

RECENZJA

cyklu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe pt. "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" oraz ocena całokształtu działalności naukowo-badawczej i aktywności naukowej dr Sławomira Jabłońskiego

Recenzja została sporządzona po powołaniu mnie przez Radę Naukową NCBJ na recenzenta w postępowaniu habilitacyjnym dr Sławomira Jabłońskiego, kandydata do stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka.

Przedstawione zostało osiągnięcie naukowe pt. "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" wraz z pięcioma załącznikami:

- poświadczona kopia dyplomu doktora nauk fizycznych,
- autoreferat w języku polskim i angielskim,
- wykaz opublikowanych prac i osiągnięć naukowych w języku polskim i angielskim,
- publikacje stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego,
- oświadczenie współautorów.

Przedstawiając osiągnięcie naukowe w postaci jednotematycznego cyklu 24 publikacji dr Sławomir Jabłoński spełnił podstawowy warunek dopuszczenia do postępowania habilitacyjnego, zgodnie z obowiązującymi przepisami, a w szczególności art. 16, art. 18a i art. 21 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami) dotyczącymi postępowania habilitacyjnego.

1. Dane o kandydacie.

- Imię i Nazwisko: Sławomir Jabłoński
- Przebieg pracy zawodowej:
 - 1986-1991 - asystent w Samodzielnym Laboratorium Technologicznym w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie,

- 1991-1998 - asystent w Zakładzie Plazmy Laserowej w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie,
- 1998-2017 - adiunkt w Zakładzie Fuzji Laserowej w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie,
- 2017-obecnie - adiunkt w Zakładzie Fuzji Jądrowej i Spektroskopii Plazmy w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie,
- Rozwój naukowy:
 - dyplom magistra chemii - 1986 na Wydziale Chemii Podstawowej i Stosowanej Uniwersytetu Warszawskiego, tytuł pracy magisterskiej: *"Zastosowanie izopropylocykloheksylokarbodiinitu w syntezie peptydów"*,
 - dyplom doktora fizyki - 1998 na Wydziale Fizyki i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej, tytuł rozprawy doktorskiej: *"Modelowanie generacji krótkich impulsów światła w laserach ekscymerowych"*.

2. Omówienie osiągnięć naukowo-badawczych

Osiągnięcia naukowo-badawcze Habilitanta, usystematyzowane zgodnie z kryteriami z Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r.:

1. *Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR):*
 - autorstwo i współautorstwo – łącznie **39** publikacji o współczynniku **IF** pomiędzy 0.568 - 4.308;
2. *Wynalazki, wzory użytkowe i przemysłowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych i krajowych wystawach lub targach:*
 - ;
3. *Autorstwo zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego:*
 - ;
4. *Udzielone patenty międzynarodowe lub krajowe (w tym wynalazki, wzory użytkowe i przemysłowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych i krajowych wystawach lub targach):*
 - patent: **PL 181756 B1** - *"Sposób wytwarzania ultrakrótkich impulsów światła w laserze ekscymerowym"*, zakres ochrony: Polska, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej;

5. *Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie Journal Citation Reports (JCR), dla danego obszaru wiedzy:*
- ;
 6. *Autorstwo lub współautorstwo odpowiednio dla danego obszaru: opracowań zbiorowych, katalogów zbiorowych, dokumentacji prac badawczych i ekspertyz:*
- ;
 7. *Summaryczny impact factor publikacji naukowych według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania:*
66.319;
 8. *Liczbę cytowań publikacji według bazy Web of Science (WOS):*
Według stanu na dzień 05. 07. 2018: **803 cytowań ogółem, 612 bez autocytowań;**
 9. *Indeks Hirscha opublikowanych publikacji według bazy Web of Science (WOS):*
Według stanu na dzień 05. 07. 2018 - **16;**
 10. *Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach:*
- kierownik projektu - Grant KDM: G57-20 w latach 2014-2018;
- współwykonawca **3-ch** krajowych i **13-tu** międzynarodowych projektów badawczych w latach 2004 - 2018;
 11. *Międzynarodowe lub krajowe nagrody i wyróżnienia za działalność naukową:*
- ;
 12. *Wygłoszenie referatów (z wyróżnieniem zaproszonych) na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych:*
- **2** referaty zaproszone;
 1. **"Two-fluid computations of plasma block dynamics for numerical analyze of rippling effect"** - International Workshop on "Fast High Density Plasma Blocks Driven by Picosecond Terawatt Laser" w Sydney, Australia;
 2. **"Progress and prospect of fast ignition of ICR targets"** - 34th EPS Conference on Plasma Physics w Warszawie, Polska;
- **45** komunikatów i prezentacji konferencyjnych w kraju i za granicą;
- 3. Osiągnięcia Habilitanta w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej**
1. Opieka nad studentami:

- promotor pomocniczy w rozprawie doktorskiej *"Numeryczne modelowanie laserowej generacji intensywnych wiązek jonów"* -2017r. **praca obroniona i wyróżniona**;
- promotor pomocniczy w pracy inżynierskiej *"Implementacja i analiza wydajności programu do symulacji Particle-in-Cell w języku Python"* -2018r. **praca obroniona**;
- 2. Staże w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich
- stypendium naukowe w ramach grantu *"Visiting Scientist"* ufundowanego przez University of Western Sydney, Australia -2004;

4. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego.

- A-01 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).
- A-02 J. Badziak, S. Głowacz, **S. Jabłoński**, P. Parys, J. Wołowski, H. Hora, J. Krása, L. Lásková and K. Rohlena, "Production of ultrahigh ion current densities at skin-layer subrelativistic laser-plasma interaction", *Plasma Physics and Controlled Fusion* 46 (2004) B541–B555.
- A-03 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).
- A-04 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* (2005), 23, 143–147.
- A-05 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* (2005), 23, 401– 409.
- A-06 **S. Jabłoński**, H. Hora, S. Głowacz, J. Badziak, Yu Cang and F. Osman, "Two-fluid computations of plasma block dynamics for numerical analyze of rippling effect", *Laser and Particle Beams* (2005), 23, 433– 440.
- A-07 J. Badziak, **S. Jabłoński**, S. Głowacz, "Generation of highly collimated high-current ion beams by skin-layer laser-plasma interaction at relativistic laser intensities", *Applied Physics Letters* 89, 061504 (2006).
- A-08 S. Głowacz, H. Hora, J. Badziak, **S. Jabłoński**, 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* (2006), 24, 15–25.

- A-09 J. Badziak, S. Głowacz, 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* (2006), 24, 249–254.
- A-10 **S. Jabłoński**, J. Badziak, S. Głowacz, "2D hydrodynamic simulations of generation of high current proton beams by relativistic skin-layer laser-plasma interaction", *Czechoslovak Journal of Physics* 56, (2006), B485-B492, Suppl. B.
- A-11 J. Badziak and **S. Jabłoński**, "Focusing of high-current laser-driven ion beams", *Applied Physics Letters* 99, 151503 (2007).
- A-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).
- A-13 J.Badziak and **S. Jabłoński**, and J Wołowski, "Progress and prospect of fast ignition of ICF targets", *Plasma Physics and Controlled Fusion* 49, (2007) B651–B666.
- A-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).
- A-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*, vol.1 (1), 22-24 (2009).
- A-16 J. Badziak and **S. Jabłoński**, "Ultraintense ion beams driven by a short-wavelength short-pulse laser", *Physics of Plasmas* 17, 073106 (2010).
- A-17 J. Badziak, **S. Jabłoński**, P. Parys, A. Szydłowski, J. Fuchs and A. Mancic, "Production of high-intensity proton fluxes by a 2ω Nd:glass laser beam", *Laser and Particle Beams* (2010), 28, 575–583.
- A-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).
- A-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).

- A-20 J. Badziak, **S. Jabłoński**, and P. Rączka, "Highly efficient generation of ultra intense high- energy ion beams using laser-induced cavity pressure acceleration", Applied Physics Letters 101, 084102 (2012).
- A-21 **S. Jabłoński**, "Two-dimensional relativistic particle-in-cell code for simulation of laser- driven ion acceleration in various acceleration schemes", Physica Scripta T161 (2014) 014022.
- A-22 J. Badziak, **S. Jabłoński**, "Efficient acceleration of dense plasma bunches for fusion related applications in the LICPA accelerator", Physica Scripta (2014) T161, :014031.
- A-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 (2014) 32, :129-135.
- A-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 (2015) 014007.

5. Szczegółowe omówienie treści recenzowanych prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.

W pracach [A-01, A-02] zaprezentowano autorski dwu-płynowy, nierelatywistyczny kod hydrodynamiczny, dzięki któremu symulowano oddziaływania krótkich impulsów laserowych z tarczami stałymi. Wykazano, że w pewnych warunkach oddziaływania impulsów laserowych o natężeniach sub-relatywistycznych z tarczą stałą, możliwe jest uzyskanie wysokich prądów jonowych o gęstościach powyżej 10^{10} A/cm². Występuje to wtedy, gdy zasadniczy impuls laserowy oddziałuje z pre-plazmą wytworzoną na powierzchni tarczy przez poprzedzający go pre-impuls (mechanizm SLPA). Na jony działa wtedy siła ponderomotoryczna, która indukowana jest w obszarze gęstości krytycznej pre-plazmy. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż uzyskane gęstości prądów jonowych ($\geq 10^{10}$ A/cm²) są porównywalne do tych, które uzyskuje się przy użyciu laserów krótko-impulsowych (piko-, a nawet femto-sekundowych) o relatywistycznych natężeniach wiązki ($I_L \cdot \lambda_L^2 > 10^{18}$ W/cm²·μm², λ_L – długość fali wiązki lasera) a dominującym mechanizmem akceleracji jest mechanizm typu TNSA, potwierdzono to również eksperymentalnie.

W pracy [A-03] kontynuowano symulacje przy użyciu kodu 1D, poszerzone o różne scenariusze oddziaływania wiązek laserowych z tarczami wodorowymi. Znaleziono

zależności pomiędzy prędkością jonów i prądem jonowym a intensywnością i długością impulsu laserowego.

Kolejna praca [A-04] prezentuje wyniki symulacji emisji strumieni jonów wodorowych z tarcz o dużym Z (Au, PS oraz PS/Au). W pracy rozważano mechanizmy akceleracji działające zgodnie z kierunkiem propagacji wiązki laserowej jak również w kierunku wstecznym. Po raz pierwszy użyto nowego kodu hydrodynamicznego 2D opartego na dwu-płynowym modelu Hory, Aydina, Borehama. Zaprezentowano dwu-wymiarowe rozkłady gęstości prądu jonowego wytworzone impulsem laserowym o intensywności 10^{16} W/cm².

Praca [A-05] zawiera ważne informacje dotyczące wpływu parametrów L_n preplazmy (preplasma density gradient scale length), n_{ec} (gęstość krytyczna preplazmy) i długości fali lasera λ_L na energię i natężenie wiązek protonów. Uzyskane wyniki pokazują między innymi, że dla wiązki laserowej o $I_L = 10^{17}$ W/cm² i długości impulsu $\tau_L = 1$ ps oraz przy akceleracji SNPA maksymalne energie protonów (> 6 keV) i maksymalne intensywności wiązki protonów ($> 10^{14}$ W/cm²) otrzymuje się dla $L_n/\lambda_L < 1$. Parametry te są wyższe dla pierwszej harmonicznej promieniowania laserowego 1ω niż dla drugiej 2ω . Aby uzyskać podobne parametry wiązki protonów wykorzystując mechanizm TNSA, należy stosować lasery o znacznie większych energiach i intensywnościach. Zaobserwowane wcześniej zjawisko ripplingu, które badano w pracy [A-06], polega na lokalnych zmianach gęstości elektronów i jonów pod wpływem siły ponderomotorycznej. Wygenerowana w opisanym zjawisku tak zwana siatka von-Lauego rozprasza znaczną część promieniowania laserowego, co znacząco ogranicza dalszą depozycję energii wiązki laserowej do krytycznego rejonu plazmy i przez to wpływa niekorzystnie na efektywny proces dalszej akceleracji laserowej. Wyniki uzyskanych symulacji potwierdzono eksperymentalnie i opisano w prezentowanej pracy.

Praca [A-08] jest kontynuacją zagadnień związanych ze zjawiskiem ripplingu. W pracy opisano zastosowaną metodę broad-band irradiation, która polega na jednoczesnym oświetleniu plazmy przez kilka fal o nieznacznie różnych częstotliwościach. Dzięki zastosowaniu przez Habilitanta opisaną uprzednio metody z trzema i pięcioma falami o zmienionych częstotliwościach, udało się uzyskać bardzo dobry poziom stłumienia zjawiska ripplingu nawet trzykrotnie, co zasługuje na wyróżnienie.

W pracy [A-07] wykorzystano nowy kod hydrodynamiczny 2D uwzględniający efekty relatywistyczne do opisu oddziaływań laser-tarcza dla wartości natężenia wiązek laserowych dochodzących do 10^{20} W/cm². Skoncentrowano się głównie na zbadaniu zależności struktury i kąta rozbieżności wiązek jonowych w funkcji średnicy wiązki lasera d_L oraz parametru

preplazmy L_n . Stwierdzono, że lepiej zogniskowaną wiązkę protonów uzyskuje się wtedy, gdy $d_L \gg L_n$.

W pracy [A-09] stosując opracowany kod 2D, skoncentrowano się na porównaniu możliwości uzyskania z mechanizmów akceleracji TNSA oraz S-LPA, wiązek prędkich jonów o takich parametrach, jakie wymagane są przy realizacji tzw. szybkiego zapłonu (FI), który wymagany jest w eksperymentach wykonywanych w celu uzyskania tzw. fuzji inercyjnej (ICF). Aby tego dokonać wymagane gęstości jonowe powinny być na poziomie $n_i \geq 10^{22} \text{ cm}^{-3}$. Przeprowadzone analizy wykazały, że dysponując laserem o $I_L = 5 \cdot 10^{19} \text{ W/cm}^2$ z mechanizmu TNSA, możliwe jest uzyskanie strumienia jonów o gęstości 10^{19} cm^{-3} , natomiast z akceleracji SLPA już dla wiązki laserowej o $I_L = 3 \cdot 10^{18} \text{ W/cm}^2$ i $\tau_L = 200 \text{ fs}$ można uzyskać gęstości jonowe $n_i = 5 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, $j_i = 3 \cdot 10^{11} \text{ A/cm}^2$, $I_i = 5 \cdot 10^{16} \text{ W/cm}^2$ i energie jonów $E_i = 150 \text{ keV}$. Ostatecznie, wyniki wykonanych obliczeń, oraz te uzyskane w innych pracach pokazują że, aby uzyskać FI paliwa DT wstępnie skompresowanego do $\rho = 300\text{-}400 \text{ g/cm}^3$ wiązka protonów powinna mieć następujące parametry: $E_p = 10\text{-}15 \text{ kJ}$, $I_p = 10^{20} \text{ W/cm}^2$, $E_j = 5\text{-}8 \text{ MeV}$. Przeprowadzone wcześniej analizy pokazują, że wiązkę protonów o takich parametrach można uzyskać w mechanizmie SLPA oświetlając odpowiednią tarczę pikosekundową wiązką lasera o energii około 100 kJ.

W pracy [A-10] powrócono do badań numerycznych, dotyczących rozbieżności wiązki jonów wygenerowanej przez mechanizm typu SLPA w przypadku sub-relatywistycznych i relatywistycznych intensywności wiązek i laserowych napędzających tarcze wodorowe. Rozpatrzono szczegółowo przypadki różnych szerokości wiązek laserowych i długości preplazmy dla wiązek o intensywnościach powyżej 10^{17} W/cm^2 . Stwierdzono, np. że dla wiązki laserowej o $I_L = 3 \cdot 10^{18} \text{ W/cm}^2$ i dla preplazmy o $L_n = 0.75 \cdot \lambda_L$ rozbieżność wiązki protonów jest mała dla $d_L = 20 \text{ }\mu\text{m}$ ($< 10^\circ$) i duża dla $d_L = 3 \text{ }\mu\text{m}$ ($> 40^\circ$). Podobnie jest w przypadku wiązek laserowych o sub-relatywistycznych intensywnościach.

W kolejnej pracy [A-11], używając tego samego kodu 2D, badano możliwości skupienia wytworzonych wiązek jonowych za pomocą tzw. ogniskowania relatywistycznego. Analizowano wiązki o dużych gęstościach prądu wytwarzane w tarczach o zakrzywionym profilu. Wykazano, że parametry ogniskowanych w ten sposób wiązek jonowych silnie zależą od parametr L_n preplazmy i promienia krzywizny tarczy R_T . Gdy np. $L_n < 0.5 \cdot \lambda_L$ i R_T jest porównywalny ze średnią wiązką laserowej d_L to znaczna część przyspieszonych jonów może zostać skupiona na obszarze dużo mniejszym niż d_L co prowadzi do znacznego wzrostu fluencji i gęstości prądu wiązki. Jest to kontynuacja badań, których celem jest uzyskanie

wiązki o odpowiedniej gęstości jonów, która mogłaby być zastosowana w eksperymentach z szybkim zapłonem.

Dalsze badania nad fuzją inercyjną (ICF) zostały przedstawione w kolejnej pracy [A-12]. W omawianej pracy badano metodą analizy numerycznej, pewne anomalne efekty, które wystąpiły podczas FI. Efekty te są odpowiedzialne za nieliniowe mechanizmy akceleracji tzw. bloków plazmowych, które w związku z tym są zbyt cienkie i o znacznie niższych gęstościach prądów w stosunku do wymaganych w FI. Stwierdzono, że przy użyciu laserowej akceleracji tarcz plazmowych możliwe jest wytworzenie bloków plazmowych o dużych grubościach i wysokich gęstościach prądu ($J_i > 10^{10}$ A/cm²) np. w wyniku akceleracji wygiętych tarcz we wnękach stożkowych. Opisano szczegółowo, przy jakich parametrach wiązek i tarcz oraz z jakim typem mechanizmu akceleracji należy pracować w schemacie szybkiego zapłonu.

W pracy [A-13] dokonano przeglądu literatury w dziedzinie fuzji inercyjnej, a w szczególności dotyczącej badań nad szybkim zapłonem przy użyciu laserów wielkiej mocy oraz przewidywanych kierunków rozwoju tych badań (kompresja paliwa DT). Habilitant szczegółowo zaprezentował istniejące oraz projektowane systemy laserowe takie jak: FIREX I, GEKKO XII, OMEGA, HEPW, SNL, NIF, SG-II, Vulcan PW, Petal oraz Hiper, które są lub mają być przeznaczone do badań fuzji inercyjnej. W pracy przedstawiono również koncepcje realizacji efektywnej i wydajnej akceleracji jonów w oparciu o metody stosowane na świecie i badania własne (eksperymenty w LULI, symulacje numeryczne)

Kolejne prace [A-14, A-15] dotyczą badań zależności wiązek jonowych od struktury tarczy (PS, Au/PS), które wykonywano przy użyciu impulsów lasera o długości 0.35 ps i energii 15 J. Habilitant użył do tego jednowymiarowego relatywistycznego kodu 1D, który oparty jest na kinetyce o charakterze Lagrangeowsko-Eulerowski zakładający bezzderzeniowość (Kod PIC, particle-in-cell). Badania miały charakter eksperymentalny, ale oparte były na wynikach uzyskanych z symulacji 1D. Badano protony emitowane z cienkich tarcz (1-3 μ m) oświetlanych promieniowaniem z lasera o parametrach ($E_L = 15$ J, $I_L = 2 \cdot 10^{19}$ W/cm², $\tau_L = 0.35$ ps). Wykazano, że w warunkach dominacji mechanizmu SLPA, można uzyskać terawatowe wiązki protonów o intensywnościach rzędu 10^{18} W/cm². Istotnym osiągnięciem Habilitanta było wykazanie, że parametry uzyskiwanych wiązek protonowych mogą być znacznie powiększone przez zastosowanie tarcz dwuwarstwowych (0.1-0.2 μ m tarcza Au pokryta warstwą polistyrenu).

W pracy [A-16] analizowano wpływ długości fali promieniowania laserowego na proces akceleracji jonów. Analiza przeprowadzona została przy użyciu autorskiego kodu PIC 1D opisanego wcześniej. Na uwagę zasługuje fakt, iż dzięki użyciu kodu PIC wykazano, że

wraz ze skróceniem długości fali i zachowaniem stałej wartości iloczynu $I_L \cdot \lambda_L^2$ uzyskano wzrost udziału w procesie akceleracji mechanizmu S-LPA, co pociągnęło za sobą wzrost parametrów wiązki protonów, takich jak: gęstość prądu, intensywność, fluencje energetyczne (F_i) oraz energie samych jonów.

Wyniki zyskane metodami numerycznymi w pracy [A-16] porównano w pracy [A-17] z wynikami eksperymentalnymi. Badano wpływ parametrów wiązki laserowej (I_L , λ_L), grubości tarczy (L_T) oraz parametru L_n preplazmy na charakterystyki uzyskanych wiązek protonów oraz na wielkość współczynnika konwersji energii laser-jony(η). Dane eksperymentalne uzyskano na 100 TW laserze o I_L do $2 \cdot 10^{19}$ W/cm² i $\tau_L = 0.35$ ps, który miał możliwość przestrajania z 1ω na 2ω . Uzyskano zgodność pomiędzy wynikami eksperymentalnymi i numerycznymi, a przede wszystkim dotyczącą faktu, że impulsy 2ω lasera wytwarzają w tarczach polistyrenowych o grubościach 0.6 – 1.0 μm wiązki protonów o znacznie wyższych intensywnościach, gęstościach prądu i fluencjach energetycznych niż impulsy 1ω .

Praca [A-18] poświęcona jest laserom ultrafioletowym (UV) z impulsami pikosekundowymi. Dzięki krótszej długości fali, jak to pokazano w pracy [A-17], efektywność akceleracji powinna być dużo wyższa w porównaniu z akceleracją laserami o większej, dotychczas rozważanej długości fali. Dlatego też w pracy porównywane są dwa lasery Nd:YAG o $\lambda_L = 1.06 \mu\text{m}$ i KrF z $\lambda_L = 0.248 \mu\text{m}$. Przebadano tarcze o grubości $L_T = 10 \mu\text{m}$ i założono, że wytworzoną preplazmę charakteryzuje parametr $L_n = 0.25 \mu\text{m}$. Analizowano zależność współczynnika konwersji (η) i fluencji energetycznej w funkcji $I_L \times \lambda^2$. Stwierdzono, że dla $I_L \cdot \lambda^2$ z zakresu od $0.25 \cdot 10^{20}$ W/cm² do $4 \cdot 10^{20}$ W/cm² współczynnik konwersji η dla lasera KrF jest 5-6 razy większy niż dla lasera Nd:YAG, a fluencja energetyczna F_i jest 100 razy wyższa dla KrF. Parametry te dla lasera KrF osiągają odpowiednio wielkości $\eta = 20 \%$, $F_i = 1 \text{ GJ/cm}^2$ a prędkość jonów dochodzi do $v_i = 8 \cdot 10^9$ cm/s. Parametry takie można uzyskać dla laserów o energii 100 kJ i są one wystarczające dla FI.

W pracy [A-19] analizowano nową metodę akceleracji LICPA, polegającą na umieszczeniu tarczy w specjalnej wnęcie stalowej (cyldrycznej lub stożkowej), do której promieniowanie laserowe zostaje wprowadzone przez niewielki otwór. W wyniku odbić promieniowania od ścianek wnęki dochodzi do wielokrotnego oddziaływania laser – tarcza co powoduje bardziej efektywne wykorzystanie promieniowania lasera. Oszacowano, że wielkość konwersji energii laser-tarcza η wynosiła w tym eksperymencie dla akceleracji klasycznej (bez wnęki) około 4.4% dla 1ω i 10.6% dla 3ω . Natomiast dla akceleracji metodą LICPA $\eta = 70\%$ i

80% odpowiednio dla 1ω i 3ω . Dodatkowo Habilitant przeprowadził przy użyciu kodu 1D PIC testy numeryczne napędzania tarcz metodą LICPA. Testy te wykonano dla tarcz (H^+ , Be^{4+} , C^{6+} , Al^{13+}) w obszarze, w którym mechanizmem akceleracji było ciśnienia światła (photon pressure acceleration). Wynikiem symulacji było wykazanie, iż metodą LICPA otrzymuje się pociski plazmowe o energiach charakteryzujących się wąskimi spektrami energetycznymi, które propagują się z subrelatywistycznymi prędkościami wynoszącymi $\sim 10^{10}$ cm/s, wystarczającymi do użycia ich w szybkim zapłonie FI.

Praca [A-20] jest kontynuacją poprzedniej, skoncentrowanej głównie na jednym rodzaju tarcz węglowych bazując na symulacjach dokonanych za pomocą kodu 1D PIC.

W pracy [A-21] zaprezentowano podstawy fizyczne i numeryczne nowego autorskiego kodu Habilitanta 2D PIC, który umożliwia analizę relatywistycznych wiązek laserowych, uwzględniając zarówno ich rozmiary przestrzenne jak również ich zbieżność i rozbieżność. W pracy zaprezentowano wstępne wyniki obliczeń, które zostały wykonane przy użyciu nowego kodu.

Praca [A-22] poświęcona została zagadnieniom związanych z akceleracją jonów z wykorzystaniem tarcz węglowych w celu potwierdzenia możliwości wykorzystania ich jako tzw. wiązki inicjującej w eksperymentach FI. Dodatkowo symulowano akceleracje ciężkich mikro pocisków ze złota w celu potwierdzenia możliwości ich wytwarzania. Obliczenia wykonano przy użyciu kodu PIC 1D dla pikosekundowego impulsu laserowego o mocy 100 kJ. Wynikiem symulacji (przy ustalonych parametrach wejściowych) jest stwierdzenie, iż dla wiązki lasera o wartości $I_L = 5 \times 10^{21}$ W/cm² w przypadku wykorzystania metody LICPA, wszystkie podstawowe parametry wiązki jonów są wystarczające, a nawet przekraczają wartości wymagane w procesie szybkiego zapłonu FI.

Praca [A-23] jest numeryczną kontynuacją prac związanych z badaniem akceleracji wiązek jonów w zależności od parametrów tarcz węglowych oraz typu polaryzacji wiązek laserowych. Rozważano różne grubości tarcz węglowych a podstawowym procesem akceleracji, który zakładano dokonując symulacji był mechanizm LICPA. Użyto w tym celu dwóch kodów relatywistycznych PIC 1D oraz pomocniczo PIC 2D. Potwierdzono wcześniejsze wyniki wskazujące, iż dla akceleracji LICPA uzyskuje się znaczną poprawę parametrów wiązek jonowych, zaś wskazano również na fakt, że akceleracja wiązkami o polaryzacji kołowej dodatkowo prowadzi do poprawy tego procesu w porównaniu z przypadkiem, kiedy używa się wiązek o polaryzacji liniowej. W wyniku przeprowadzonych

obliczeń wykazano, iż efektywność przekazywania energii laser - tarcza nie zmienia się znacząco w zależności od zastosowanych rodzajów polaryzacji.

Ostatnia praca [A-24] zawarta w cyklu prac monotematycznych zawiera podsumowanie prac numerycznych, związanych z badaniem akceleracji wiązek jonowych przy zastosowaniu metody LICPA w oparciu o wyniki eksperymentalne jakie zostały przeprowadzone na układzie PALS w Pradze.

6. Wniosek końcowy

Temat załączonych prac, to znaczy akceleracja laserowa, jest niewątpliwie jednym z najbardziej frapujących przedsięwzięć współczesnej nauki i technologii, która ostatecznie zmierza do zbudowania akceleratora cząstek naładowanych w oparciu o technikę laserową. Wydaje się, iż przy uzyskiwanych obecnie postępach dotyczących zwłaszcza podstawowych parametrów lasera, takich jak: intensywność wiązki $\sim 10^{21}$ W/cm², moc - Tera i Peta Waty oraz ekstremalnie krótkie czasy trwania uzyskiwanych impulsów piko i femto-sekundy, szansa zbudowania akceleratora laserowego staje się coraz bardziej realna. Dlatego też, laserowa technika akceleracji cząstek zasługuje na najwyższą uwagę i prace wykonywane w tym obszarze tematycznym powinny być traktowane ze szczególnym zainteresowaniem. Do podstawowych badań, wykonywanych w celu wyprodukowania wiązki prędkich jonów o założonych parametrach (takich np. jak dla fast ignition), należy przede wszystkim znalezienie współzależności pomiędzy charakterystyką impulsu jonowego a charakterystykami impulsu laserowego tzn. jego przebiegu w czasie - intensywności i mocy, długości fali i polaryzacji światła laserowego, rozmiaru ogniska a także wpływu użytej tarczy tzn. jej kształtu i grubość, składu chemicznego czy warstwowości na wielkość uzyskiwanego impulsu jonowego.

Cykl załączonych prac przedstawia numeryczną symulację akceleracji laserowej, dla której kody zostały w większości opracowane przez Habilitanta. Badania numeryczne wykonane za pomocą tych kodów, można niewątpliwie wpisać w ogólnoswiatowy trend badawczy. Cennymi osiągnięciami są zwłaszcza autorskie kody 1D PIC i 2D PIC Habilitanta, w których starano się uwzględnić niezbędne parametry w celu rozwiązania postawionych zagadnień, tak aby uzyskane wyniki nie odbiegały od tych uzyskanych eksperymentalnie. Symulowano przy użyciu powyższych kodów różne scenariusze zjawisk powstających podczas oddziaływania wiązek laserowych z tarczami, jak również zwrócono uwagę na szereg zmiennych parametrów związanych z długością impulsu laserowego w szerokim zakresie czasowym od sub-pikosekund do kilku pikosekund. Autorskie kody, znalazły

również zastosowanie w innych obszarach tematycznych w różnych ośrodkach naukowych, co wskazuje na pewną interdyscyplinarność kodów. Kolejnym ważnym aspektem wykonanych prac są badania stopnia zbieżności uzyskiwanych wiązek jonowych. Dobrze zogniskowane wiązki jonowe znajdują bowiem szerokie zastosowanie w takich dziedzinach jak fizyka wysokich energii, fast ignition IF, w syntezie inercyjnej czy tomografii pozytronowej (PET). Habilitant konsekwentnie realizował obraną tematykę badań i bardzo dobrze opanował metody numeryczne. Choć niewątpliwie, występującym w badaniach zjawiskom transportu cząstek jak i mechanizmom akceleracji, towarzyszą różnego rodzaju niestabilności i mnóstwo efektów wielowymiarowych, takich jak na przykład filamentacja wiązki prędkich elektronów (pociągająca za sobą wielokanałową strukturę magnetyczną) niewątpliwie wymuszają zastosowania kodów 3D, to jednak nie umniejsza to jakości uzyskanych wyników. Stosowane uproszczone kody 1D oraz 2D skróciły tak zwaną czasochłonność obliczeń na rzecz wyznaczenia bardziej precyzyjnych wartości innych ważnych parametrów, dodatkowo przyspieszając i upraszczając cały algorytm. Podsumowując na szczególne wyróżnienie zasługuje wkład jaki Habilitant włożył w rozwój technik laserowej akceleracji jonów.

Prezentowane w dorobku naukowym prace realizowane były w zespołach badawczych stąd prace wielo-autorskie, jednak jak wynika z dołączonych oświadczeń to Habilitant brał główny udział przy analizach teoretycznych zjawisk występujących przy oddziaływaniu laserów z tarczami.

Mały dorobek związany z doświadczeniem dydaktycznym w zakresie kształcenia młodej kadry, jak również dorobek popularyzatorski należy wytłumaczyć faktem, iż jest to konsekwencją pracy w jednostce o charakterze naukowym, w których nie ma obowiązku prowadzenia zajęć dydaktycznych a sama jednostka nie posiada w swojej strukturze studiów doktoranckich. Jednak należy zwrócić uwagę, iż w ostatnich latach Habilitant był promotorem pomocniczym zarówno pracy inżynierskiej jak i w rozprawie doktorskiej.

Przy tak dużej ilości recenzowanych publikacji oraz materiałów konferencyjnych, zaskakująco mała jest ilość wygłaszanych referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach, nie uzyskiwał też znaczących nagród czy wyróżnień.

Stwierdzam, iż w mojej ocenie Habilitant spełnia wymagania, jakie zgodnie z przepisami muszą spełniać kandydaci do stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych. Biorąc pod uwagę fakt, iż jednym z najważniejszych elementów w przewodzie habilitacyjnym jest dorobek naukowy zawarty w recenzowanych publikacjach oraz to iż analizowana habilitacja powstała w wyniku wieloletniej pracy naukowej Habilitanta i stanowi

podsumowanie całego dorobku naukowego, **wyrażam pozytywną opinię w sprawie nadania
dr Sławomirowi Jabłońskiemu stopnia doktora habilitowanego.**

dr hab. Aneta Malinowska

