density plasma blocks for fast ignition", Laser and Particle Beams 24, 249 (2006)	3,958	33(18)
10	S. Jabłoński , J. Badziak, S. Glowacz, "2D hydrodynamic simulations of generation of high current proton beams by relativistic skin-layer laser-plasma interaction", Czechoslovak Journal of Physics 56, B485 (2006) Suppl. B	0.568	2(0)
11	J. Badziak and S. Jabłoński , "Focusing of high-current laser-driven ion beams", Applied Physics Letters 99, 151503 (2007)	3.596	9(2)
12	H. Hora, J. Badziak, M. N. Read1, Yu-Tong Li, Tian-Jiao Liang, Yu Cang, Hong Liu, Zheng-Ming Sheng, Jie Zhang, F. Osman, G. H. Miley, Weiyan Zhang, Xiantu He, Hansheng Peng, S. Glowacz, S. Jablonski , J. Wolowski, Z. Skladanowski, K. Jungwirth, K. Rohlena, and J. Ullschmied, "Fast ignition by laser driven particle beams of very high intensity", Physics of Plasmas 14, 072701 (2007)	2,325	97(27)
13	J.Badziak and S. Jabłoński ,and J Wołowski, "Progress and prospect of fast ignition of ICF targets", Plasma Physics and Controlled Fusion 49, B651 (2007)	3,070	26(11)
14	J.Badziak, S. Jabłoński , P. Parys, M. Rosiński, J. Wołowski, A. Szydłowski, P.Antici, J. Fuchs, and A. Mancic, "Ultraintense proton beams from laser-induced skin-layer ponderomotive acceleration", Journal of Applied Physics 104, 063310 (2008)	2,201	35(8)
15	J. Badziak, S. Jabłoński , P. Parys, M. Rosiński, J. Wołowski, A. Szydłowski, P.Antici, J. Fuchs, A. Mancic, "Generation of Ultraintense Proton Beams Driven by a Short-Pulse Multi-TW Laser", Photonics Letters of Poland, 1, 22-24 (2009)		1(0)
16	J. Badziak and S. Jabłoński , "Ultraintense ion beams driven by a short-wavelength short-pulse laser", Physics of Plasmas 17, 073106 (2010)	2.320	19(1)
17	J. Badziak, S. Jabłoński , P. Parys, A. Szydłowski, J. Fuchs and A. Mancic, "Production of high-intensity proton fluxes by a $2\omega Nd:glass$ laser beam", Laser and Particle Beams 28, 575 (2010)	3,656	6(4)
18	J. Badziak and S. Jabłoński , "Acceleration of a solid-density plasma projectile to ultrahigh velocities by a short-pulse ultraviolet laser", Applied Physics Letters 99, 071502 (2011)	3,844	12(3)
19	J. Badziak, S. Jabłoński , T. Pisarczyk, P. Rączka, E. Krousky, R. Liska, M. Kucharik, T. Chodukowski, Z. Kalinowska, P. Parys, M. Rosiński, S. Borodziuk, and J. Ullschmied, "Highly efficient accelerator of dense matter using laser-induced cavity pressure acceleration", Physics of Plasmas 19, 053105 (2012)	2,376	30(8)
20	J. Badziak, S. Jabłoński , and P. Rączka, "Highly efficient generation of ultraintense high- energy ion beams using laser-induced cavity pressure acceleration", Applied Physics Letters 101, 084102 (2012)	3.794	10(3)
21	S. Jabłoński , "Two-dimensional relativistic particle-in-cell code for simulation of laser- driven ion acceleration in various acceleration schemes", Physica Scripta T161, 014022 (2014)	2,183	1(1)
22	J. Badziak, S. Jabłoński , "Efficient acceleration of dense plasma bunches for fusion-related applications in the LICPA accelerator", Physica Scripta T161, 014031 (2014)	2,183	1(0)
23	S. Jabłoński , J.Badziak, P. Rączka, "Generation of high-energy ion bunches via laser-induced cavity pressure acceleration at ultra-high laser intensities", Laser and Particle Beams 32, 129 (2014)	1.295	2(2)
24	J. Badziak, M. Rosiński, S. Jabłoński , T. Pisarczyk, T. Chodukowski, P. Parys, P. Rączka, E. Krousky, J. Ullschmied, R. Liska and M. Kucharik, "Enhanced efficiency of plasma acceleration in the laser-induced cavity pressure acceleration scheme", Plasma Physics and Controlled Fusion 57, 014007 (2015)	2,404	6(0)

Wszystkie artykuły zostały opublikowane w czasopiśmie naukowym o zasięgu międzynarodowym, z których 23 znajduje się w bazie czasopism JCR - *Journal Citation Reports*. Większość prac opublikowano w bardzo wysoko cenionych czasopiśmie w zakresie fizyki, takich jak: *Applied Physics Letters* (5 artykułów), *Laser and Particle Beams* (7 artykułów), *Physics of Plasmas* (3 artykuły), *Plasma Physics and Controlled Fusion* (3 artykuły) oraz *Physica Scripta* (2 artykuły). Sumaryczny współczynnik IF dla tych publikacji wynosi 59,361, co daje relatywnie wysoką średnią wartość współczynnika na jedną publikację $IF = 2,968$. Wszystkie publikacje są wynikiem prac zespołowych. W przypadku 4 artykułów Habilitant jest wymieniony na pierwszym miejscu wśród autorów. Publikacje te mają wyraźny charakter prac teoretycznych. Pozostałe artykuły, które są wieloautorskie, prezentują wyniki eksperymentów oraz ich fizyczną interpretację. W dostarczonej dokumentacji Habilitant przedstawił wymagane przepisami oświadczenia określające indywidualny wkład pozostałych współautorów do powstania tych artykułów. Oświadczenia te wskazują ponadto, że udział Habilitanta w tych pracach polegał na interpretacji fizycznej wyników eksperymentalnych prowadzonych za pomocą symulacji komputerowych.

Przedmiotem osiągnięcia naukowego Habilitanta są procesy wytwarzania plazmy w wyniku oddziaływania impulsów laserowych wielkiej mocy (powyżej 10^{17} - 10^{19} W/cm²) z materią i jej przyspieszania. Badania w tym zakresie są prowadzone przez nieliczne zespoły naukowe na świecie. Mają one związek głównie z problemem kontrolowanej syntezy termojądrowej, jednakże mogą także mieć w przyszłości znaczenie praktyczne w postaci wydajnych źródeł wysokoenergetycznych elektronów i jonów (o energiach powyżej GeV) oraz intensywnych strumieni plazmowych. Prace badawcze nad tymi zagadnieniami były rozpoczęte jeszcze w latach 70., jednakże początkowo były prowadzone jedynie z użyciem metod teoretycznych. Jednym z pionierów tych badań był prof. H. Hora, który jest współautorem 9 publikacji przedstawionych przez Habilitanta. Badania eksperymentalne tych procesów stały się możliwe dopiero w latach 90. dzięki odkryciu przez G. Mourou i D. Strickland metody wzmacniania ultrakrótkich impulsów laserowych (o czasie trwania w zakresie ps i poniżej), która pozwoliła na budowę systemów laserowych wytwarzających impulsy wielkiej mocy.

Prace badawcze w tym zakresie zostały także rozpoczęte w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy im. S. Kaliskiego w Warszawie, dzięki uruchomieniu w roku 1997 (we współpracy z zespołem z Instytutu Fizyki Laserów im. S.I. Vavilowa w St. Petersburgu) unikalnego wówczas systemu laserowego, wytwarzającego impulsy o czasie trwania 1,2 ps i mocy impulsu 2 TW, co pozwalało uzyskać, po zogniskowaniu wiązki laserowej na powierzchni tarczy, gęstość mocy promieniowania laserowego w ognisku w zakresie 10^{17} W/cm². Konstrukcja tego systemu laserowego pozwalała ponadto wytwarzać impulsy laserowe wielkiej mocy przy stosunkowo wysokim kontraście, czyli wartości stosunku energii promieniowania w impulsie laserowym do energii promieniowania przed impulsem, które powstaje w procesie wytwarzania i wzmacniania impulsu w systemie laserowym, przy czym kontrast ten był znacznie większy dla odstępu czasowego powyżej około 1 ns przed impulsem wielkiej mocy. Umożliwiło to prowadzenie badań oddziaływania impulsów laserowych wielkiej mocy z tarczami w postaci bardzo cienkich folii, o grubości w zakresie pojedynczych μm i poniżej oraz badań procesów przyspieszania jonów w wytwarzanej w ten sposób plazmie. Badania te zaowocowały uzyskaniem po raz pierwszy ukierunkowanych intensywnych strumieni protonów przyspieszanych do energii powyżej 100 keV w wyniku oddziaływania impulsów laserowych o czasie trwania 1,2 ps i gęstości mocy 10^{17} W/cm² z tarczami w postaci folii z polistyrenu (PS) o grubości 2 μm lub folii PS pokrytych dodatkowo cienką warstwą złota o grubości 0,05 μm na przedniej powierzchni folii (od strony impulsu laserowego padającego na tarczę).

Zmierzone w eksperymencie parametry wytwarzanych strumieni protonów autorzy wyjaśniają za pomocą zaproponowanego wcześniej przez zespół z Lawrence Livermore National Laboratory (Hatchett et al. 2000) modelu fizycznego, w którym przyspieszanie protonów zachodzi pod wpływem bardzo silnych pól elektrycznych ($\sim 10^6$ V/ μm), który obecnie jest powszechnie znany pod określeniem TNSA, pochodzącym od angielskiej nazwy modelu przyspieszania *Target Normal Sheath Acceleration (TNSA)* zaproponowanej przez ten sam zespół (Wilks et al. 2001). Model ten dobrze wyjaśniał wyniki pomiarów strumieni jonów wytwarzanych w wyniku oddziaływania z tarczami impulsów laserowych o mocy w zakresie PW (gęstość mocy w ognisku lasera $> 10^{19}$ W/cm²). Wyniki badań zespołu IFPiLM zostały opublikowane w 2001 roku w czasopiśmie *Physical Review Letters*. Zostały one zauważone przez specjalistów, o czym świadczy liczba 100 cytowań tego artykułu przez innych autorów (81 bez uwzględnienia autocytowań). Biorąc pod uwagę stosunkowo nieliczną grupę naukowców zajmujących się tą problematyką, powyższa liczba świadczy o dużym zainteresowaniu pracą i jej uznaniu. Habilitant jest wymieniony wśród autorów tego artykułu, jednakże nie podaje go w cyklu publikacji dokumentującym osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

Otrzymane w powyższym eksperymencie niektóre parametry strumieni przyspieszanych protonów różniły się w znacznym stopniu od parametrów strumieni wytwarzanych w eksperymentach realizowanych przez inne zespoły. W szczególności dotyczyło to wartości prądu (lub liczby jonów) strumienia protonów, które w przypadku eksperymentów w IFPiLM znaczenie przekraczały wartości uzyskiwane w eksperymentach w innych ośrodkach. Efekt ten potwierdziły kolejne eksperymenty przeprowadzone w IFPiLM, których wyniki przedstawione zostały w kilku artykułach opublikowanych w latach 2004-2005, które wchodzi w skład cyklu publikacji Habilitanta i są przedstawione w tabeli pod numerami 1-5. Autorzy donoszą w nich o wytworzeniu, w wyniku oddziaływania impulsów laserowych o mocy $\sim 10^{17}$ W/cm² z tarczami w postaci cienkiej folii (grubość ~ 1 μm), strumieni intensywnych strumieni jonów, których gęstość prądu w pobliżu tarczy przekracza wartość 10^{10} A/cm². Jest to porównywalne z wartościami gęstości prądu otrzymywanymi we wspomnianych wyżej eksperymentach w innych ośrodkach z zastosowaniem laserów o mocy PW. W celu wyjaśnienia tego efektu autorzy zaproponowali nowy model przyspieszania jonów w plazmie, który opiera się na oddziaływaniu sił ponderomotorycznych powstających w pobliżu powierzchni krytycznej w cienkiej warstwie (ang. *skin-layer*) plazmy o grubości porównywalnej z długością fali promieniowania laserowego o wymiarach poprzecznych przekraczających kilkakrotnie średnicę wiązki laserowej w ognisku. Wytwarzanie takich sił było przewidziane teoretycznie przez prof. H. Horę, który jest współautorem wymienionych artykułów. Ze względu na charakterystyczne cechy opracowanego modelu (przyspieszanie w wyniku działania sił ponderomotorycznych powstających w cienkiej warstwie plazmy wytwarzanej impulsem laserowym) autorzy określili go nazwą SLPA, będącą skrótem od pełnej nazwy modelu w języku angielskim *Skin-Layer Ponderomotive Acceleration (S-LPA)*. W artykułach autorstwa prof. Hory jest on określany nazwą SLANF, pochodzącą od nazwy modelu w języku angielskim *Skin-Layer Acceleration by Nonlinear Forces* (Hora et al. 2007 – publikacja nr 12).

Udział Habilitanta w przygotowaniu wymienionych artykułów był znaczący i polegał na przeprowadzeniu teoretycznych badań procesu oddziaływania impulsu laserowego z plazmą i jej przyspieszania za pomocą symulacji komputerowych. Symulacje były prowadzone z zastosowaniem jednowymiarowego dwupłynowego modelu hydrodynamicznego, opracowanego wcześniej w zespole prof. Hory (Hora et al. 1984, Hora & Aydin 1992) i przystosowanego przez Habilitanta do badań procesu przyspieszania metodą SLPA. Model został skrótowo przedstawiony w publikacji nr 3, której współautorem jest Habilitant.

Model zakłada oddziaływanie impulsu laserowego wielkiej mocy z plazmą o ściśle określonym rozkładzie przestrzennym gęstości elektronowej, który był możliwy do otrzymania w przeprowadzonych eksperymentach z użyciem systemu laserowego zbudowanego w IFPiLM. Wyniki symulacji komputerowych zgadzają się w dużym stopniu z wynikami eksperymentów. Opracowanie modelu teoretycznego, który pozwolił na interpretację przeprowadzonych w IFPiLM eksperymentów oddziaływania pikosekundowych impulsów laserowych dużej mocy ($\sim 10^{17}$ W/cm²) z materią oraz wyjaśnienie bardzo złożonego procesu fizycznego, jakim jest przyspieszanie jonów w plazmie laserowej wytwarzanej takimi impulsami, jest dużym osiągnięciem naukowym. Zastanawiać może stosunkowo niska, w porównaniu np. z artykułem opublikowanym przez zespół z Lawrence Livermore National Laboratory (Hatchett et al. 2000), który był dotychczas cytowany ponad 1200 razy, liczba cytowań publikacji prezentujących wyniki badań prowadzonych przez zespół IFPiLM. Można przypuszczać, że wpływ na to mają także czynniki pozamerytoryczne, jednakże fakt ten nie ma mieć wpływu na wysoką ocenę tego osiągnięcia.

Przedstawiony w publikacji nr 3 model komputerowy został także zastosowany w badaniach zmian przestrzennych rozkładów gęstości elektronowej plazmy, które są związane ze stochastycznymi pulsacjami gęstości wynikającymi ze struktury falowej impulsu laserowego i powstawania w plazmie fali stojącej. Efekt ten, nazywany w języku angielskim *rippling effect*, jest szkodliwy, ponieważ może utrudniać propagację promieniowania laserowego w plazmie i powodować mniejszą absorpcję promieniowania w obszarze plazmy o gęstości elektronowej zbliżonej do gęstości krytycznej. Zaproponowane zostały różne metody zmniejszenia tego efektu. W publikacji nr 6, w której Habilitant jest wymieniony na pierwszym miejscu listy autorów, przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań efektu pulsacji gęstości elektronów, które wskazały, że jego negatywny wpływ może być zmniejszony poprzez zastosowanie do naświetlania tarczy plazmowej impulsów promieniowania laserowego o różnych długościach fali. Wykazano, że zmniejszona w takim przypadku gęstość mocy promieniowania laserowego na tarczy nie powoduje zmniejszenia energii przyspieszanych jonów. Badania tego efektu prowadzone były także przez zespół IFPiLM z udziałem Habilitanta z zastosowaniem analitycznego opisu procesu. Wyniki tych badań przedstawiono w publikacji nr 8.

Głównym motywem badań w zakresie wytwarzania intensywnych strumieni wysokoenergetycznych protonów, prowadzonych przez zespół IFPiLM, w tym także Habilitanta, jest ich zastosowanie w badaniach laserowej syntezy termojądrowej w układzie tzw. szybkiego zapłonu IF (ang. *Fast Ignition – FI*). Zastosowanie w tym celu strumieni protonów przyspieszanych metodą SLPA zostało zaproponowane w artykule oznaczonym nr 9. Powołując się na opublikowane wcześniej przez innych autorów wymagania dotyczące parametrów układu typu IF (Atzeni et al. 2002) w artykule tym wskazano na konieczność znacznego zwiększenia gęstości prądu w strumieniu przyspieszanych protonów. Zaproponowano spełnienie tego warunku poprzez przyspieszanie protonów metodą SLPA z zastosowaniem do naświetlania tarczy plazmowej impulsów laserowych o gęstościach mocy przekraczających wartość 10^{19} - 10^{20} W/cm², przy których elektrony są przyspieszane do prędkości bliskich prędkości światła. Ten zakres gęstości mocy promieniowania laserowego jest w literaturze określany jako zakres relatywistyczny. Analiza realizacji syntezy termojądrowej w układzie FI została przedstawiona w przeglądowych artykułach oznaczonych nr 12 i nr 13. W obydwu artykułach przedstawiono metodę przyspieszania SLPA, jako najbardziej obiecującą dla realizacji syntezy w układzie FI. Obydwie publikacje są ciekawym przyczynkiem w badaniach syntezy laserowej i wzbudziły pewne zainteresowanie, jednakże, pomimo upływu ponad 10 lat od ich opublikowania, nie są podejmowane próby jej realizacji w praktyce z zastosowaniem proponowanej metody.

Znacznym osiągnięciem Habilitanta było rozwinięcie stosowanego wcześniej jednowymiarowego modelu hydrodynamicznego poprzez uzupełnienie równania zachowania dla elektronów o człony opisujące efekty relatywistyczne, co pozwoliło na uwzględnienie zmiany masy elektronów poruszających się z prędkością bliską prędkości światła. Umożliwiło to prowadzenie badań oddziaływania impulsów laserowych w relatywistycznym zakresie gęstości mocy (powyżej 10^{18} W/cm²). Ponadto model został przez niego rozwinięty do modelu dwuwymiarowego, co umożliwiło prowadzenie badań przestrzennych rozkładów wytwarzanego strumienia przyspieszanych jonów. Nowy model został skrótowo przedstawiony w publikacji nr 10, w której Habilitant jest wymieniony na pierwszym miejscu listy autorów.

Opracowany model komputerowy został zastosowany w teoretycznych badaniach oddziaływania impulsów laserowych przy gęstościach mocy w zakresie relatywistycznym i przyspieszania protonów w różnych układach tarcz plazmowych. Wyniki tych badań zostały przedstawione w publikacjach oznaczonych nr 7 oraz nr 11. W pierwszej publikacji wykazano możliwość wytwarzania silnie ukierunkowanych strumieni protonów (kąt rozwarcia $< 10^\circ$) o gęstości prądu $\sim 10^{11}$ A/cm² przy gęstości mocy promieniowania laserowego 10^{18} W/cm². Warunkiem wytwarzania takich strumieni jest spełnienie wymagań odnośnie średnicy wiązki laserowej na powierzchni tarczy plazmowej oraz rozkładu przestrzennego plazmy w naświetlanej tarczy, które są konieczne w metodzie przyspieszania SLPA. Wymagania te mogą jednak powodować ograniczenia jej zastosowania w praktyce. Zastosowanie w badaniach modelu 2D ponadto pozwoliło na stwierdzenie występowania, w przypadku zbyt małej średnicy wiązki laserowej, nierównomiernej struktury przestrzennej wytwarzanego strumienia jonów. Analogiczna nierównomierna struktura (ang. *multi-bubble structure*) została wcześniej otrzymana w wyniku symulacji komputerowych prowadzonych przez zespół z Lawrence Livermore National Laboratory (Wilks et al. 1992) z zastosowaniem modelu PIC (ang. *Particle-In-Cell*). Publikacja nr 11 przedstawia wyniki teoretycznych badań możliwości uzyskania wysokich wartości gęstości prądu w strumieniu przyspieszanych protonów poprzez ich ogniskowanie. Symulacje przeprowadzone opracowanym hydrodynamicznym modelem komputerowym 2D wskazały na możliwość ogniskowania strumienia protonów poprzez naświetlanie impulsami laserowymi odpowiednio ukształtowanej tarczy plazmowej o wymaganym rozkładzie przestrzennym gęstości elektronowej, przy którym spełnione są warunki przyspieszania protonów siłami ponderomotorycznymi. Pokazano, że możliwe jest otrzymanie w ten sposób gęstości prądu powyżej 10^9 A/cm² w ognisku strumienia protonów w odległości kilkudziesięciu μ m od powierzchni naświetlanej tarczy plazmowej impulsami laserowymi o gęstości mocy 10^{18} W/cm².

Kolejnym modelem komputerowym zastosowanym w badaniach był jednowymiarowy relatywistyczny model do symulacji komputerowych typu PIC (ang. *particle-in-cell*). Zgodnie z informacją podaną w publikacji nr 19, model jest zmodyfikowaną wersją modelu LPIC++ (Lichters 1998). Opracowany model był zastosowany zarówno do przeprowadzenia teoretycznych badań oddziaływania impulsów laserowych w relatywistycznym zakresie gęstości mocy z tarczami plazmowymi i ich przyspieszania, jak również do interpretacji wyników badań eksperymentalnych prowadzonych przez zespół IFPiLM w ramach współpracy z zagranicą. Wyniki badań eksperymentalnych oraz ich interpretację z zastosowaniem nowego modelu zostały przedstawione w publikacjach oznaczonych nr 14, 15 oraz 17. Prace te dotyczą wyniki eksperymentów oddziaływania impulsów laserowych o gęstości mocy w zakresie relatywistycznym oraz wytwarzania wysokoenergetycznych strumieni protonów, które przeprowadzone zostały przez zespół IFPiLM w ramach współpracy z zespołem z Ecole Polytechnique w Palaiseau we Francji.

W badaniach tych zastosowano system laserowy LULI wytwarzający impulsy laserowe o czasie trwania 0,35 ps i gęstości mocy w ognisku do 2×10^{19} W/cm². W eksperymentach uzyskano wiązki protonów o energiach w zakresie 1-3 MeV i gęstości prądu $\sim 10^{12}$ A/cm², co odpowiada intensywności $\sim 10^{18}$ W/cm². Wyniki pomiarów były zgodne z wynikami symulacji komputerowych przeprowadzonych przez Habilitanta z zastosowaniem modelu PIC. Przeprowadzone w Palaiseau badania eksperymentalne wykazały, że możliwe jest wytworzenie wiązek protonów o takich parametrach przy spełnieniu wymagań określonych dla przyspieszania siłami ponderomotorycznymi, co potwierdziło wyniki wcześniejszych badań teoretycznych przeprowadzonych przez Habilitanta. W eksperymentach stwierdzono także znaczną poprawę parametrów wytwarzanych strumieni protonów w przypadku stosowania promieniowania drugiej harmonicznej lasera Nd:glass. Wyniki te są zgodne z pracami teoretycznymi opisanymi w publikacji nr 16, w której przedstawione zostały wyniki badań wpływu długości fali promieniowania laserowego na parametry wytwarzanych strumieni jonów. Wykazano w nich po raz pierwszy możliwość uzyskiwania wiązek protonów o energiach w \sim MeV, o gęstościach prądu $\sim 10^{14}$ A/cm², co odpowiada intensywności $\sim 10^{21}$ W/cm², pod warunkiem stosowania impulsów laserowych o długości fali promieniowania $\leq 0,5$ μ m i gęstości mocy $\leq 10^{20}$ W/cm². Kolejna publikacja, oznaczona nr 18, przedstawia także teoretyczne badania przeprowadzone z zastosowaniem modelu PIC. Dotyczą one zależności parametrów przyspieszanej plazmy od długości fali promieniowania laserowego. Przeprowadzone symulacje pokazały, że zastosowanie do naświetlania plazmy impulsów lasera UV stwarza możliwość przyspieszania do prędkości sub-relatywistycznych strumieni gęstej plazmy o gęstości bliskiej gęstości ciała stałego.

Opracowany przez Habilitanta model komputerowy typu PIC został także zastosowany w badaniach nowej metody przyspieszania gęstej plazmy laserem opracowanej przez zespół IFPiLM. Nowa metoda, nazwana przez autorów LICPA (ang. *laser-induced cavity pressure acceleration*), jest analogiczna do działania klasycznego działa, w którym pocisk jest przyspieszany w wyniku działania sił ciśnienia wytwarzanych przez ładunek prochowy. W metodzie LICPA odpowiednikiem lufy działa jest metalowy cylinder o średnicy 0,3-0,45 mm i długości do 3 mm. Jeden z otworów cylindra jest zamknięty ścianką, w której wykonany jest otworek o średnicy 0,15 lub 0,23 mm. Wewnątrz cylindra, w odległości 0,1-0,4 mm od ścianki, umocowana jest folia polimerowa CH o grubości 10-30 μ m lub CD₂ o grubości 10-30 μ m, albo folia Al o grubości 6-75 μ m, która jest pociskiem napędzanym przez ciśnienie wytwarzane we wnęce (objętość między ścianką cylindra, a folią) w wyniku laserowej ablacji folii naświetlanej przez promieniowanie laserowe wchodzące do wnęki przez otworek o średnicy 0,15 lub 0,23 w ściance cylindra lub przez ciśnienie wytwarzane w wyniku działania sił ponderomotorycznych promieniowania laserowego. Nowa metoda przyspieszania opiera się na znanym efekcie zwiększania wydajności naświetlania tarcz impulsami laserowymi w układzie tzw. tarczy *cannonball target* (Azechi et al., 1981), która w latach 80-tych była przedmiotem intensywnych badań na Uniwersytecie w Osace w Japonii.

Badania eksperymentalne nowej metody przyspieszania zostały przeprowadzone w ośrodku PALS w Pradze z zastosowaniem systemu laserowego wytwarzającego impulsy promieniowania laserowego o czasie trwania 0,3 ns, energii impulsów w przedziale od 50 J do 400 J i długości fali 1,315 μ m lub 0,438 μ m. Wyniki tych badań zostały przedstawione w publikacji nr 19. Pokazują one możliwość przyspieszania plazmy laserowej wytwarzanej w wyniku oddziaływania impulsów laserowych z foliami wewnątrz wnęki (przy gęstości mocy promieniowania $\sim 10^{15}$ W/cm²) do prędkości $\sim 2 \times 10^7$ cm/s z dużo większą wydajnością energetyczną, aniżeli jest to możliwe do uzyskania w wyniku zwykłej (bez wnęki) ablacji laserowej. Wyniki eksperymentów były zgodne z wynikami symulacji komputerowych

przeprowadzonych za pomocą modelu hydrodynamicznego 2D opracowanego przez partnerów z Czech. W publikacji tej przedstawiono także wyniki teoretycznych badań metody LICPA dla przypadku naświetlania tarczy we wnęce impulsami promieniowania laserowego o gęstości mocy $\sim 10^{21}$ W/cm² (parametry systemu laserowego 100 kJ/50 PW). Badania przeprowadzone były przez Habilitanta z zastosowaniem jednowymiarowego modelu PIC. Wykonane symulacje komputerowe pokazały, że nowa metoda przyspieszania pozwala, w relatywistycznym zakresie gęstości mocy promieniowania, na wytwarzanie strumienia gęstej plazmy ($n_e \sim 10^{23}$ cm⁻³) węglowej, przyspieszanego do prędkości sub-relatywistycznych ($\gg 10^8$ cm/s), z wydajnością energetyczną sięgającą 50 % oraz intensywności $\sim 10^{22}$ W/cm², co odpowiada gęstości prądu $\sim 10^{14}$ A/cm². Przyspieszanie plazmy jest skutkiem działania ciśnienia promieniowania laserowego we wnęce. Dalsze badania teoretyczne przyspieszania gęstej plazmy laserowej metodą LICPA w zakresie relatywistycznym ($> 10^{21}$ W/cm²), przeprowadzone za pomocą jednowymiarowego modelu PIC, są przedmiotem publikacji nr 20. Przeprowadzone przez Habilitanta symulacje komputerowe wykazały potencjalną możliwość wytwarzania, z kilkudziesięciu procentową wydajnością energetyczną, strumieni plazmy z węgla o gęstości porównywalnej z gęstością ciała stałego, ze średnią energią jonów w zakresie GeV, których intensywność przewyższa wartość 10^{20} W/cm². Wykazały one ponadto znacznie wyższą wydajność energetyczną nowej metody w porównaniu z klasyczną metodą przyspieszania RPA (ang. *radiation pressure acceleration*), które także zachodzi na skutek działania ciśnienia promieniowania, ale bez wnęki. Jednowymiarowy model PIC zastosowany był także w teoretycznych badaniach możliwości zastosowania nowej metody przyspieszania plazmy w układach laserowej syntezy termojądrowej. Są one przedmiotem publikacji nr 22, w której pokazano, że stosując impulsy laserowe o czasie trwania 10 ps i energii impulsu 100 kJ możliwe jest uzyskanie metodą LICPA strumieni plazmy ze złota o masie 0,5 μ g przyspieszanych do prędkości $\sim 10^9$ cm/s, które spełniają warunki określone dla układu syntezy typu *impact* (Caruso and Pais, 1996). Wyniki tych symulacji komputerowych przeprowadzonych za pomocą jednowymiarowego modelu PIC, dotyczące zarówno wytwarzania metodą LICPA strumieni plazmy z węgla, jak i strumieni plazmy ze złota, zostały także przedstawione w publikacji nr 24, która jest artykułem podsumowującym przeprowadzone eksperymentalne i teoretyczne badania tej metody.

Publikacja nr 21, której jedynym autorem jest Habilitant, dotyczy badań przyspieszania jonów impulsami laserowymi w relatywistycznym zakresie gęstości mocy promieniowania z zastosowaniem nowego dwuwymiarowego modelu typu PIC. W artykule podany jest opis opracowanego nowego modelu oraz przedstawione są przykładowe wyniki symulacji komputerowych wytwarzania strumieni plazmy z węgla metodą LICPA z zastosowaniem impulsów laserowych o intensywności 2×10^{22} W/cm². Wyniki tych symulacji potwierdzają rezultaty badań przeprowadzonych wcześniej z zastosowaniem jednowymiarowego modelu PIC, co zostało przedstawione w publikacji nr 23, która przedstawia szczegółową analizę teoretyczną nowej metody przyspieszania.

W podsumowaniu oceny osiągnięcia naukowego dr Sławomira Jabłońskiego w postaci cyklu publikacji pt. „*Badania procesów akceleracji tarcz plazmowych przy użyciu laserów dużej ($I_L < 10^{19}$ W/cm²) i wielkiej mocy ($I_L < 10^{19}$ W/cm²) przy wykorzystaniu modelowania komputerowego*” należy stwierdzić, że opublikowane artykuły znacznie poszerzają naszą wiedzę w zakresie przyspieszania jonów w zastosowaniu laserów i mogą być przydatne dla naukowców zajmujących się badaniami w tym obszarze. Największym osiągnięciem Habilitanta jest opracowanie dwupłynowego modelu hydrodynamicznego plazmy laserowej oraz modelu typu PIC (ang. *particle-in-cell*), które zostały zastosowane w badaniach oddziaływania ultrakrótkich impulsów laserowych z tarczami plazmowymi przy gęstościach mocy w zakresie sub-relatywistycznych ($< 10^{18}$ W/cm²) i relatywistycznych ($> 10^{18}$ W/cm²)

oraz do badań procesu wytwarzania intensywnych strumieni wysokoenergetycznych jonów w wytwarzanej plazmie metodami symulacji komputerowych. Opracowane modele umożliwiły interpretację wyników eksperymentów przeprowadzonych w IFPiLM z zastosowaniem pikosekundowego lasera o mocy 2 TW (zakres sub-relatywistyczny), eksperymentów przeprowadzonych w ośrodku laserowym LULI w Ecole Polytechnique w Palaiseau, gdzie do badań użyto sub-pikosekundowy laser o mocy 100 TW (zakres relatywistyczny) oraz w ośrodku PALS w Pradze, gdzie w badaniach użyto sub-nanosekundowym laser o energii impulsu do 500 J. Pozwoliły one na stworzenie, poprzez symulacje komputerowe, fizycznego obrazu zaproponowanej metody przyspieszania jonów w plazmie laserowej w wyniku działania sił ponderomotorycznych powstających w obszarze pochłaniania impulsu laserowego oraz nowej metody przyspieszania gęstej plazmy za pomocą ciśnienia we wnęce wytwarzanego w wyniku ablacji laserowej lub promieniowania laserowego. Modele umożliwiły także przeprowadzenie teoretycznych badań obydwu metod przyspieszania z zastosowaniem impulsów laserowych o parametrach, które nie są teraz możliwe do uzyskania, ale które mogą być niebawem dostępne dzięki budowanym obecnie na świecie systemom laserów wielkiej mocy, np. ELI. Udział Habilitanta w przedstawionych publikacjach był bardzo istotny i często decydujący o wartości naukowej prezentowanych wyników.

Podkreślić należy, że główną motywacją badań będących przedmiotem osiągnięcia naukowego Habilitanta jest udział w rozwiązaniu jednego z najważniejszych zagadnień współczesnej nauki, jakim jest realizacja kontrolowanej syntezy termojądrowej, która może w rozwiązać problem zapewnienia energii dla przyszłych pokoleń. Opracowane przez zespół IFPiLM, w tym także przez Habilitanta, metody przyspieszania jonów lub gęstej plazmy laserem, są ciekawym i ważnym wkładem do badań prowadzonych w tym zakresie na świecie, o czym świadczy ich opis, łącznie z podaniem proponowanych schematów ich realizacji, zamieszczony w przeglądowym artykule podsumowującym dotychczasowe prace badawcze dotyczące realizacji syntezy laserowej typu FI z zastosowaniem strumieni protonów lub jonów, opublikowanym przez specjalistów reprezentujących czołowe ośrodki na świecie zajmujące się tą problematyką (Fernandez et al. Nucl. Fusion 54 (2014) 054006).

Ocena działalności naukowej

Działalność naukowa dr. Sławomira Jabłońskiego jest związana z tematyką badań prowadzonych w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie, gdzie Habilitant pracuje od początku swojej kariery naukowej. Zgodnie ze swoim wykształceniem zajmował się początkowo opracowaniem technologii wytwarzania tarcz na potrzeby badań plazmy wytwarzanej laserem. Rozpoczął w tym czasie także prace mające na celu opracowania programów komputerowych do badania różnego rodzaju układów i elementów optycznych, np. pokryć cienkowarstwowych na elementach optyki laserowej, elementów optyki światłowodowej, jednakże działalność ta nie jest udokumentowana publikacjami dostępnymi w bazie WoS.

Szeregiem publikacji naukowych zakończyła się działalność naukowa Habilitanta dotycząca teoretycznych badań generacji ultrakrótkich impulsów promieniowania w laserach ekscymerowych, prowadzona za pomocą opracowanych programów komputerowych, która skutkowałą otrzymaniem stopnia naukowego doktora oraz badań oddziaływania impulsów laserowych z materią i wytwarzania strumieni jonów oraz impulsów promieniowania rentgenowskiego w plazmie laserowej. Habilitant jest współautorem wspomnianego wcześniej artykułu o wytwarzaniu szybkich protonów w wyniku oddziaływania ultrakrótkich impulsów laserowych z tarczami dwuwarstwowymi, opublikowanego w czasopiśmie *Physical Review Letters*.

Głównym tematem działalności dotychczasowej naukowej Habilitanta i przedmiotem większości opublikowanych artykułów jest oddziaływanie impulsów laserowych z materią i przyspieszanie jonów oraz plazmy laserowej. Wybrane publikacje, prezentujące wyniki przeprowadzonych przez niego badań teoretycznych za pomocą modeli komputerowych, zostały przedstawione, jako osiągnięcie naukowe w postępowaniu habilitacyjnym. Poza działalnością naukową w tym obszarze wiedzy, Habilitant w ostatnich latach rozpoczął prace dotyczące badań plazmy z utrzymaniem magnetycznym plazmy w układzie stellaratora Wendelstein 7-X zbudowanego w ośrodku badań plazmowych w Greifswaldzie w Niemczech. Maja one także związek z zagadnieniem kontrolowanej syntezy. Prace te zaowocowały szeregiem publikacji w czasopiśmie naukowych, w tym jednym artykułem w czasopiśmie *Nature Communications* oraz trzech artykułach w *Nature Physics*.

Liczba artykułów opublikowanych przez Habilitantka, zgodnie z bazą SCOPUS, wynosi 94. Artykuły były cytowane 1074 razy (342 razy bez autocytowań). Odpowiadający temu indeks Hirsha wynosi $h = 19$ (11 bez autocytowań), co należy uznać za bardzo dobry wynik, biorąc pod uwagę wspomnianą tematykę prowadzonych badań. W podsumowaniu można stwierdzić, że dotychczasowy dorobek naukowy dr. Sławomira Jabłońskiego świadczy o tym, że jest on wybitnym specjalistą w zakresie oddziaływania impulsów laserowych z materią i przyspieszania jonów oraz plazmy laserowej. Obecna działalność naukowa Habilitanta dotycząca plazmy z utrzymaniem magnetycznym oraz wyniki tej działalności wskazują na jego szersze zainteresowania, które także skutkują znacznymi osiągnięciami.

Habilitant kierował jednym projektem badawczym oraz był wykonawcą szesnastu projektów. Wygłosił dwa referaty zapraszone na międzynarodowych konferencjach naukowych (w 2004 i 2007 roku), co nie jest satysfakcjonujące i mogło mieć wpływ na mniejszą, aniżeli oczekiwana, znajomość wyników przeprowadzonych badań w środowisku naukowym zajmującym się tą tematyką, o czym może świadczyć brak, lub bardzo mała ilość cytowań niektórych artykułów przez innych autorów. Fakt ten nie powinien mieć negatywnego wpływu na wysoką ocenę działalności naukowej Habilitanta, ponieważ mógł wynikać z czynników od niego niezależnych.

Ocena w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej.

Dorobek dydaktyczny Habilitanta ogranicza się do sprawowania funkcji promotora pomocniczego w jednym przewodzie doktorskim oraz do opieki naukowej studenta Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej podczas przygotowywania przez niego pracy dyplomowej. Rozprawa w tym przewodzie została obroniona z wyróżnieniem. Tak skromny dorobek dydaktyczny jest raczej typowy w przypadku naukowców pracujących w instytutach badawczych, nie prowadzących działalności dydaktycznej.

W przedstawionej dokumentacji brak jest informacji potrzebnej do oceny dorobku popularyzacyjnego. Podany jest wykaz 45 komunikatów przedstawionych na wielu konferencjach naukowych w kraju i za granicą, ale nie podano, jaki był w nich udział Habilitanta.

Dr Jabłoński posiada natomiast znaczny dorobek w zakresie współpracy naukowej z zagranicą. Współpracował bardzo aktywnie z prof. H. Horą, który jest jedną z czołowych postaci w środowisku naukowym zajmującym się tą tematyką na świecie. Współpraca z nim zaowocowała szeregiem bardzo dobrych, cieszących się uznaniem publikacji. Można przypuszczać, że wynikiem tej współpracy był staż naukowy, jaki odbył w 2004 roku na Uniwersytecie Sydney w Australii, który miał niewątpliwie duże znaczenie dla rozwoju naukowego Habilitanta. Współpraca międzynarodowa umożliwiła także przeprowadzenie badań eksperymentalnych z zastosowaniem laserów, które nie dostępne w Polsce.

Habilitant odegrał w nich bardzo znaczącą rolę w zakresie interpretacji wyników badań. Można żałować, że współpraca międzynarodowa w tym czasie nie objęła współpracy z zespołami teoretyków zajmujących się tą tematyką w ośrodkach zagranicznych, co miało by niewątpliwie wpływ na popularyzację wyników prowadzonych przez niego badań.

Podsumowanie i wniosek końcowy.

Podsumowując przedstawioną wyżej wysoką ocenę osiągnięcia naukowego w postaci cyklu publikacji powiązanych tematycznie, ocenę działalności naukowej i ocenę dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej dr. Sławomira Jabłońskiego, w związku z postępowaniem habilitacyjnym prowadzonym przez Radę Naukową Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Otwocku stwierdzam, że jego dorobek wskazuje na znaczny wkład Habilitanta w rozwój wiedzy w zakresie fizyki oraz jej istotną aktywność naukową, a tym samym osiągnięcia naukowe wnioskodawcy spełniają kryteria określone w ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz są w pełni wystarczające do nadania jemu stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka.

