



Wojskowa  
Akademia  
Techniczna

Instytut  
Optoelektroniki 

Warszawa, dn. 18 maja 2016 r.

## RECENZJA

**dorobku naukowego i osiągnięcia naukowego  
w postaci cyklu powiązanych tematycznie publikacji  
dr. Jacka Jerzego Hoffmana  
ubiegającego się o stopień doktora habilitowanego**

### 1. Charakterystyka ogólna

Jacek Jerzy Hoffman po uzyskaniu w 1980 r. stopnia mgr. fizyki na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (praca pt. „*Badania kinetyki powstawania aerozolu w parach CS<sub>2</sub> wzbudzanych światłem laserowym*” opiekun prof. dr hab. Krzysztof Ernst) rozpoczął w tymże roku pracę naukową w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN, z którym jest związany do dzisiaj. Stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie mechanika uzyskał tamże w 2001 r., broniąc rozprawę pt. „*Oddziaływanie wiązki lasera CO<sub>2</sub> z kanałem parowym w procesie spawania metalu*” promotor prof. dr hab. Zygmunt Szymański.

Oddziaływanie promieniowania laserowego z ośrodkiem oraz badania plazmy stanowiły główne obszary jego zainteresowań naukowych w ponad 30-letniej aktywności zawodowej. W tym obszarze mieści się również cykl powiązanych tematycznie publikacji stanowiących podstawę do ubiegania się o kolejny stopień naukowy doktora habilitowanego. Po wstępnym przeanalizowaniu dostarczonej dokumentacji stwierdzam, że dr Jacek Jerzy Hoffman spełnia wszystkie wymogi formalne warunkujące wszczęcie postępowania habilitacyjnego tj. dostarczył wymagane dokumenty oraz legitymuje się co najmniej wystarczającym dorobkiem naukowym w latach 2001 – 2015 po uzyskaniu stopnia doktora.

## 2. Ocena osiągnięcia naukowego przedstawionego w związku z ubieganiem się o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Jako osiągnięcie naukowe, w rozumieniu art. 16 ust. 2 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 ze zm.), będące podstawą do wszczęcia i przeprowadzenia postępowania habilitacyjnego, dr Jacek Jerzy Hoffman przedstawił cykl powiązanych tematycznie 5 publikacji [H1-H5] z lat 2008 – 2015 pt. „*Badania eksperymentalne ablacji grafitu wywołanej nanosekundowym impulsem lasera*”. Prace te opublikowano w czołowych czasopismach naukowych z dziedziny (Applied Physics A, J. Phys. D ). Habilitant jest jedynym autorem ostatniej pracy [H5] oraz pierwszym autorem w czterech pracach wieloautorskich [H1-H4]. Do każdej z prac [H1-H4] załączone są oświadczenia współautorów potwierdzające wiodący wkład (80%, 80%, 80%, 65%) Habilitanta w ich powstaniu. Łączny współczynnik wpływu cyklu [H1-H5] wynosi 10.26 wg bazy W.o.Sc, prace te zostały zauważone w świecie; zyskały do maja 2015 r. około 20 cytowań w bazie Scopus. Należy oczekiwać, że z uwagi na przedstawione tam (szczególnie w pracach [H4] z 2014 r i [H5] z 2015 r) jakościowe nowe, istotne z punktu widzenia zastosowań wyniki, zainteresowanie pracami Habilitanta powinno rosnąć.

Tematyka cyklu prac jest spójna zarówno pod względem zakresu merytorycznego badań jak i stosowanych metod oraz narzędzi teoretycznych, eksperymentalnych i pomiarowych. Należy dodać, że „...*badaniom eksperymentalnym*...” które przedstawione są w każdej z prac cyklu towarzyszy pogłębiona analiza teoretyczna niezbędna do interpretacji wyników pomiarów. Pierwsze trzy prace poświęcone są badaniom obłoku plazmy powstającej w wyniku laserowej ablacji grafitu, można je zaliczyć zarówno do nauk technicznych jak i fizyki plazmy. Dwie ostatnie prace [H4, H5] mają ciężar położony na badania efektów ablacji grafitu, dostarczając unikalnych informacji technologicznych nt. prędkości usuwania grafitu [H4] oraz dodatkowych efektów eksplozji fazy występujących dla wyższych gęstości energii skutkujących m.in. powstawaniem niejednorodności w nanoszonej warstwie. Prace te, z uwagi na ich interdyscyplinarny charakter sytuowałbym w obszarze nauk technicznych w dyscyplinach mechanika, inżynieria materiałowa oraz fizyka techniczna.

W najstarszej pracy [H1] (z 2008 r.) zastosowano w układzie eksperymentalnym jako źródło promieniowania impulsowy laser ArF generujący na długości fali 191 nm nanosekundowe impulsy z gęstością energii do 8.5 J/cm<sup>2</sup> w ognisku. W pozostałych czterech pracach [H2-H5] wykorzystano laser Nd:YAG (oraz jego 2. i 3. harmoniczne), umożliwiający uzyskanie gęstości energii powyżej 100 J/cm<sup>2</sup>. Eksperymenty dotyczyły usuwania z grafitowej tarczy jonów węgla z wykorzystaniem relatywnie długich impulsów laserowych (~ 10 ns) o intensywnościach powyżej 1 GW/cm<sup>2</sup> i gęstościach energii w zakresie 1-100 J/cm<sup>2</sup>. W literaturze przedmiotu taki reżim powstawania plazmy nazywany jest laserową ablacją termiczną ze względu na dominujący, relatywnie wolny, termiczny mechanizm destrukcji / usuwania materiału tarczy. Należy dodać, że

w ostatnich dwóch dekadach upowszechniły się komercyjne źródła laserowe o znacznie krótszych (piko- i femto-sekundowych) czasach trwania impulsu i znacznie większych gęstościach mocy umożliwiające uzyskanie innych, nietermicznych mechanizmów ablacji. Z tego punktu widzenia tytuł i zawartość osiągnięcia naukowego są dobrze zdefiniowane ze względu na ograniczenie obszaru badawczego jedynie do procesów laserowej ablacji termicznej grafitu przy względnie niskich gęstościach energii z myślą o zastosowaniach w inżynierii materiałowej (np. wytwarzanie warstw diamentopodobnych, laserowe oczyszczanie powierzchni), nanotechnologii (generacja nanorurek węglowych) i.in. Autor wykazuje się w tych pracach szeroką wiedzą teoretyczną i eksperymentalną z tego obszaru, umożliwiającą modelowanie i diagnostykę szybko zmiennych procesów zachodzących w procesie oddziaływania impulsów laserowych z ośrodkiem (w tym przypadku tarczą grafitową).

Najwcześniejsza z prac z 2008 r. [H1] przedstawia eksperymentalne badania ablacji laserowej grafitu przeprowadzone dla stałej gęstości energii ( $8.5 \text{ J/cm}^2$ ) wiązki lasera ArF ( $\lambda = 193 \text{ nm}$ ). Główne wyniki naukowe związane są tu z badaniem prędkości frontu, gęstości elektronowej oraz temperatury obłoku plazmy. Wykazano tu m.in. różne prędkości jonów i atomów w obłoku plazmy co sugerowałoby występowanie różnych mechanizmów przyspieszania. Tematyka ta była kontynuowana w kolejnych pracach cyklu [H2, H3].

Dwie prace [H2] i [H4] pomimo podobieństwa tytułów prezentują istotnie różne podejście badawcze i nakierowane są na badania innych aspektów ablacji grafitu. W pracy [H2] autor po analizie teoretyczno-numerycznej absorpcji w obłoku plazmy powstałej w wyniku laserowej ablacji tarczy grafitowej dla trzech długości fali 355, 532 i 1064 nm w szerokim zakresie temperatur, przechodzi do części eksperymentalnej w której przedstawia wyniki pomiarów profili gęstości elektronowej i temperatury plazmy dla stałej gęstości energii  $15 \text{ J/cm}^2$ . Pokazuje m.in., że zmierzone profile temperatury plazmy nie mogą być objaśnione poprzez różnice w absorpcji w samym obłoku plazmy. Małe różnice między wynikami uzyskanymi dla 2. i 3. harmonicznej można objaśnić różnicami w prędkości ablacji dla krótszych fal spowodowanymi krótszymi drogami wnikania prom. laserowego w ośrodku.

Pod względem jakości i poziomu naukowego na największe uznanie zasługuje w mojej opinii praca [H3]. Wyjaśniony tu jest na gruncie teoretycznym, obserwowany eksperymentalnie mechanizm hydrodynamiczny przyspieszania składników plazmy wywołany gradientem ciśnienia powstałym w wyniku laserowego ogrzewania obłoku. Na uwagę zasługuje tu dobra zgodność eksperymentu z modelem teoretycznym.

Trzy pierwsze prace cyklu [H1-H3] można byłoby zaliczyć do obszaru fizyki plazmy. Autor oraz współpracujący z nim współautorzy demonstrują tu wysoki poziom warsztatu naukowego zarówno odnośnie pomiarów parametrów plazmy jaki i głęboką wiedzę teoretyczną z tego obszaru. Należy tu podkreślić możliwość praktycznych aplikacji wyników tych prac w innych specjalnościach i dziedzinach wiedzy.

Dwie ostatnie prace, w których wykorzystano stanowisko eksperymentalne i metodykę pomiarową omówione w pracy [H2], dotyczą badania efektów ablacji laserowej grafitu.

W pracy [H4] autorzy badają, pod kątem wydajności procesu usuwania materiału z podłoża, wpływ parametrów źródeł laserowych stosowanych w procesie ablacji (tj. gęstości energii oraz długości fali). Pokazane są tu m.in. progowe gęstości energii (różne dla różnych długości fali) dla których zaczyna się (niekorzystne z punktu widzenia zastosowań) zjawisko eksplozji fazy skutkujące wrywaniem z tarczy kropelek oraz stałych fragmentów grafitu w wyniku czego mogą powstawać niejednorodności w laserowo nanoszonej warstwie węgla. Skupiono się tu na fenomenologicznym zbadaniu tego efektu w funkcji gęstości energii i długości fali. Badania eksperymentalne uzupełniono modelowaniem profili temperatury i gęstości elektronowej dla różnych długości fali. Pokazano tu m.in. jakościową zmianę struktury i głębokości kraterów powstałych w efekcie eksplozji fazy.

Ostatnia z prac [H5], stanowiąca swoiste zwieńczenie aktywności naukowej Habilitanta w tej tematyce, przedstawia eksperyment wraz z modelem fizycznym wyjaśniającym mechanizmy fragmentacji występujące w reżimie eksplozji fazy. Praca ta ma charakter interdyscyplinarny łączący wiedzę z różnych obszarów: mechaniki, inżynierii materiałowej oraz fizyki matematycznej. Autor proponuje na wstępie bardzo uproszczony model fizyczny procesu ablacji. W dalszej części wykazuje występowanie nowego mechanizmu fragmentacji spowodowanego, falą ściskania przemieszczającą się w głąb ośrodka generowaną w wyniku ciśnienia par powstających jako efekt ablacji. Autor pokazuje, że ciśnienie par odrzutu odpowiadające punktowi krytycznemu węgla jest uzyskiwane już przy relatywnie niskich gęstościach energii. Efekt ten ma szczególne znaczenie w przypadku materiałów kruchych, takich jak grafit polikrystaliczny.

### **3. Ocena innej aktywności naukowej**

Dr Jacek Hoffman w ponad 30-letnim okresie aktywności naukowej (w tym 15 lat po doktoracie) pozostawał wierny swojej głównej specjalności naukowej; badaniom oddziaływania promieniowania laserowego z ośrodkiem. Analizując Jego aktywność naukową, należy podkreślić bardzo skuteczne połączenie dwóch cech: bardzo szerokich (i narastających w czasie) kompetencji w obszarze modelowania i diagnostyki procesów fizycznych oraz nakierowania na praktyczne aspekty związane z zastosowaniem promieniowania laserowego w przemyśle, inżynierii materiałowej, inżynierii biomedycznej i in. Mówimy tu zawsze o gęstościach mocy promieniowania laserowego dla których powstaje plazma na powierzchni ośrodka czy w otoczeniu. Temu poświęcona jest m.in. podstawowa monografia z tej dziedziny pt. „*Fizyka spawania laserowego*” wydana w 2004 r., której jest współautorem. Droga naukowa Habilitanta odzwierciedla postępy rozwoju techniki laserowej oraz technik diagnostycznych i pomiarowych. Dr Hoffman uzyskał w 2001 r. stopień doktora nauk technicznych w zakresie

mechaniki za pracę poświęconą badaniom oddziaływania wiązki lasera CO<sub>2</sub> w procesie spawania. Dalsza jego aktywność naukowa, podobnie jak większości uczonych zajmujących się tą tematyką, polegała na badaniach różnych aplikacji impulsowych źródeł laserowych o coraz krótszych długościach fali.

Do dorobku naukowego Habilitanta po 2001 r. zaliczyć trzeba przede wszystkim ponad 30 artykułów naukowych z listy JCR (sumaryczny współczynnik wpływu całego dorobku  $IF_{\text{całość}} = 39.22$ ), z których mniej niż 20% stanowi wyodrębniony, powiązany tematycznie cykl prac będący opiniowanym tu osiągnięciem habilitacyjnym. Wynika to po części z faktu zespołowego charakteru wielu prac oraz świadomego ograniczenia ww. cyklu prac tylko do laserowej ablacji grafitu. Można śmiało powiedzieć, że pozostała aktywność naukowa Habilitanta przewyższa dokonania naukowe zawarte w samym cyklu prac stanowiącym osiągnięcie habilitacyjne. Zwraca tu uwagę m.in. znaczny wzrost poziomu diagnostyczno / pomiarowego zespołu Habilitanta umożliwiający obecnie rejestrację szybkich (w skali nanosekundowej) procesów zachodzących w obszarze oddziaływania pola promieniowania laserowego z ośrodkiem oraz poszerzenie obszaru praktycznych zainteresowań. Można tu podać przykłady laserowo-plazmowego czyszczenia elementów grafitowych w reaktorach jądrowych [D11, D15, D17, D21], zastosowania techniki ablacji laserowej w inżynierii biomedycznej [D13, D14] czy też same badania plazmy wytworzonej w inny sposób [D19, D21, D22]. Ta ewolucja zainteresowań naukowych Habilitanta od zgłębiania wiedzy nt. podstawowych efektów po próby licznych aplikacji w istotnych dla społeczeństwa obszarach (ochrona zdrowia, energetyka, nowe technologie itp.) zasługuje na uznanie.

#### 4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę wysoki poziom oraz wszechstronność warsztatu naukowego zaprezentowane w cyklu prac stanowiącym osiągnięcie habilitacyjne dr. Jacka Hoffmana jak i obszerny dorobek naukowy uzyskany poza tym wycinkiem Jego działalności naukowej, stwierdzam, że Habilitant spełnia wymagania określone w art. 16 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dziennik Ustaw z 2003 r. nr 65, poz. 595 wraz z późniejszymi zmianami). Osiągnięcia naukowe dowodzą wysokiego poziomu Habilitanta oraz odpowiedniego przygotowania do samodzielnego prowadzenia prac naukowo – badawczych.

Wnoszę o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr Jackowi Jerzemu Hoffmanowi w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie mechanika.

