

Z BŁYSKIEM W OKU

O BADANIACH NAD SOCZEWKĄ-MIECZ ŚWIETLNY OPOWIADA
DR INŻ. KRZYSZTOF PETELCZYC



**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Zacznijmy od nazwy, bo ona jednak przykuwa uwagę. Czym jest soczewka „miecz świetlny” i dlaczego akurat tak się nazywa?

To soczewka, która skupia światło nie w jeden punkt, jak wszystkie znane soczewki, tylko w odcinek wzdłuż osi. Na pomysł takiej soczewki wpadli lata temu profesorowie Andrzej Kołodziejczyk, Maciej Sypek, Zbigniew Jaroszewicz oraz Salvador Bará. Efekt świetlny skojarzył się młodym entuzjastom z mieczem świetlnym. Niestety, przetłumaczyli to jako light sword, chociaż jak wszyscy fani „Gwiezdných Wojen” wiedzą, „miecz świetlny” po angielsku to „light saber”, czyli szpada świetlna. Określenie light sword optical element, LSOE, zostało użyte w pracy, która ukazała się w 1990 roku. Wtedy to była ciekawostka. Nie było wystar-

czająco efektywnej technologii wytworzenia takiej struktury. Trwało to do czasu, kiedy na studiach profesor zaproponował mi pracę magisterską a potem doktorską na temat właściwości soczewek skupiających wzdłuż osi optycznej.

Jak działa soczewka „miecz świetlny”?

Soczewka, która skupia w punkt, tworzy obraz w jednej konkretnej odległości. Jeżeli mamy soczewkę, która skupia światło nie w jeden punkt, tylko w pewien odcinek, w związku z tym nie ma jednej mocy optycznej, tylko pewien zakres ciągły mocy optycznej. Oznacza to, że w przypadku „miecza świetlnego” możemy wziąć wiele odległości przedmiotowych, które będą ostro obrazować w tej samej chwili na konkretnym ekranie. Albo w drugą stronę: przedmiot z jednej odległości będzie obrazowany w pewnym zakresie odległości. To się nazywa obrazowanie ze zwiększoną głębią ostrości. Okazało się, że struktura „miecz świetlny” wykazuje w tym zakresie bardzo dobre właściwości. Za pomocą takiej soczewki można uzyskać ostre obrazy przedmiotów, które są w pewnym zakresie odległości. W 2011 roku obroniłem na ten temat pracę doktorską, pokazując, że takie zastosowanie może być przydatne w medycynie.

Do czego służy soczewka „miecz świetlny”?

Staramy się poprawić widzenie osób starszych, chociaż właściwie nale-

żałoby powiedzieć: wszystkich osób dotkniętych starczowzrocznością, tj. prezbiopią. Oczy mają taką właściwość, że starzeją się od urodzenia. Na początku tego nie zauważamy, ponieważ zakres tak zwanej akomodacji, czyli zmiany mocy optycznej oka, pozwalającej skupić wzrok na dalekich albo bliskich przedmiotach, jest spory. Z czasem ten zakres się zmniejsza. Zaraz po urodzeniu mamy około 10 dioptrii, co oznacza, że widzimy od nieskończoności do 10 cm. Z każdym rokiem ubywa ułamek dioptrii i średnio po 50 latach zostaje tak mało, że najbliższa odległość, w jakiej widzimy ostro, to jest 1 metr. To stanowi problem, ponieważ nasze ręce zazwyczaj mają mniej niż metr i nawet oddalenie gazety na odległość ręki nie pozwala nic przeczytać. Klasycznie ten problem kompensuje się poprzez założenie okularów do czytania. Da się tak żyć oczywiście, i tak żyją tysiące albo i miliony ludzi na świecie. Natomiast w dzisiejszych czasach poszukuje się lepszych rozwiązań.

Chodzi więc o wygodę?

Nie tylko. Często ze starzeniem się oka jest związany jeszcze drugi problem: zaćma. Naturalna soczewka naszego oka na skutek absorpcji promieniowania ultrafioletowego i innych czynników np. genetycznych lub wieku, zaczyna być coraz bardziej mętna. Obecnie jedynym sposobem leczenia jest operacja, polegająca na usunięciu soczewki. Oko bez soczewki traci jakiejkolwiek możliwości akomodacyjne

(czyli widzi tylko w jednej odległości) oraz brakuje mu mocy optycznej – okuliści nazywają ten stan afakią i oznacza on wadę optyczną -20 dioptrii.

To sporo.

Można oczywiście skorygować to okularami, ale okulary plus 20 dioptrii... Denko od butelki wygląda przy tym jak płaskie szkieleko. Afakie koryguje się obecnie za pomocą wszczepienia sztucznej soczewki w miejsce naturalnej. Implanty są zazwyczaj jednoogniskowe, ale mogą też dać większe możliwości: zwiększoną głębię ostrości, jednoczesne widzenie w dwóch odległościach (bliższej i dalszej), czyli działać jak soczewka dwuogniskowa albo wieloogniskowa. Takie soczewki już istnieją na rynku. Tak zwane soczewki EDF (Extended Depth of Field, rozszerzonej głębi ostrości) to są soczewki wieloogniskowe z marketingowo podrasowanymi właściwościami. Te soczewki wciąż tworzą tylko dwa ogniska, ale ich charakterystyka powoduje, że nie traci się na jakości widzenia, jak w klasycznych soczewkach dwuogniskowych.

To na czym polega przewaga właściwości soczewki „miecz świetlny”?

Niedawno przeprowadziliśmy dwa badania. Pierwsze odbyło się w laboratorium optycznym, w którym wykorzystaliśmy model sztucznego oka, czyli specjalny układ optyczny, zgodny z normami ISO. Badanie wy-

kazało, że nasze implanty są o klasę lepsze, w porównaniu z komercyjnymi soczewkami aktualnie dostępnymi na rynku. Drugie badanie było prowadzone z udziałem ludzi. Niestety, nie mamy jeszcze naszej soczewki w postaci wszczepialnej. Do opracowania takiej zaawansowanej technologii potrzebne nam są dosyć duże fundusze. Z analizy rynku technologicznego wyszło, że opracowanie technologii do wykonania takiej soczewki potrzebne jest minimum około miliona złotych – to na samą technologię, a jeszcze trzeba przeprowadzić badania kliniczne.

Rozumiem, że zanim to nastąpi, pracujecie na jakimś prototypie.

Obecnie mamy soczewkę plastikową, powstałą w ramach projektu europejskiego, który wykonywaliśmy 5 lat temu. Soczewkę można włożyć do obiektywu, można przez nią patrzeć, natomiast nie można jej wszczepić do oka. Nie można jej również użyć jako soczewki kontaktowej. Jedyne co mogliśmy zrobić, to ustawić tę soczewkę jak najbliżej oka. Przeprowadziliśmy takie badanie kliniczne we współpracy z Wojskowym Instytutem Medycznym w Warszawie. Chcieliśmy sprawdzić, jak widzą przez taką soczewkę ludzie dotknięci utratą akomodacji oka (prezbiopia, starczowzroczność): jaki jest kontrast widzenia, jaka jest jakość widzenia.

Co pozwoliły Wam odkryć badania z pacjentami?

Okazuje się, że soczewka działa, a jakość widzenia jest akceptowalna do czytania. Kontrast też jest akceptowalny – w okulistycznych testach widzenia poziom kontrastu nie odbiega na tyle, żeby utracić funkcjonalność widzenia. Optycznie dalej nie pójdziemy – osiągnęliśmy granicę możliwości analizy tego problemu. Odtąd zaczyna się już problem medycyny, fizyki medycznej, optometrii. To jest taki interdyscyplinarny obszar, w którym trudno znaleźć specjalistów.

Dlaczego tak trudno znaleźć specjalistów? Jeżeli kilka dyscyplin bada to samo zagadnienie to mogłoby się wydawać się, że ekspertów jest sporo.

Optycy znają się na optyce, na fizyce, posługują się innym językiem niż okuliści, którzy się znają na oku i na jego fizjologii. Trudno znaleźć wspólny język. Opisując nasz problem badawczy z perspektywy klasyfikacji dziedzin naukowych, jesteśmy na wszystkich trzech nogach. Mamy nauki ścisłe i techniczne, mamy nauki o zdrowiu i jeszcze jest nam potrzebna noga humanistyczna, społeczna. Psychologia eksperymentalna zapewnia umiejętność zaprojektowania odpowiednich procedur badawczych, które by w wiarygodny sposób i dla medyków, i dla fizyków-optyków pokazały wyniki badań klinicznych. Wszystkie testy, które wykonujemy u okulistów, są

„Staramy się poprawić widzenie osób starszych, chociaż właściwie należałoby powiedzieć: wszystkich osób dotkniętych starczowzrocznością, tj. prezbiopią”.

zaprojektowane przez specjalistów w psychologii eksperymentalnej. Fizycy chcą wiedzieć jakie obrazy tworzą się na siatkówce. Lekarze chcą mieć test, w którym stwierdzą, jak człowiek widzi i czy leczenie działa czy nie. Jedni i drudzy często nie mają świadomości, że jest obszar łączący te perspektywy, właśnie obszar psychofizyki, którym się staram obecnie zajmować.

Jak w praktyce wyglądają interdyscyplinarne badania w tym zakresie?

We współpracy z Działem Badań i Analiz w Centrum Zarządzania Innowacjami i Transferem Technologii PW stworzyliśmy Laboratorium Badań Percepcyjnych, które wyposażone jest w aparaturę do optometrii, do badania oka oraz w know-how do projektowania i przeprowadzania badań dotyczących subiektywnych wrażeń, obiektywizacji tych wrażeń i wyciągania z nich wniosków. Nasz Priorytetowy Obszar Badawczy dotyczy implantów wewnątrzgałkowych soczewki oka. Lekarze, na podstawie rozmów z pacjentami, stwierdzają, że pacjenci po wszczepieniu soczewek, szczególnie tych bardziej zaawansowanych technologicznie wielo-

ogniskowych i zwiększających głębokość ostrości, widzą pewne niepożądane efekty optyczne.

Takim efektem optycznym jest blask, czyli jeżeli patrzymy na źródło światła, to nie widzimy pojedynczego źródła światła tylko taką plamę świetlną wokół niego. Takim zjawiskiem jest też halo, kiedy wokół źródła światła widzimy wyraźnie odseparowany okrąg koncentryczny, ze środkiem w tym punkcie światła. Lekarze wiążą te efekty z soczewkami wewnątrzgałkowymi, ale nie potrafią tego zmierzyć. Mogą tylko zapytać pacjenta. Nie ma możliwości oceny skali, wielkości tego problemu, a już tym bardziej powiązania go z konkretnym rodzajem soczewki kontaktowej

naprzeciw temu zapotrzebowaniu poprzez opracowanie metody i budowę skali, w której byłoby można mierzyć takie efekty w odniesieniu do rzeczywistych wrażeń pacjentów.

Z wizyt u okulisty zapamiętałam, że testuje się różne soczewki i pada pytanie: czy dobrze widzę? Nigdy nie wiem, co odpowiedzieć na takie pytanie. Całe życie noszę okulary, więc właściwie nie wiem, jaki jest mój punkt odniesienia: jak powinnam widzieć, gdzie jest właściwy punkt ostrości? Jak planujecie sobie poradzić z uporządkowaniem takich subiektywnych odczuć?

Chcemy zgromadzić pacjentów, którzy doświadczają takich efektów, zbudować odpowiednie urządzenie, które by potrafiło zmierzyć dokładnie pole widzenia. Chcemy badać nie pole widzenia w sensie obiektywnym (jaki obraz się pojawia na siatkówce oka tych pacjentów), ale pole widzenia w sensie subiektywnym (jak pacjenci widzą punkty w różnych miejscach pola widzenia). Potem spróbować w optyczny, oczywiście uproszczony, sposób zasymulować to ich pole widzenia”.

„Chcemy badać nie pole widzenia w sensie obiektywnym (jaki obraz się pojawia na siatkówce oka tych pacjentów), ale pole widzenia w sensie subiektywnym (jak pacjenci widzą punkty w różnych miejscach pola widzenia). Potem spróbować w optyczny, oczywiście uproszczony, sposób zasymulować to ich pole widzenia”.

albo implantu wewnątrzgałkowego mimo, iż to z kolei interesowałoby prawdopodobnie producentów soczewek, którzy chcieliby unikać tych efektów. Nasz projekt ma wychodzić

oczywiście uproszczony, sposób zasymulować to ich pole widzenia. Kiedy je zasymulujemy, będziemy mieli parametry symulacji, które będą określać nam dokładnie to,

co pacjent widzi. W przyszłości, być może w kolejnym projekcie, powiązać te elementy z odpowiednimi soczewkami i w ten sposób dać możliwość tworzenia udoskonalonych soczewek unikających tych efektów a lekarzom dać możliwość bardziej precyzyjnej diagnozy.

Metoda pomiaru odzwierciedla subiektywne pole widzenia, czyli sposób w jaki pacjent widzi i jego subiektywną ocenę jakości. W jaki sposób przebiega obiektywizacja takich danych? W jaki sposób zapewnienie mierzalności i porównywalności tych obserwacji?

Właśnie do tego, żeby to były mierzalne zagadnienia, służą metody psychofizyki. Trzeba w ten sposób zadać pytanie pacjentowi, aby odpowiedź na to pytanie była jednoznaczna. My to będziemy robić w ten sposób, że zaświecimy pacjentowi jasne punktowe źródło w centrum pola widzenia. Równocześnie będziemy zapalać drugie, dużo słabsze światełko w różnych miejscach w tak zwanym obszarze peryferyjnym. Zamiast zapytać „czy widzi?“, na co pacjent może odpowiedzieć tylko: „tak” lub „nie”, będziemy pytać „w jakim kierunku widzi? na jakiej godzinie?” Korzystamy z tego, że oba badane zjawiska (halo i blask) mają symetrię obrotową – to są koła, pierścienie. Na podstawie odpowiedzi pacjenta będziemy w stanie określić, czy rzeczywiście widzi światełka w tym miejscu, w którym są. Ponadto, światełko będzie miało rosnące natężenie. W ten sposób chcemy zbudować

charakterystykę pola widzenia w sposób jednocześnie subiektywny, bo to pacjent będzie sprawdzał czy widzi, ale z drugiej strony zobiektywizowany o tyle, żeby zminimalizować tzw. „uprzedzenie” pacjenta, czyli sytuację, kiedy jeden pacjent będzie mówił „widzę” za ledwie po mignięciu a drugi dopiero wtedy, kiedy już będzie widział wyraźnie.

No dobrze, to jak będzie można używać waszej soczewki? Na razie jest model, plastikowy prototyp, a kawał pracy przed wami, zanim możliwe będą implanty.

Soczewka „miecz świetlny” nie może działać jako okulary, ponieważ jej specyfika wymaga, żeby aktywna była cała powierzchnia. W okularach wybieramy sobie za pomocą oka fragment okularu, przez który patrzymy. To musi być albo soczewka kontaktowa, albo implant wewnątrzgałkowy, bo w tych rozwiązaniach cała powierzchnia elementu jednocześnie działa.

Największym problemem w wykonaniu takiej struktury jest to, że jest niesymetryczna. Nie da się jej zrobić tak, jak zazwyczaj się robi soczewki, czyli przez toczenie: obrót i szlifowanie. Zwykłą soczewkę, niezależnie od tego, w którą stronę ją przekroimy, zawsze będziemy mieli ten sam ten sam profil przekroju, ten sam kształt. Na tym polega symetria obrotowa, że jeżeli obrócimy element, to będzie identyczny. Nasz element nie ma symetrii obrotowej – jeżeli go obrócimy, to będzie już inaczej wyglądał. Jedno-

częściej, to właśnie ten brak symetrii powoduje przewagę jakości widzenia w naszej soczewce, bo rozogniskowane obrazy przedmiotów z jednej odległości nie zakłócają obrazu w innej odległości.

Ponadto, by stworzyć implant albo soczewkę kontaktową, musimy użyć materiału biokompatybilnego, miękkiego, sprężystego. Dalsze prace nad soczewką to problem materiałowy, technologiczny i kolejnych etapów badań klinicznych. Gdybyśmy mieli soczewkę w formie bioakceptowalnej, którą można włożyć do oka i pokazać, że w starszym wieku widzimy dobrze we wszystkich odległościach, to firmy by się tym zainteresowały. Na razie są jeszcze trochę nieufne do tego pomysłu. To jest coś nowego, innego niż produkt, który mają przetestowany, sprawdzony, działa i przynosi zyski.

To faktycznie duże wyzwanie, by przekonać rynek do nowego rozwiązania, kiedy dotychczasowe wciąż jest efektywne. Jak rozumie Pan takie określenie społeczna odpowiedzialność nauki?

W obecnych czasach społeczna odpowiedzialność nauki przede wszystkim kojarzy mi się z tym, żeby ludziom dać wiedzę taką, w którą oni by uwierzyli.

Chcemy porozmawiać o fake newsach i o tym jak niektórzy wierzą w rzeczy, które nie są naukowo potwierdzone?

Tak czy inaczej, jest to wina nauki, a nie ludzi. Na tym polega społecz-

na odpowiedzialność nauki, żeby w ten sposób prezentować osiągnięcia nauki i wiedzę, żeby ludzie w to wierzyli. To jest według mnie społeczna odpowiedzialność nauki.

Jakie argumenty, jaki sposób prezentacji wiedzy pomaga w tym, żeby ludzie w nią uwierzyli?

Najpierw muszą to zrozumieć, to już jest pierwszą barierą. Po drugie, muszą się tym zafascynować. A po trzecie, najlepiej jakby cokolwiek z tego sami sprawdzili. Trzeba odwołać się w rozmowie do czegoś, co oni mogą sami sprawdzić. Szkoła i nauczyciele mogą wpłynąć na ukierunkowanie. Miałem w szkole podstawowej dwóch nauczycieli, którzy potrafili wzbudzić u mnie fascynację. To było nauczycielka historii i nauczycielka fizyki. W związku z tym już idąc do szkoły średniej, miałem pytanie, czy fizyka, czy historia. Wygrała fizyka, ale historia we mnie siedzi. Książka o fizyku, profesorze Mieczysławie Wolfke, którą napisałem wraz z Eweliną Kędziorską, świadczy o tym najlepiej. To były badania historyczne i próba rekonstrukcji wydarzeń. Staraliśmy się nadać temu wymiar mało techniczny, żeby tam były ukryte emocje, których te historyczne postaci, mogły doświadczać. A dla czego w fizyce wybrałem optykę? Szczerze powiedziawszy z powodu „Gwiazdnych Wojen”. Zawsze chciałem skonstruować „miecz świetlny”, hologramy...

Wygląda na to, że z marzeniem



o mieczu świetlnym nie było większych problemów.

Tak, swego czasu postanowiliśmy z panią Aleksandrą Fliszkiewicz skonstruować miecz i nam się udało.

Gratuluję. Proszę powiedzieć, z jakiego osiągnięcia jest Pan najbardziej dumny?

Jeżeli chodzi o sprawy naukowe, to powiem szczerze, że jestem raczej przywiązany do popularyzacji nauki niż do jej posuwania naprzód. W związku z tym moim ostatnim największym osiągnięciem jest zjazd fizyków i książka o Wolfkem. Natomiast jedno i drugie doświadczenie staram się połączyć w Rok Wolfkego, któremu patronują Politechnika Warszawska, Polskie Towarzystwo Fizyczne, Polskie Stowarzyszenie Fotoniczne i Komitet Fizyki Polskiej Akademii Nauk. Projekt ma być nastawiony na popularyzację nauki inspirowanej postacią profesora, która jest kwintesencją politech-

nicznego podejścia do nauki – z jednej strony poszukiwania nowych zjawisk, ale z drugiej strony próby ich praktycznego zastosowania.

Rozmowę przeprowadziła:
dr Aleksandra Wycisk
(DBA CZIiTT PW)