

dr hab. Marcin Turek
Instytut Fizyki
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie
pl. M Curie-Skłodowskiej 1, 20-031 Lublin

Lublin 4 kwietnia 2019

RECENZJA

w postępowaniu habilitacyjnym dra Sławomira Jabłońskiego,
dotycząca osiągnięć naukowych oraz aktywności dydaktycznej i organizacyjnej
na podstawie cyklu publikacji o wspólnym tytule „*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 dokumentacji dołączonej do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego
w dyscyplinie fizyka

Sylwetka naukowa Habilitanta

Dr Sławomir Jabłoński ukończył studia na Wydziale Chemii Podstawowej i Stosowanej Uniwersytetu Warszawskiego w 1986 roku. Tytuł zawodowy magistra chemii uzyskał broniąc pracy zatytułowanej „*Zastosowanie izopropylocykloheksylokarbodiimidu w syntezie peptydów*”. W tym samym roku podjął pracę na stanowisku asystenta w Samodzielnym Laboratorium Technologicznym w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie. Od roku 1991 pracował na takim samym stanowisku w Zakładzie Plazmy Laserowej tegoż Instytutu. W roku 1998 Habilitant uzyskał stopień doktora nauk fizycznych na Wydziale Fizyki i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej, broniąc pracy doktorskiej zatytułowanej „*Modelowanie generacji krótkich impulsów światła w laserach ekscymerowych*”. Promotorem tej pracy był prof. dr hab. Jan Badziak, zaś recenzentami w przewodzie doktorskim: prof. dr hab. Adam Kujawski oraz dr hab. inż. Jan Owsik. W tym samym roku dr Sławomir Jabłoński awansował na stanowisko adiunkta w Zakładzie Fuzji Laserowej (a od 2017 roku - w Zakładzie Fuzji Jądrowej i Spektroskopii Plazmy) w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy.

W roku 2004 Habilitant uzyskał grant dla tzw. *visiting scientist* na Univeristy of Western Sydney w Australii, gdzie odbył staż naukowy. Brak informacji o dłuższych pobytach czy stażach naukowych przed uzyskaniem stopnia doktora.

Ocena osiągnięcia naukowego

Osiągnięcie naukowe przedstawione przez dra Sławomira Jabłońskiego stanowi cykl 24 prac opublikowanych w latach 2004-2015, z czego 21 z nich wydano w czasopismach z dotychczasowej listy A MNiSW (korzystałem z wykazu dostępnego na stronie WWW MNiSW

https://www.gov.pl/documents/1068557/1069061/2017_Cz%C4%99%C5%9B%C4%87_A.pdf/c258e970-fe8c-8a32-8271-00c5b83a2260). Punktacja tych czasopism jest stosunkowo wysoka - w zakresie 25-40 punktów. Aż 5 prac wchodzących w skład cyklu Habilitant opublikował w renomowanym *Applied Physics Letters* (40 pkt.). Większość (to jest 13)

pozostałych prac opublikowano w czasopiśmie trzydziestopunktowych, takich jak *Plasma Physics and Controlled Fusion* (3 prace) *Laser and Particle Beams* (7 prac) oraz *Physics of Plasmas* (3 prace). W mojej ocenie są to czasopisma nie tylko liczące się, a wręcz wiodące w dziedzinie, którą zajmuje się dr Sławomir Jabłoński. Oprócz tego, po jednej z prac należących do cyklu habilitacyjnego wydano w *Journal of Applied Physics* (35 pkt.) oraz *Physica Scripta* (25 pkt.). Czasopisma spoza ostatniej opublikowanej przez MNiSW listy A, w których ukazały się artykuły będące składnikami osiągnięcia naukowego to *Czechoslovak Journal of Physics* (2 prace) oraz *Photonics Letters of Poland* (1 praca).

Jeden [A21] spośród wskazanych artykułów jest wyłącznego autorstwa Habilitanta. W przypadku trzech prac jest on pierwszym autorem. Spośród prac wieloautorskich, w dziewięciu przypadkach [A6,A7,A10,A11,A16,A18,A20,A22,A23] należy uznać, że wkład dra Jabłońskiego jest bezwzględnie dominujący - wynosi ~około 50 procent lub więcej. Przytoczone udziały procentowe oraz oświadczenia autorów wskazują, że Habilitant często pełnił rolę osoby inicjującej badania i formułującej problem badawczy. W pozostałych przypadkach na barkach dra Sławomira Jabłońskiego, jako członka większego zespołu badawczego, spoczywał ciężar przygotowania, przeprowadzenia i zinterpretowania wyników symulacji numerycznych badanych procesów fizycznych, z którego to wydzielonego i dobrze zdefiniowanego zadania wedle mojej oceny wywiązał się doskonale, także kierując pracą innych osób. Habilitant uczestniczył w interpretacji wyników zarówno obliczeń numerycznych jak i wyników eksperymentów [m.in. A1,A2,A14,A17] jak również wielokrotnie brał udział w formułowaniu wniosków końcowych.

Należy też wspomnieć, że niektóre z prac wchodzących w skład cyklu habilitacyjnego [A12,A13,A24] to tzw. prace przeglądowe - poświęcone opisowi aktualnego stanu badań w uprawianej przez autorów dziedzinie. Stworzenie tego typu artykułu, często specjalnie zamawianego przez redakcję czasopisma, wymaga nie tylko nadzwyczajnego nakładu pracy, ale i doskonałej znajomości zarówno bieżącego stanu wiedzy w opisywanej dziedzinie badań naukowych, jak i licznych niuansów dotyczących dotychczasowego przebiegu badań prowadzonych niekiedy przez dziesiątki różnych grup. Współautorstwo tego typu publikacji nie jest zazwyczaj dziełem przypadku i jest moim zdaniem dla Habilitanta nobilitujące, nawet jeśli skromnie deklaruje on swój wkład na poziomie 5 % (jak w przypadku artykułu [A12]) - na marginesie wspomnę, że artykuł ten uzyskał niemal 100 cytowań według bazy Scopus.

Wspólnym mianownikiem prac wchodzących w skład cyklu habilitacyjnego są badania nad wykorzystaniem metody SLPA (*Skin Layer Ponderomotive Acceleration*) do wytwarzania wiązek jonowych o wysokiej gęstości natężenia prądu i intensywności. Dominującą metodą wykorzystywaną przez dra Sławomira Jabłońskiego w swoich badaniach są symulacje numeryczne. Używane przez Habilitanta narzędzia to dopracowywane i testowane przez wiele lat programy numeryczne jego autorstwa. Już sam tytuł osiągnięcia wskazuje na konieczność stosowania różnych podejść w opisie oddziaływania promieniowania laserowego o dużej ($<10^{19}$ W/cm²) i wielkiej ($>10^{19}$ W/cm²) gęstości mocy. W pierwszym przypadku Autor z powodzeniem stosuje modele hydrodynamiczne, zarówno jedno-, jak i dwuwymiarowe, w przypadku większych gęstości mocy promieniowania uznaje konieczność modelowania z wykorzystaniem metody Particle-in-Cell.

Trzy pierwsze prace cyklu poświęcone są demonstracji użyteczności nowatorskiej metody SLPA. Wykorzystując nierelatywistyczny, dwupłynowy model oddziaływania laser-plazma Habilitant wykazał, że bardzo krótki (rzędu pikosekundy) impuls laserowy

o niewielkiej energii (~ 1 J) jest w stanie wygenerować wiązkę jonów o bardzo wysokiej gęstości natężenia prądu ($>10^{10}$ A/cm²). Ewolucja gęstości plazmy w obszarze oddziaływania (rys. 2 w [A2]) potwierdziła, że za przyspieszanie cząsteczek odpowiedzialny jest efekt SLPA. Należy w tym miejscu podkreślić, że porównywalne parametry wiązek jonowych w standardowej metodzie TNSA możliwe były do osiągnięcia przy zastosowaniu relatywistycznych gęstości mocy. Na uwagę zasługuje także fakt, iż otrzymane w symulacjach przebiegi zależności prędkości maksymalnych jonów, gęstości prądu jonowego dobrze zgadzają się z przewidywaniami modelu teoretycznego. *Nota bene* -wyniki symulacji zależności gęstości prądu dobrze zgadzają się z wynikami doświadczalnymi (rys. 8 w [A2]) - co też świadczy na korzyść wiarygodności opracowanego przez Habilitanta modelu numerycznego. Podstawy matematyczne modelu najpełniej opisane są w pracy [A3], jednakże zarówno w pracach cyklu (poświęconego wszak numerycznemu modelowaniu), jaki w samym autoreferacie autor poskąpił informacji na temat choćby algorytmów i metod numerycznych wykorzystanych do rozwiązywania równań wspomnianego modelu, może za wyjątkiem lakonicznej informacji o wykorzystaniu metody Laxa (której?).

W trakcie badań opisanych w publikacji [A4] Habilitant wykorzystał kolejny stworzony przez siebie program numeryczny - tym razem bazujący na dwuwymiarowym, dwupłynowym modelu hydrodynamicznym. Tak jak poprzednio, symulacje 2D pozwoliły zademonstrować powstawanie bloków plazmy poruszających się w przeciwnych kierunkach w rejonie najsilniejszego oddziaływania wiązki laserowej z preplazmą. Kolejnym ważnym osiągnięciem, wykazywanym już w pracy [A2], było stwierdzenie, że charakterystyczna długość opisująca gradient plazmy (L_n) jest parametrem, od którego zależy zarówno uzyskiwana gęstość prądu jonowego, jak i prędkość jonów. W pracy [A5] także badano rolę tego parametru, śledząc zależności energii protonów i gęstości energii wiązki od stosunku L_n i długości fali lasera. Wykazano istnienie optymalnych wartości gradientu preplazmy, przy czym okazało się, że optymalna akceleracja wsteczna i do przodu zachodzi dla skrajnie różnych wartości L_n . Należy podkreślić, że te spostrzeżenia zostały potwierdzone przez wyniki eksperymentalne z wykorzystaniem terawatowego lasera neodymowego na szkle, o złożonym przebiegu impulsu umożliwiającym powstanie preplazmy o pożądanym parametrach.

Dr Sławomir Jabłoński podjął się też zadania modelowania zjawiska tzw. ripplingu, efektu w poważnym stopniu utrudniającego efektywny transfer energii między wiązką lasera a plazmą. Celem pracy [A6] było zbadanie ripplingu w przypadku impulsów o długości rzędu 1 ps - co było istotną nowością, gdyż efekt ten badany był dotychczas jedynie dla dużo dłuższych impulsów. Należy podkreślić, że tym razem praca zawiera nie tylko rozbudowaną dyskusję równań modelu hydrodynamicznego, ale i szczegółowy opis algorytmu numerycznego pozwalającego na określenie wpływu ripplingu na współczynnik odbicia wiązki. Używając zaproponowanego modelu Autor niezwykle starannie przeanalizował metodę wygaszania ripplingu zaproponowaną przez Denga [*Appl. Optics* 25 (1986) 377] Wyniki obliczeń numerycznych przeprowadzonych przez Habilitanta zostały też zestawione z rezultatami przewidywanymi przez model analityczny ripplingu zaprezentowany w pracy [A8 - rys.1 i 7].

Z biegiem lat badania w dziedzinie fizyki wysokich gęstości energii, fuzji inercyjnej itp. angażowały wiązki laserowe o coraz większej gęstości mocy, tak by uzyskać np. gęstości natężenia wiązki protonów rzędu 10^{13} A/cm² przy energii rzędu kilku MeV, co jest konieczne

np. dla potrzeb fuzji inercyjnej. Jednakże poprawny opis oddziaływania wiązki laserowej o gęstości mocy rzędu 10^{19} - 10^{20} W/cm² rodzi konieczność uwzględnienia efektów relatywistycznych (przynajmniej w odniesieniu do elektronów). Habilitant dokonał koniecznej modyfikacji używanego przez siebie dwuwymiarowego modelu dwupłynowego, która najpełniej została opisana w pracy [A10]. Unowocześnione narzędzie numeryczne pozwoliło mu na przebadanie rozbieżności wiązki i jej struktury w funkcji parametru d/L_n , gdzie d to średnica wiązki lasera (względnie apertura przesłony). Bardzo ciekawym rezultatem przedstawionym w [A7] jest wykazanie, że struktura wiązki bardzo zmienia się z wspomnianym wyżej ilorazem d/L_n . Ważne z praktycznego punktu widzenia wydaje się spostrzeżenie, że wysokiej jakości wiązki protonów generowane są dla dużych wartości apertury ($d/L_n=32$). Bardziej systematyczne badania nad tworzeniem się struktur bąbelkowatych w generowanej wiązce na skutek powstawania fal stojących w plazmie można znaleźć w [A10], w pracy tej potwierdzono również możliwość generowania dzięki metodzie SLPA skolimowanych wiązek protonów o gęstości 10^{12} A/cm² przy użyciu komercyjnych laserów o mocy 100 TW i długości impulsu rzędu 100 fs. Praca [A10] poświęcona była zademonstrowaniu przewagi postulowanej przez Autorów metody SLPA nad dobrze ugruntowaną metodą TNSA. Za najważniejszy przedstawiony w niej rezultat uznać można wykazanie, że przyspieszanie SLPA pozwala uzyskiwać gęstości przyspieszanych bloków plazmy o trzy rzędy wielkości większe niż w przypadku TNSA, przy tych samych parametrach lasera, głównie z powodu niższej gęstości i większej rozbieżności wiązek uzyskiwanych tą drugą metodą. Symulacje numeryczne przyspieszania SLPA wiązką o gęstości mocy $3 \cdot 10^{18}$ W/cm² i długości impulsu 0.25 ps wykazały, że możliwe jest uzyskiwanie wiązek o gęstości prądu bliskiej 1 TA/cm², koncentracji protonów rzędu $5 \cdot 10^{21}$ cm⁻³ przy energiach rzędu 150 keV, co stanowiło wielce obiecujący krok w badaniach nad zapłonem inercyjnym.

Wykorzystując możliwości oferowane przez kod 2D oraz wprowadzając modyfikacje umożliwiające m.in. śledzenie ogniskowania balistycznego Habilitant przeprowadził symulacje kolimacji wiązek jonowych przy naświetlaniu tarcz o zakrzywionej powierzchni. Praca [A11] prezentuje wyniki obliczeń wpływu takich parametrów jak krzywizna tarczy R_T oraz L_n na efektywność ogniskowania wiązki. Bardzo ważnym wynikiem jest wykazanie, że w warunkach, gdy L_n jest mniejsze od połowy długości fali lasera i dla dostatecznie dużych apertur ($\sim R_T$) możliwe jest bardzo wydajne ogniskowanie wiązki (kilkadziesiąt procent jej składu) na stosunkowo niewielkiej powierzchni, co może mieć niebagatelne znaczenie dla uzyskania warunków zapłonu paliwa DT.

Perspektywy, jakie daje ogniskowanie wiązek plazmy dzięki zastosowaniu zakrzywionych tarcz omawiane są także w dwu kolejnych pracach wieńczących pierwszą część cyklu, będących artykułami przeglądowym dotyczącymi badań nad szybkim zapłonem. Dr Jabłoński przeprowadził m.in. szczegółową analizę warunków fizycznych, które muszą być spełnione, by możliwe były różne warianty szybkiego zapłonu. Praca zawiera też m.in. prezentację koncepcji szybkiego zapłonu opartego o przyspieszanie SLPA - a więc konkretną propozycję wykorzystania zjawisk, których symulacje przeprowadzał Habilitant.

W kolejnych latach dr Sławomir Jabłoński zajął się modelowaniem laserowej akceleracji plazmy z użyciem metody Particle-in-Cell, gdyż w przypadku wysokich gęstości energii podejście hydrodynamiczne traci sens fizyczny. Jak sam Habilitant przyznaje stworzony przez niego jednowymiarowy kod typu PIC jest analogonem programu LPIC++, z

drugiej zaś strony w późniejszych artykułach stwierdza, że jego program jest zmodyfikowaną wersją LPIC++. Niestety, dr Jabłoński nie wyjaśnia dlaczego nie mógł, albo nie chciał korzystać z dostępnego i dość szeroko używanego narzędzia, preferując włożenie wysiłku w stworzenie jego „kopii” czy „analogonu”. Hipotetycznych przyczyn może być wiele - bazując na własnym doświadczeniu mógłbym wymienić np. zazwyczaj lepszą wydajność własnego „przykrojonego” do potrzeb kodu (w takim wypadku warto byłoby omówić różnice), większą podatność własnego programu na późniejsze modernizacje itp. Autoreferat wydaje się dobrym miejscem na wyjaśnianie motywów i celów postępowania – w odniesieniu do poruszonej kwestii moim zdaniem tych wyjaśnień nieco zabrakło... Pomijając te wątpliwości: Habilitant użył stworzonego przez siebie programu do zasymulowania akceleracji protonów z tarcz Au/PS impulsami laserowymi o gęstości energii do $2 \cdot 10^{19}$ W/cm² i czasie trwania impulsu 350 fs. Symulacje wykazały, że proponowana przez Autorów metoda SLPA jest w stanie wygenerować wiązki o gęstości mocy rzędu 10^{18} W/cm² – przy czym wyniki obliczeń numerycznych okazały się być zgodne nie tylko z modelem analitycznym (rys. 1. z [A14]), jak i z wynikami eksperymentalnymi uzyskanymi dzięki użyciu lasera LULI (rys. 3 z [A14] oraz rys 2. z [A15]).

Użyteczność opracowanego przez Habilitanta programu zademonstrowana została w pracy [A16], w której bardzo starannie przebadano zależność takich parametrów charakteryzujących wiązkę (i sam proces jej wytwarzania) jak: średnia i maksymalna energia protonów, fluencja energii wiązki, wydajność konwersji energii, gęstość prądu wiązki, i maksymalna gęstość mocy wiązki od długości fali i gęstości mocy lasera. Wspomnieć należy, że obliczenia wykonano dla różnych koncentracji preplazmy – odpowiadających różnym materiałom tarczy. Najciekawszym wynikiem tej pracy wydaje się być stwierdzenie, że niemal wszystkie wymienione wcześniej parametry wiązki ulegają poprawie wraz ze skróceniem długości fali. Użycie lasera o umiarkowanej mocy (opisanej parametrem $I\lambda^2=10^{20}$ W cm⁻² μm²) o długości fali 0.5 μm skutkowało wytworzeniem wiązki o imponującej gęstości prądu rzędu 10^{14} A/cm².

W pracy [A17] Habilitant jeszcze bardziej poszerzył zakres badań o sprawdzenie wpływu grubości tarczy i długości gradientu preplazmy jak również długości trwania impulsu. Tak jak i w przypadku poprzedniej pracy uwagę przykuwa systematyczność przeprowadzonych przez Habilitanta symulacji i bardzo szeroki zakres badań. Uzyskane rezultaty są zbieżne z wynikami pracy [A16], przy czym przewaga wynikająca z potencjalnego wykorzystania drugiej harmonicznej lasera jest tym większa, im cieńsza jest grubość preplazmy. Wspomnieć należy, że dane eksperymentalne zaprezentowane w omawianej pracy potwierdzają przewagę wynikającą z wykorzystania składowej 2ω – pozwalającej na użycie cieńszych tarcz i generowanie ultraintensywnych wiązek protonów o $j \sim 10^{14}$ A/cm².

W kolejnej pracy [A18] dr Sławomir Jabłoński (wspólnie z prof. J. Badziakiem) zaproponował akcelerację nieco innego typu pocisków - stosunkowo masywnych bloków plazmy sprężonych we wstępnej fazie rozpędzania do gęstości ciała stałego. Habilitant przeprowadził symulacje naświetlania tarcz charakteryzujących się cienką warstwą preplazmy krótkimi (2 ps) impulsami lasera neodymowego i ekscymerowego (KrF). Jednoznacznie wykazał przewagę drugiego z wymienionych rozwiązań jako generującego lepiej zlokalizowany i szybszy pakiet plazmy (rys 1. [A18]). Także współczynnik wydajności konwersji energii lasera KrF okazał się o blisko rząd wielkości większy niż dla lasera

Nd:glass. Osiągnięcie wydajności na poziomie 20 % pozwoliło osiągnąć fluencję energii na poziomie 1 GJ/cm^2 dla gęstych pocisków rozprężonych do prędkości subrelatywistycznych (10^{10} cm/s) - co w praktyce oznacza osiągnięcie warunków bliskich zapłonowi paliwa DT. Godne odnotowania jest, że Habilitant nie ogranicza się jedynie do przedstawienia wyników symulacji PIC - chcąc dodatkowo je uwiarygodnić zestawia je z przewidywaniami modelu „Light Sail” - rys.4. demonstrowuje bardzo dobrą zgodność tych danych.

Habilitant uczestniczył także w badaniach nad nowatorską metodą akceleracji wykorzystującą wzmocnienie oddziaływania wiązka-pocisk spowodowane uwięzieniem promieniowania w specjalnie ukształtowanej wnęcie (LICPA- *Laser Induced Cavity Pressure Acceleration*). Autorski kod PIC dra Jabłońskiego został zmodyfikowany w taki sposób, że uwzględniał wielokrotne odbicie promieniowania od ścianek wnęki, *nota bene* współczynnik odbicia $R=0.64$, kluczowy dla wydajności całego procesu, wybrany został dość arbitralnie, uzasadnienie podane w artykule [A19] jest dość oględne. Habilitant przebadał przyspieszanie dość szerokiego wachlarza jonów i wykazał, że schemat LICPA pozwala na osiąganie sprawności konwersji na poziomie nawet 70 %, co znacząco przewyższa sprawności osiągnięte dla poprzednio rozpatrywanego przyspieszania SLPA (oznaczanego niekiedy jako RPA- *Radiation Pressure Acceleration*). Przewagę metody LICPA potwierdzają także inne osiągnięte parametry wiązek (np. gęstości energii wiązki rzędu 2 GJ/cm^2 , znacznie węższe spektrum energetyczne wiązki i krótszy czas trwania impulsu). Godna odnotowania jest też sprawność dra Jabłońskiego w wykorzystaniu dwu zupełnie różnych programów numerycznych użytych do modelowania tzw. hydrodynamicznego reżimu LICPA. Jedno z wymienionych narzędzi, autorski kod Habilitanta, modelował wczesną fazę eksperymentu (rozprężanie LICPA) i dostarczył wejściowego pakietu danych dla drugiej fazy modelowania (wykonanej za pomocą kodu PALE) dotyczącej powstawania krateru na powierzchni tarczy bombardowanej wiązką plazmy. Wyniki zaprezentowane w [A20] potwierdzają użyteczność akceleracji LICPA, tym razem w odniesieniu do tarcz węglowych o grubości kilku mikrometrów oświetlanych impulsami o gęstości mocy rzędu 10^{21} W/cm^2 . Habilitant wykazał, że zastosowanie wnęki zwiększa wydajność konwersji energii i energię rozprężanych cząstek o czynnik 2, kosztem nieco większego rozmycia widma energetycznego (rys.1 [A20]). Dr Jabłoński wykazał, że zmniejszanie długości wnęki prowadzi do zwiększenia energii jonów, jednakże względna szerokość widma energetycznego pozostaje stała. Najbardziej wymowna w omawianym artykule jest zamieszczona w podsumowaniu tabela zestawiająca parametry wiązek uzyskanych przy użyciu tego samego impulsu dzięki metodom LICPA i RPA -zastosowanie pierwszej z tych metod pozwala na osiągnięcie do warunków zapłonu sprężonego paliwa DT. Naświetlanie tarcz węglowych omawiane jest też w późniejszej pracy [A22], w której autor zaprezentował zależności gęstości mocy wiązki i fluencji energii w funkcji gęstości mocy wiązki lasera uzyskane dla obydwu rozpatrywanych metod. Praca [A22] zawiera również wyniki symulacji przyspieszania ciężkich (rzędu mikrograma) pocisków Au w reżimie LICPA i RPA - najbardziej przykuwającym uwagę rezultatem jest uzyskana przez Habilitanta zależność fluencji energii wiązki od energii lasera: dzięki stosunkowo wysokiej wydajności konwersji (10 %, rząd wielkości więcej niż RPA) zastosowanie metody LICPA pozwala na osiągnięciu warunków zapłonu typu „impact” przy użyciu lasera o energii rzędu 150 kJ.

Praca [A21] dokumentuje ogromny skok możliwości jeśli chodzi o tworzone przez Habilitanta oprogramowanie służące modelowaniu oddziaływania wiązka-plazma. Dr

Sławomir Jabłoński słusznie ocenił ograniczenia nakładane przez model 1D i zdecydował, że potrzebuje narzędzia które pozwoli m.in. uwzględnić przestrzenny profil wiązki laserowej, efekty związane ze zbieżnym kształtem komory LICPA, wyeliminuje konieczność odgórnego zadawania wspomnianego wyżej współczynnika odbicia, pozwoli śledzić przestrzenne rozkłady pól i cząstek. Efektem jego pracy jest dwuwymiarowy, w pełni relatywistyczny (zarówno dla jonów jak i elektronów) elektromagnetyczny kod PIC. Inaczej niż w przypadku 1D kodu PIC, czy wcześniejszych kodów hydrodynamicznych opis zarówno podstaw matematycznych jak i metod numerycznych jest kompletny, wręcz wzorcowy - autor chętnie dzieli się z czytelnikiem swą specjalistyczną wiedzą, co nadaje artykułowi dodatkowego waloru dydaktycznego. Sam kod numeryczny jest solidnym zestawieniem sprawdzonych i stabilnych metod, poczynając od „solvera” równań Maxwella opartego o przesunięte siatki typu Yee, poprzez procedurę rozdzielania gęstości prądu według schematu Villasenora-Bunemana, kończąc na uaktualnianiu pozycji cząstek według tzw. metody Borisa (*nota bene* autor zdaje się przypisywać to podejście Birdsallowi i Langdonowi - autorom uznanej monografii). Polemizować też można nieco z sugestią, że stosując szybkie schematy rozdziału gęstości prądu oparte o przybliżenie trajektorii ruchu linią łamaną niechybnie narażamy się na zdradliwe skutki akumulowania się błędów numerycznych. Przeczą temu np. wyniki pokazane przez Bartheleme i Parzani w monografii *Numerical Methods for Hyperbolic and Kinetics Problems* (red. S. Cordier i in.). Opis modelu zilustrowany jest wstępnymi wynikami - porównaniem akceleracji LICPA i bez wnęki z użyciem cienkiej tarczy węglowej wiązką o relatywistycznej intensywności $2 \cdot 10^{22}$ W/cm².

Kolejna praca zawiera wyniki systematycznych badań naświetlania tarcz węglowych o grubości od 0.2 μ m do 2 μ m przy zastosowaniu wiązek spolaryzowanych zarówno kołowo jak i liniowo (przy ustalonej energii wiązki). Najistotniejszym rezultatem symulacji 1D PIC jest wykazanie wyraźnej przewagi wiązek z polaryzacją kołową, związanej z bardziej gładkim w czasie działaniem siły ponderomotorycznej. Niestety, w omawianym artykule symulacje 2D PIC użyte zostały jedynie pomocniczo. Niemniej jednak ich wyniki pozwoliły zademonstrować, że mimo iż struktura pola elektromagnetycznego w przypadku LICPA jest bardzo złożona, to obecność wnęki stabilizuje przestrzenny rozkład generowanej wiązki jonowej. Argumentem, który przedstawia Habilitant nadal preferując obliczenia jednowymiarowe, jest wielokrotnie krótszy czas obliczeń dla przypadku symulacji 1D. W dobie niemal powszechnej dostępności jednostek wielordzeniowych, a zwłaszcza mając na uwadze, że każdy większy ośrodek dysponuje klastrami obliczeniowymi dużej mocy, ten argument wydaje się łatwy do podważenia. Poświęcenie większej wiarygodności i jakości wyników w zamian za szybszy czas ich uzyskania może być rozwiązaniem jedynie tymczasowym - szczęśliwie Habilitant powraca do modelu 2D w późniejszych pracach, formalnie nie należących do cyklu. Niemniej jednak można by rozważyć przynajmniej dwie niezależne ścieżki skrócenia czasu obliczeń: (a) zastosowanie bardziej wydajnych algorytmów m.in. dystrybucji natężeń prądów np. według Esirkepova (b) zrównoleglenie obliczeń przy użyciu choćby najprostszego schematu „particle decomposition” - na co program stworzony przez Habilitanta powinien być o tyle podatny, że nie zawiera typowego „wąskiego gardła”, jakim bywa niekiedy rozwiązywanie równania Poissona.

Tak jak w przypadku części pierwszej, zwieńczeniem części drugiej cyklu habilitacyjnego jest praca przeglądowa [24]. Zawiera ona m.in. doświadczalne potwierdzenie przewagi akceleracji LICPA (w reżimie hydrodynamicznym) uzyskane dzięki użyciu tarcz

Al/PS w urządzeniu PALS (Praga). Praca zawiera też liczne wyniki symulacji porównujących akceleracje LICPA i RPA dla materiałów o różnej liczbie atomowej Z. Jak w poprzednich artykułach, wyniki wskazują na możliwość osiągnięcia warunków zapłonu w różnych reżimach.

Podsumowując: stwierdzam że założony przez Habilitanta cel, jakim było przebadanie za pomocą symulacji numerycznych wybranych schematów uzyskiwania intensywnych wiązek cząsteczek zarówno w reżimie nierelatywistycznym jak i relatywistycznym został osiągnięty. Dr Jabłoński zajął się niezwykle istotną dla współczesnej nauki dziedziną akceleracji laserowej i modelował naświetlanie szerokiego spektrum tarczy (m.in. folie Au, C, polistyrenowe, mieszane Au/PS) wiązkami laserowymi o różnej gęstości mocy (10^{17} - 10^{22} W/cm²) i polaryzacji. Habilitant stworzył i używał szeregu autorskich programów numerycznych bazujących na dwu różnych modelach plazmy uczestnicząc w badaniach nad nowymi metodami wytwarzania wiązek jonowych. Osiągnięte wyniki z powodzeniem skonfrontował z przewidywaniami modeli analitycznych, a przede wszystkim z wynikami eksperymentów. Przedstawiony cykl 24 prac stanowi osiągnięcie naukowe jeśli chodzi o jakość i aktualność zaprezentowanych w nim badań - wnosi istotny wkład w wiedzę, w szczególności dotyczącą wytwarzania wysokoenergetycznych wiązek jonowych z wykorzystaniem promieniowania laserowego.

Ogólna ocena dorobku naukowego

W trakcie ponad trzydziestoletniej kariery naukowej Habilitant pracował nad różnorodnymi zagadnieniami, przede wszystkim na polu fizyki plazmy i fotoniki. W początkowym okresie pracy na stanowisku asystenta zajmował się opracowywaniem technologii mikrokapsulek z tworzyw sztucznych, wewnątrz których umieszczana była szklana tarcza, optymalizował też technologię wytwarzania bardzo cienkich tarcz płaskich. Zadaniem tych rozwiązań było zwiększenie wydajności transferu energii między wiązką lasera a tarczą. Kolejny temat prowadzonych przez dra Jabłońskiego badań dotyczył komputerowego modelowania działania układów wielowarstwowych wykorzystywanych w układach optycznych systemów laserowych. Opracowany przez Habilitanta w owym czasie program komputerowy modelujący transmisję i pochłanianie światła przez złożone układy cienkowarstwowe wykorzystywany był w zarówno w IFPiLM jak i w Instytucie Elektroniki Kwantowej WAT.

W późniejszych latach dr Sławomir Jabłoński zajmował się technologią wytwarzania światłowodów płaskich bazujących na matrycach z niobianu litu. W tym czasie opracował program komputerowy umożliwiający śledzenie biegu fali świetlnej w ośrodku o zmiennych w przestrzeni właściwościach optycznych. Program ten umożliwił m.in. optymalizację szerokości światłowodu, dla której możliwa była propagacja jednomodowa, optymalizację kąta rozwarcia rozgałęziaczy i szereg innych zagadnień technicznych.

Praca doktorska Habilitanta poświęcona była tematyce ciągle budzącej znaczne zainteresowanie - generacji jak najkrótszych impulsów laserowych. W owym czasie (lata dziewięćdziesiąte poprzedniego wieku) wyzwaniem było otrzymywanie impulsów laserowych rzędu 1 ps. Formowanie krótkiego impulsu laserowego osiągnięte było poprzez synchronizację modów. Dr Sławomir Jabłoński pracował nad osiągnięciem takich warunków pracy lasera ekscymerowego, które pozwoliłyby na osiągnięcie dużych zmian intensywności

rozkładu widmowego światła w trakcie pojedynczego obiegu w rezonatorze. Tzw. szybka synchronizacja modów wymagająca zastosowania szybko reagujących deflektorów elektrooptycznych wydawała się dobrą drogą do uzyskania impulsów pikosekundowych w przypadku laserów o krótkim czasie wzmocnienia (np. ekscymerowych).

Opracowując kompleksową koncepcję uzyskiwania krótkich impulsów z wykorzystaniem laserów ekscymerowych Habilitant stworzył złożony program komputerowy modelujący własności fizyczne warunkujące synchronizację modów w rozpatrywanym układzie, jak np. przekroje czynne na emisję wymuszoną i spontaniczną, charakterystyki poziomów energetycznych oraz własności pasywnych i aktywnych modulatorów światła. Wspomniana koncepcja została z powodzeniem opracowana, rezultaty badań opublikowano w publikacjach [B1-B6], a Habilitant kolejny raz dowiódł swej biegłości w komputerowym modelowaniu procesów fizycznych i rzeczywistych urządzeń uzyskując w 1998 r. stopień doktora nauk fizycznych. Godne odnotowania jest, że nowatorska metoda generacji krótkich impulsów laserowych uzyskała patent krajowy (PL 181756 B1).

Obszar aktualnych zainteresowań naukowych Habilitanta nie zamyka się do zagadnień związanych z akceleracją materii z wykorzystaniem intensywnych wiązek laserowych. Począwszy od roku 2014 dr Sławomir Jabłoński bierze udział w licznych pracach, których tematyka istotnie odbiega od tej poruszanej jego cyklu habilitacyjnego. Wiąże się to z uczestnictwem Habilitanta w międzynarodowym zespole projektu Wendelstein W7-X. Dr Jabłoński stworzył dla potrzeb diagnostyki tego zaawansowanego, a być może przełomowego urządzenia, program RayX, który pozwala symulować emisję promieniowania X z plazmy uwięzionej w tokamaku bądź stellaratorze. Program ten, którego opis można znaleźć w pracy [B7], pozwalał przewidywać widma energetyczne rejestrowane przez detektor w zależności od jego umiejscowienia, geometrii układu szczelin i właściwości plazmy. Habilitant nie stroni od badań eksperymentalnych - w latach 2016 i 2017 wziął udział w dwu kampaniach eksperymentalnych, których efektem było m.in. skonstruowanie i przetestowanie układu PHA (Pulse Height Analyser) greifswaldzkiego stellaratora. Jest autorem oprogramowania sterującego diagnostyką PHA, odpowiadającego za uruchomienia i sterowanie wszystkich wchodzących w skład układu urządzeń, ich kalibrację oraz akwizycję danych. Dr Jabłoński stworzył w owym czasie dynamiczną bibliotekę XRayLib.dll, która stała się bazą kolejnych narzędzi takich jak Zefirex (analiza widm promieniowania X) czy Linex (identyfikacja linii promieniowania pochodzących od zanieczyszczeń w plazmie).

Kolejny obszar zainteresowań naukowych Habilitanta dotyczy konstrukcji detektorów typu GEM (Gas Electron Multiplier). W ramach wspomnianego projektu napisał on program symulujący widma zbierane przez detektory GEM pracujące w różnych konfiguracjach dla realistycznych warunków pracy tokamaka.

Z przedstawionej dokumentacji wyłania się obraz dra Sławomira Jabłońskiego jako naukowca poszukującego i chętnego do poznawania nowych obszarów wiedzy. Świadczy o tym choćby radykalna zmiana jego specjalności naukowej po ukończeniu studiów wyższych jak i angażowanie się w rozmaite badania na wczesnym etapie kariery. Habilitant będąc jednocześnie ekspertem w swojej tematyce wiodącej nie ogranicza się wyłącznie do badań do niej należącej. Angażując się w ambitne projekty badawcze, niezwykle istotne dla rozwoju nauki ale i bezpieczeństwa energetycznego naszej cywilizacji wykorzystuje swą biegłość w posługiwaniu się narzędziami i technikami programistycznymi w celu rozwiązania

konkretnych, aczkolwiek nietrywialnych problemów technologicznych, związanych z analizą danych eksperymentalnych itp.

Tak szerokie zaangażowanie Habilitanta w szereg najwyższej rangi międzynarodowych projektów badawczych znalazło odzwierciedlenie w parametrach bibliometrycznych charakteryzuje jego sylwetkę. W autoreferacie i dołączonym wykazie wspomina jedynie o 9 pracach [B7-B15] będących owocem wspomnianych wyżej kolaboracji. Wystarczy jednak sięgnąć do baz takich jak Scopus czy Web of Science by szybko przekonać się, że od początku 2016 ukazało się 12 kolejnych artykułów, które wynikają z udziału Habilitanta w projektach takich jak Wendelstein W7-X czy WEST.

Dr Sławomir Jabłoński w przedstawionym przez siebie wykazie osiągnięć zadeklarował, że jest autorem bądź współautorem 39 prac naukowych, z czego 36 wydanych w czasopiśmie z tzw. listy A MNiSW. Sumaryczny *impact factor* tych prac przekracza wartość 66, co w przypadku nauk fizycznych można uznać za wartością ponadprzeciętną. Udział dra Jabłońskiego w pracach z poza cyklu habilitacyjnego jest mocno zróżnicowany i mieści się w przedziale 1-70%. Bezwzględnie dominujący wkład (50% lub więcej) habilitant wniósł w przypadku 6 artykułów z poza cyklu. Prace nie wchodzące w skład cyklu również publikowane były w renomowanych czasopiśmie naukowych, jak m.in. *Fusion Engineering and Design*, *Journal of Instrumentation*, *IEEE Journal Of Quantum Electronics*, a nawet w niezwykle prestiżowym *Nature Communications*.

Jak to już wcześniej sygnalizowałem: aktualne dane bibliometryczne opisujące dorobek Habilitanta różnią się od tych deklarowanych w autoreferacie i wykazie osiągnięć przede wszystkim z powodu jego nieustannej aktywności naukowej. Wedle bazy WoS jest on autorem bądź współautorem 82 publikacji, które cytowane były 892 razy, w tym 692 razy nie licząc autocytowań - dla porządku tylko przypomnę tylko, że liczby cytowań podane we wniosku wynosiły odpowiednio 803 i 612. Rzut oka na generowany przez bazę Web of Science wykres liczby cytowań w danym roku od razu pozwala zauważyć w ostatnich dwu latach blisko trzystuprocentowy wzrost liczby cytowań z i tak bardzo dobrego i stabilnego poziomu rzędu 40 cyt./rok. Znalazło to oczywiście odbicie we wzroście tzw. wskaźnika Hirscha z dość wysokiej wartości 16 (deklarowanej w momencie redagowania autoreferatu) do aktualnej wartości 17. Opisywana dynamika jest m.in. skutkiem bardzo aktywnego zaangażowania dra Sławomira Jabłońskiego w najbardziej zaawansowane i ambitne projekty międzynarodowe, których ewentualne powodzenie może zrewolucjonizować światową gospodarkę energetyczną. Podsumowując: wartości sformalizowanych parametrów bibliometrycznych opisujących sylwetkę Habilitanta określiłbym jako ponadprzeciętne - przy czym oczywiście należy mieć na uwadze fakt, że jego kariera jako autora trwa od ponad 30 lat.

W latach 2001-2017 dr Sławomir Jabłoński uczestniczył w 31 konferencjach naukowych, w znakomitej większości międzynarodowych i o długiej tradycji, że wspomnę tylko o konferencjach należących do cyklu PLASMA, *EPS Conference on Plasma Physics*, *IAEA Fusion Energy Conference*, *International Conference on Ion Sources* czy też *IEEE Conference on Plasma Science*. Habilitant dwukrotnie wygłosił tzw. referaty zapraszane „*Two fluid computations of plasma block dynamics for numerical analyze of rippling effect*” podczas Międzynarodowych Warsztatów „*Fast High Density Plasma Blocks Driven by Picosecond Terawatt Lasers*” w Sydney (2004) oraz „*Progress and prospects of fast ignition of ICF targets*” podczas 34. edycji EPS Conference on Plasma Physics w Warszawie (2007).

Wykaz osiągnięć zawiera także obszerną, liczącą 45 pozycji, listę pozostałych wystąpień i komunikatów prezentowanych na wspomnianych konferencjach, warsztatach i sympozjach. Tak aktywny (około 3 komunikaty na rok) udział w konferencjach o wysokim prestiżu doskonale świadczy o aktualności badań prowadzonych przez Habilitanta.

Udział w projektach badawczych jest bardzo istotnym aspektem działalności pracownika naukowego. Dr Sławomir Jabłoński kierował w latach 2014-2018 projektem badawczym p.t. „*Laserowa akceleracja jonów ze szczególnym uwzględnieniem metody LICPA. Modelowanie 1D i 2D układów realnych*” (KDM G57-20). W latach 2004-2017 był także uczestnikiem aż 16 innych projektów badawczych. Znaczna ich liczba to projekty międzynarodowe, finansowane w ramach projektu EURATOM bądź przez Międzynarodową Organizację Energii Atomowej IAEA, na przedstawionej w wykazie osiągnięć liście znajdują się też projekty finansowane przez MNiSW (bądź KBN). Tak wysoki stopień zaangażowania w realizację projektów badawczych zasługuje na wysoką ocenę.

Przechodząc do podsumowania: stwierdzam, że **zarówno rozmiar dorobku Habilitanta po uzyskaniu stopnia doktora opisywany liczbą publikacji i innymi parametrami bibliometrycznymi, jak i aktualność i waga podejmowanych zagadnień, realizacja licznych grantów oraz zaangażowanie w międzynarodowe projekty badawcze sprawiają, że zasługuje on na ocenę bardzo wysoką.**

Ocena dorobku dydaktycznego i organizacyjnego

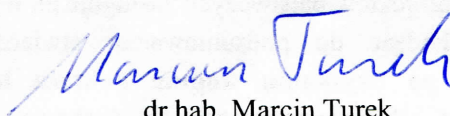
Informacje na temat dorobku Habilitanta na tym polu zawarte w autoreferacie są dość skąpe. Oczywiście oceniając działalność dydaktyczną mam świadomość że zadania i specyfika Instytutu, w którym zatrudniony jest dr Sławomir Jabłoński, jest zupełnie inna niż jednostki, w której prowadzi się regularną działalność dydaktyczną. Niemniej jednak oprócz prowadzenia licznych badań naukowych Habilitant angażował się sprawowanie opieki naukowej nad studentami i doktorantami. Pełnił funkcję promotora pomocniczego obronionej na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej w 2017 pracy doktorskiej mgra Jarosława Domańskiego pt. „*Numeryczne modelowanie laserowej generacji intensywnych wiązek jonów*”. Należy odnotować, że wspomniana praca została wyróżniona. Dr Jabłoński był także promotorem pomocniczym pracy inżynierskiej Dominika Stańczaka „*Implementacja i analiza wydajności programu do symulacji Particle-in-Cell w języku Python*”. Praca ta została obroniona w zeszłym roku również na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej.

Dzięki uprzejmości Pani Dr Moniki Kubkowskiej (kierownik Zakładu Fuzji Jądrowej i Spektroskopii Plazmy) uzyskałem informację, że Habilitant:

- był członkiem komitetu organizacyjnego międzynarodowej konferencji International Conference on Phenomena in Ionized Gases, XXIV ICPIG, Warsaw, Poland, July 11-15, 1999 a także pełnił funkcję współprzewodniczącego sesji tematycznej na tej konferencji,
- był także współprzewodniczącym sesji tematycznej na międzynarodowej konferencji 34th European Physical Society Conference on Plasma Physics, 34th EPS, Warsaw, Poland, July 2-6, 2007.

Podsumowując stwierdzam, że zarówno **przedstawiony cykl 24 prac, a także całokształt dorobku naukowego Habilitanta, w szczególności po uzyskaniu stopnia doktora wnosi znaczący wkład do wiedzy, w szczególności odnośnie niezwykle aktualnej**

tematyki wytwarzania wiązek jonowych z użyciem promieniowania laserowego. Z przedstawionej dokumentacji wynika, że dr Sławomir Jabłoński jest naukowcem dojrzałym, a jednocześnie ciągle poszukującym nowych zagadnień badawczych. Bardzo sprawnie posługuje się technikami programistycznymi, przede wszystkim modelowaniem numerycznym. Obszary jego zainteresowań nie są odległe od eksperymentu, Habilitant często uczestniczy w interpretacji wyników pomiarów, zaś rezultaty jego symulacji numerycznych z powodzeniem weryfikowane są czy to przez zestawienie z danymi eksperymentalnymi, bądź przewidywaniami modeli analitycznych. Stwierdzam, że zaprezentowane osiągnięcia spełniają wymagania *Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (z późniejszymi zmianami). Z pełnym przekonaniem wnioskuję o dopuszczenie dra Sławomira Jabłońskiego do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.



dr hab. Marcin Turek