„Na ścieżkach Fizyki Współczesnej” – wystawy, wykłady, książki

Grzegorz **Karwasz**, Tomasz **Wróblewski**

Dydaktyka interaktywna, w tym właśnie fizyki, jak to pokazuje nadzwyczajny sukces centrów nauki, okazała się w Polsce prawdziwą rewolucją. Dwie z wystaw, „Fiat Lux” o optyce i „Z górki na pazurki” opisaliśmy w poprzednich numerach „Fizyki w Szkole”.

Początek naszych wystaw interaktywnych sięga 1998 roku i „Fizyki i zabawek”. Czterdzieści cztery eksponaty, z kolekcji naszego kolegi, Vittorio Zanettiego z Uniwersytetu w Trydencie, okazały się prawdziwą sensacją. Opisaliśmy je niezwłocznie w Internecie, co zapewniło im natychmiastową popularyzację. Do dziś, szczególnie w maju, setki uczniów korzystają codziennie ze strony http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki.

„Fizyka zabawek” doczekała się też niezliczonych powtórzeń, począwszy od XXXV Zjazdu Fizyków Polskich [1] w 1999 roku oraz podobnie wielu „klonów”. Proste eksponaty fizyczne stały się podstawą powstających centrów nauki, od „Hevelianum” w Gdańsku (w 2009 roku) do „Kopernika” (w 2011 roku). Obszerne studium centrów nauki w Polsce, Europie i na świecie zawarliśmy (GK) w książce „Idee i realizacje dydaktyki interaktywnej” [2].

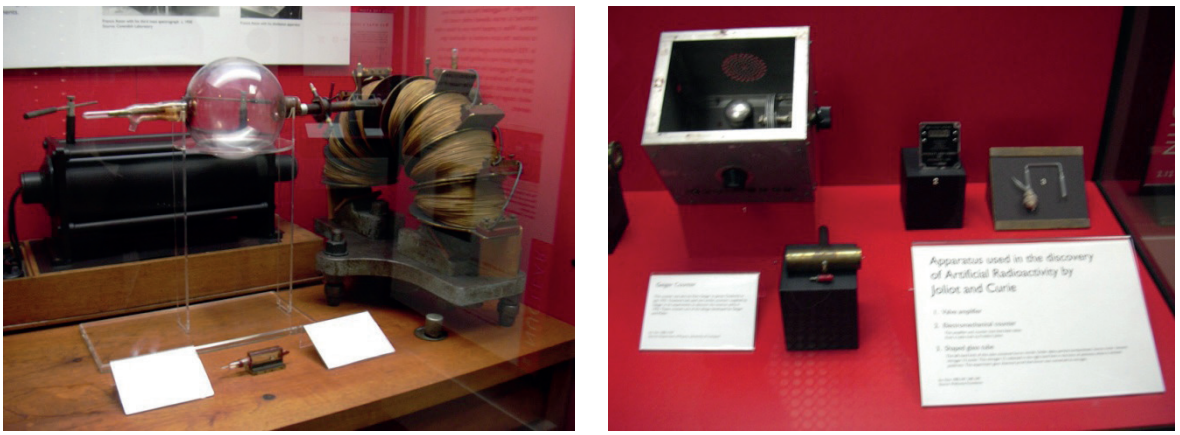
W 2003 roku poczuliśmy się zmęczeni sukcesem pomysłu Vittorio Zanettiego i na Zjeździe Fizyków Polskich w Gdańsku postanowiliśmy zaprezentować coś nowego. „Fizyka zabawek” musiała się pojawić, ale w formie sekwencyjnej (a nie gniazd tematycznych, jak to było wcześniej), z krótkimi opisami (awers i rewers), a nauczyciele otrzymywali proste eksponaty (kawałki drutu, gwoździki, korek od butelki wina dla wykonania nurka Kartezjusza, itd.). Drugą salę lekcyjną na Wydziale Fizyki i Matematyki Uniwersytetu Gdańskiego zajęliśmy na szkolne doświadczenia z elektromagnetyzmu, nieco na kanwie wystawy „200 lat ogniwa Volty” [3]. Eksponaty zostały ustawione w gniazda (elektrostatyka, magnetostatyka itd.) i uzupełnione w życiorysy odkrywców (przygotowanych przez studentów Akademii Pomorskiej w Słupsku, pod kierunkiem mgr Anny Okoniewskiej-Kamińskiej).

Największą salę, jaką otrzymaliśmy do dyspozycji na Uniwersytecie Gdańskim, wykorzystaliśmy na wystawę zupełnie nowatorską: fizyki współczesnej. Idea zrodziła się w 2002 roku w trakcie zwiedzania czwartego, przedostatniego piętra w Science Museum w Londynie (na ostatnim piętrze, jakby poddaszu, umiejscowiono muzeum przyrządów farmaceutycznych). Dominowały w tym czasie w Museum, oczywiście, duże, kolorowe interaktywne eksponaty pozwalające, zrównoważonej zazwyczaj angielskiej młodzieży, na rodzaj „treningu” siłowego.

Drugie piętro zawierało kolekcję instrumentów naukowych króla Jerzego III. Dziś można je obejrzeć na stronach internetowych wpisując w wyszukiwarce Museum „George III”: są to mosiężne półkule magdeburskie, budzik pod próżniowym kloszem, stożek na równi itd. Ale naprawdę unikalne pozostają w Museum nieliczne, autentyczne eksponaty, które w XX wieku wyznaczyły drogę do fizyki współczesnej: pierwsza dioda próżniowa Fleminga, proste przyrządy używane przez małżeństwo Joliot-Curie do badań neutronów w latach 30-tych zeszłego wieku (Joliot Curie emigrowali do Anglii na czas wojny), ryc. 1a, pierwszy spektrometr masowy Astona, za pomocą którego odkrył on w 1921 roku w neonie dwa *izotopy* (o masach atomowych 20 i 22), ryc. 1b, co z kolei wskazywało na istnienie neutronu.

Trzy sposoby wizualizacji

Autentyczne instrumenty, które posłużyły epokowym odkryciom to tylko jeden z aspektów naszego sposobu na



Ryc. 1. Oryginalne przyrządy, na których dokonano epokowych odkryć w fizyce (i chemii) w kolekcji Science Museum w Londynie w 2003 roku. (a) Spektrometr masowy Astona z 1919 roku, za pomocą którego odkrył on dwa stabilne izotopy neonu. (b) Przyrządy do badań nad sztuczną (tzn. indukowaną) radioaktywnością, które w 1940 roku małżeństwo Joliot-Curie przewiozło do Anglii. Zdjęcia (GK) są, niestety, nieostre i niedoświetlone: ot! początki fotografii cyfrowej.

Ryc. 2. Okładki czasopism jako sposób na „konceptualizację" zjawisk, rozbudzenie wyobraźni i trwalsze zapamiętywanie. (a) Kondensat Bosego-Einsteina, 22/12/2005. (b) Okrycie grobu króla Midasa i spektroskopia resztek po uczcie (23/12/1999). (c) Rozproszenie elektronu na atomie wodoru: funkcje falowe elektronu padającego, rozproszonego i wybitego z atomu (24/12/1999).

prezentację fizyki współczesnej. Drugim jest oczywiście współczesność, czyli dzisiejsze artykuły w „gorących" tematach nauki. Jakie są te tematy? Można przyjrzeć się okładkom prestiżowych czasopism, jak „Science" czy „Nature". Jest to znakomity przegląd, na rzut oka, najnowszych odkryć w biologii, chemii, fizyce, technologii.

Bez wątpienia, jednym z największych odkryć XX wieku, najpierw teoretycznym, a dziesięciolecia później – realizacją doświadczalną, jest kondensat Bosego-Einsteina (BEC). W artykule o stanach materii (http://) zdefiniowaliśmy go jaki szósty stan materii, coś pośredniego między uporządkowanym kryształem a bardzo zimnym i rozrzedzonym gazem. „Science" poświęciło okładkę zaraz po uzyskaniu kondensatu w laboratorium. Oddaje ona znakomicie sens zjawiska: atomy tracą swoją indywidualność, a stają się uporządkowanym, wojskowym szykiem (ryc. 2a).

Przeglądanie okładek (najlepiej w wydaniach papierowych, w jakiejś dobrze zaopatrzonej bibliotece uniwersyteckiej) jest znakomitym sposobem na „konceptualizację" (niełądne słowo!) odkryć współczesnej nauki: kolorowa grafika, oddająca sens odkrycia, a przy tym korzystająca często z unikalnych zdjęć, znajduje swoje miejsce w głębokiej, trwałej pamięci ucznia/ nauczyciela/ naukowca.

Na ryc. 2b pokazujemy sensacyjne w swej interdyscyplinarności odkrycie archeologów/ kulturoznawców/ fizyków z Uniwersytetu w Pensylwanii – pełną kosztowności zawartość grobu z VII w. p.n.e. z centralnej Turcji, rejonu nazywanego kiedyś Frygią. W grobie tym znaleziono też kielichy i talerze z pogrzebowej uczty. Metodami fizycznymi (spektrometrii masowej i spektrometrii optycznej w podczerwieni) udało się zidentyfikować potrawy i napoje, którymi delektowali się biesiadnicy. Historyjka na naszej stronie internetowej nosi tytuł „Na stypie u króla Midasa".

Na stypie u króla Midasa

Czy można stwierdzić, co jedzono na uczcie 3000 lat temu? Okazuje się że tak!

W 1999 roku archeolodzy odkryli w Azji Mniejszej, na terenie dawnej Frygii, grób pełen wszelkich kosztowno□ci, pereł, kamieni szlachetnych, ciężkich tkanin i wyszukanych naczyń z brązu. Bogactwo pochówku wskazywało na wysokš rangę zmarłego, zaś miejsce znaleziska i jego wiek - na pokrewieństwo kulturowe z przedklasyczną Grecją. Prawie, że prawie, grób króla Midasa.

Na dnie kielichów z brązu w formie owczych głów były jakieś resztki, niewidoczne niemalże gołym okiem. Czyżby okruchy ze stypy? Było ich jednak zbyt mało (no i nieco nieświeże!) aby pokusić się o skosztowanie. Ślinka jednak leci!
Na szczęście, na cóż współczesna nauka. Powie Ci (i policji), nie tylko ile wypiłeś, ale i jaką markę alkoholu! Różne techniki, które posłużyły do określenia, co jedzono na stypie u króla Midasa, określamy wspólnie nazwą **spektroskopii** (od łacińskiego słowa *spectrum*, czyli widmo).

Okazuje się, że na stypie króla Midasa bynajmniej sobie nie żałowano: na dnie ponad 100 kielichów i waz do mieszania trunków ślady znaleziono 16 różnych napojów alkoholowych: gatunkowych win, jęczmiennego piwa i fermentowanego pszczelego miodu. Na dnie półmisków zidentyfikowano co najmniej 14 gatunków mięsiw, głównie z kóz i baraniny. Mięsa były najpierw podpiekane na ruszcie, później oddzielane od kości a następnie mieszane z ziołami i przyprawami. Wina i piwa mieszane były w różnych proporcjach i serwowane w wyszukanych pucharach. Co zostało, załadowano królowi Midasowi na drogę przez Styks.

Już sama taka stypa wystarczy aby przejść do **mitu**!

Ryc. 3. Nasz krótki, zajmujący i zabawny, ale naukowo dokładny opis odkrycia grobu króla Midasa i badania resztek pożywienia z uczty sprzed prawie trzech tysięcy lat. (http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/stypa.html)

Podobnego odkrycia dokonano również w Polsce, w Brześciu Kujawskim, niedaleko od Torunia. Stosowna historyjka nosi tytuł „Od kiedy pijemy krowie mleko?" i zahacza o genetykę, migrację ludów, współczesne recepty kulinarne. Otóż, dorośli ludzie, nie trawią mleka (dziś mówimy o nietolerancji na laktozę). Tak! zdecydowana większość mieszkańców Chin, Afryki, a nawet Sycylii, nie trawi mleka. Ale jakieś 9 tysięcy lat temu, kiedy kończyła się epoka lodowcowa w Europie, na terenie dzisiejszej Turcji udomowiono krowy. A u niektórych mieszkańców tego regionu pojawiła się mutacja genetyczna pozwalająca na trawienie laktozy. I ci hodowcy krów ruszyli na zachód, do Europy. W Brześciu Kujawskim znaleziono resztki ceramicznych kubków: niektóre z małymi otworami. Służyły one do wytwarzania kwaszonego mleka, takiego bez cukru. A inne kubki, bez dziur, zawierały resztki krowiego tłuszczu. W badaniach uczestniczyli polscy archeolodzy, ale leader grupy, Peter Bogucki, pracuje w Princeton. Polecamy tę lekturę na naszych stronach „W tym dwutygodniu" [4] aktualizujących, o ile starcza nam czasu, wystawę z 2003 roku.

Kolorowa grafika może też oddać to, co sobie *wyobrażam*y, ale nie bardzo ortodoksyjne podręczniki uniwersyteckie pokazują – np. funkcję falową rozproszonego na atomie elektronu, ryc. 2c. Na wystawie w Gdańsku zwiedzający mieli do wglądu kompletne artykuły naukowe związane z tytułowymi okładkami; w wersji internetowej podajemy, niestety, tylko linki (zazwyczaj zabezpieczone przez copyright).

Trzecim sposobem wizualizacji fizyki współczesnej, obok oryginalnej, lecz zabytkowej aparatury doświadczalnej i obok współczesnego artykułu naukowego jest eksponat interaktywny – prosty, a przez to najciekawszy. Służy on ilustracji *koncepcji*. O tym poniżej.

Pokazać niepokazywalne

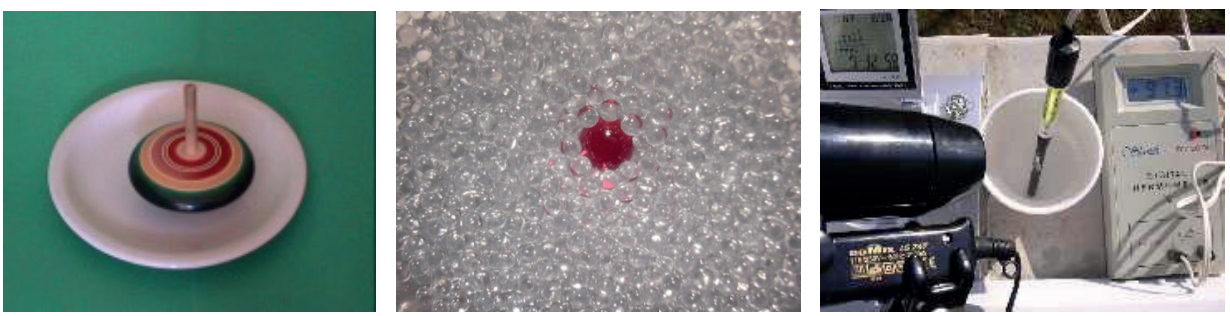
Wzmianka o kondensacie Bosego-Einsteina w postaci okładki „Science" nie niesie dostatecznej porcji informacji dla nie-specjalistów. Zwykłemu odbiorcy należy przekazać nieco szczegółów – główne punkty zjawiska: zgodnie z naszymi zasadami dydaktycznymi pierwsze wyjaśnienie powinno być proste i obrazowe. Dla uzyskania BEC było niezbędne pułapkowanie atomów w polu magnetycznym. A ponieważ najistotniejszym elementem decydującym o możliwości BEC jest spin atomu (musi on być całkowity, aby się stosowała statystyka bozonów), ilustrujemy to pułapkowanie za pomocą szybko kręcącego się bąka (z Nowego Meksyku) umieszczonego na płaskim talerzu z małym zagłębieniem w środku (fot. 4a). Bąk, po kilkunastu sekundach dość chaotycznego przemiatania powierzchni talerza, umiejscawia się w tej płytkiej pułapce.

Drugim kluczowym zjawiskiem w BEC jest schładzanie atomów poprzez zderzenia z fotonami. Atom (a właściwie źródło fotonów, czyli laser) musi więc być „odpowiedni" – tzn. energia fotonów musi odpowiadać określonym przejściom elektronowym w atomie. Pierwszy BEC został uzyskany w rubidzie. Fotony, zderzając się z atomami, przekazują im nie tylko energię, ale i pęd. Celem „chłodzenia" jest spowolnienie najgorętszych (czyli najszybszych) atomów. Uzyskuje się to odstrajając laser w kierunku „podczerwieni" – tak, aby tylko najszybsze atomy, poruszające się w kierunku padającej wiązki lasera absorbowały fotony. No tak! ale atom po wzbudzeniu ulega „de-ekscytacji", czyli odsyła ponownie zaabsorbowany foton. Tak! ale odsyła w kierunku przypadkowym, czyli średni pęd odrzutu nie jest już skierowany na zewnątrz chmury atomu. Jest to dość trudne do zrozumienia z opisu słownego, więc schemat, jak na naszym dydaktycznym plakacie, zob. ryc. 5a, okazuje się absolutnie niezbędny.

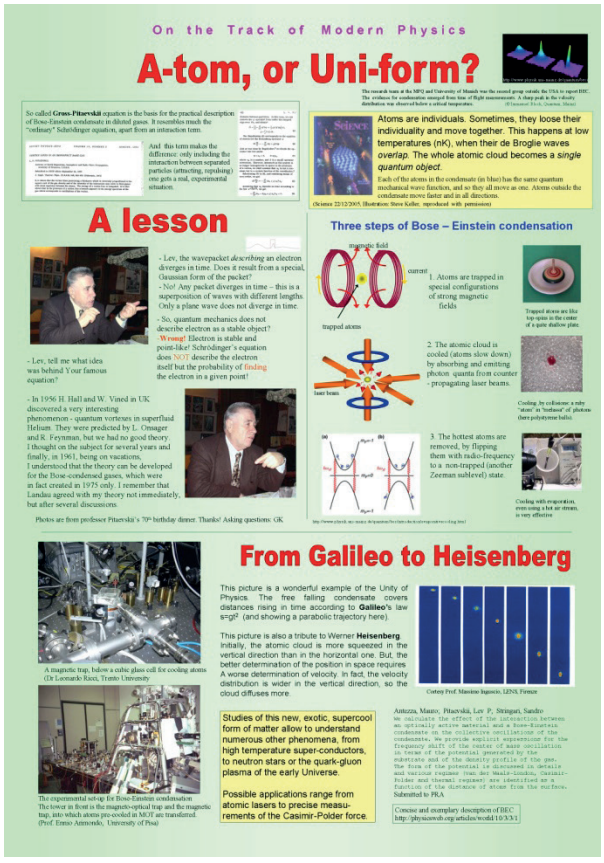
Czy można „namacalnie" pokazać chłodzenie atomu rubidu w zderzeniach z (lekkimi) fotonami nadlatującymi ze wszystkich stron? Nasz pomysł jest taki: rubinowa kulka w filiżance wypełnionej lekkimi, plastikowymi kulkami umiejscawia się w centrum już po kilku potrząśnięciach naszym „kondensatem", ryc. 4b. Drogi Albercie – widzisz, że wszystko można pokazać?

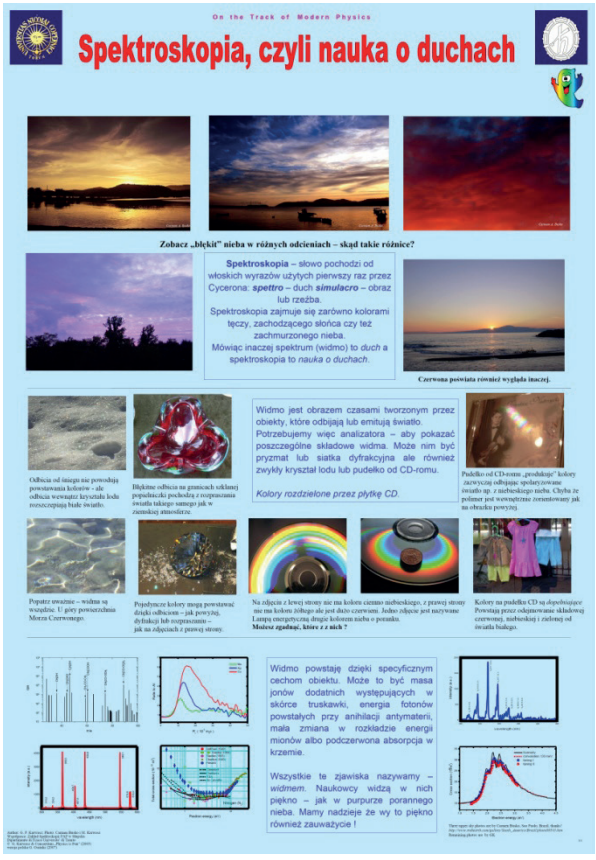
Pozostaje trzeci element techniczny, który okazał się decydujący w wyścigu kilku grup doświadczalnych: chłodzenie wymuszone. Pokazujemy to w doświadczeniu bardzo pouczającym, niezwykle prostym do powtórzenia w szkole. Wiemy, choćby dmuchając na spoconą rękę, że przepływ powietrza, nawet ciepłego z naszych ust – „chłodzi". Dokładniej: przepływ powietrza wspomaga parowanie wody z powierzchni ręki, a do odparowania jednego grama wody, nawet przy temperaturze 100ºC potrzeba aż 540 kalorii. To reszta potu na ręce dostarcza tej energii, czyli się ochładza. (Celowo przytaczamy nielegalne kalorie, bo są one dydaktycznie obrazowe.)

Doświadczenie, które pokazujemy na ryc. 4c (i proponujemy do powtórzenia w szkolnej klasie), to pomiar tem-



Ryc. 4. „Namacalna" interpretacja trzech etapów tworzenia się kondensatu Bosego-Einsteina. (a) Pułapkowanie atomów (o spinie całkowitym) w płytkiej pułapce magnetycznej. (b) Chłodzenie w „melasie" pola fotonów zderzających się z atomami – kulka ze szkła w filiżance pełnej plastikowych paciorków. (c) Wymuszone parowanie, czyli usuwanie najgorętszych atomów. Tu – chłodzenie ciepłej wody przez strumień gorącego powietrza z suszarki do włosów. Współpraca: mgr A. Krzysztofowicz.





Ryc.5. Plakaty dydaktyczne jako uzupełnienie eksponatów interaktywnych niosą w miarę kompletną informację o opisywanym zjawisku: oryginalny artykuł, wywiad z prof. Lvem Pijaevskim, który zjawisko przewidział, dwie realizacje praktyczne i piękne doświadczenie dydaktyczne - spadek swobody kondensatu. Autor GK. http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/html/posters.html

peratury w polistyrenowym kubku od kawy. Wlewamy do niego gorącą wodę i sprawdzamy szybkość ochładzania się: bez przepływu powietrza, przy chłodzeniu z góry zimnym strumieniem powietrza, po czym, w trzecim doświadczeniu – gorącym strumieniem. Najlepiej użyć trzech kubków obok siebie – termometr wystarczy jeden. Wynik zaskakujący, ale znakomicie ilustrujący doświadczenie BEC.

W kondensacie obniżenie temperatury poniżej 170 mK osiągnięto poprzez „odparowanie" z pułapki najszybszych, choć już bardzo zimnych atomów. A ponieważ mówimy o bardzo niskich energiach, „fotonami" wymuszającymi parowanie są kwanty pola mikrofalowego. Po tych wszystkich etapach chłodzenia, w pułapce pozostało nie więcej niż milion atomów. Ale to wystarczyło do otrzymania nagrody Nobla. Praktyczną realizację BEC pokazujemy na plakacie, powstałym w 2005 roku, w ramach naszego projektu EU „Science is Fun" (ryc. 5a).

Idea, nie obiekt

Błędem (a właściwie ekonomiczną koniecznością) większości centów nauki jest pokazywanie obiektu, a nie idei, która u podstaw tego eksponatu leży. Laser (też idea Einsteina), w latach 60. ubiegłego wieku był podobną sensacją, jak BEC trzydzieści lat później. Dziś lasery, te półprzewodnikowe, kosztują pojedyncze grosze: wystarczy dobrać odpowiednio domieszkowanie arsenku galu lub innego podobnego kryształu.

Lasery gazowe, jak te używane do cięcia blach (w co drugim miasteczku w Polsce widnieją stosowne reklamy) są dużo bardziej skomplikowane. Przede wszystkim niezbędne jest wyładowanie elektryczne w gazie: można je pokazać za pomocą rurek Plückera (zob. inne nasze artykuły w FwSz) a widmo obejrzeć za pomocą siatki dyfrakcyjnej. Nawet jeśli nie mamy tego rodzaju rurek, linie widmowe gazu można obserwować za pomocą płyty CD i żarówki „energo-oszczędnej": tak to pokazaliśmy w Gdańsku w 2003 roku, ryc. 6.

Drugim istotnym elementem konstrukcji lasera gazowego są selektywne zwierciadła, przepuszczające ściśle określoną długość fali światła. Ich otrzymanie wymaga dość skomplikowanego procesu nakładania na przemian warstw o dużym i małym współczynniku załamania i grubości ściśle dobranej do potrzebnej długości fali. Trudne? Bynajmniej! Tak działają najpopularniejsze, „kolorowe" okulary przeciwsłoneczne. To też warstwy tlenków metali naniesione na powierzchnię plastiku. Okulary te to „zwierciadła interferencyjne" – jak mydlana bańka i jak podstawa piramidy Swarovskiego [5]. Okulary oglądane z zewnątrz są czerwone, a świat oglądany przez nie – zielonkawy. Dwa kolory dopełniające. Jeśli okulary są żółte, to świat oglądany będzie… Spróbujcie sami.

Pozostaje trzecie zjawisko istotne w laserze gazowym: zwierciadła są przyklejone pod tzw. kątem Brewstera, dla zapewnienia polaryzacji światła. I znów zjawisko banalne do pokazania. Okulary polaryzacyjne (niekoniecznie Polaroidu) kosztują kilkanaście lub kilkadziesiąt złotych. A źródło światła spolaryzowanego? Niebieskie niebo, czyli to oglądane pod kątem 90º do pozycji Słońca. A jeszcze lepiej – ekran telefonu komórkowego lub innego wyświetlacza ciekło-krystalicznego. Wystarczy kręcić okularami

Ryc. 6. Eksponaty wyjaśniające pułapkowanie atomów i działanie laserów, m.in. żarówka energo-oszczędna i płyta CD do obserwacji linii widmowych, z przodu – „spojrzenie w nieskończoność" – półprzepuszczalne lustro jak w laserze, nieco głębiej – elektrostatyczna pułapka na fusy od kawy (courtesy prof. V. Tomin), na prawo - meksykański bączek na płytkim talerzu i trzy kubki do obserwacji wymuszonego chłodzenia gorącej wody. W tle - plakaty tak z najnowszymi jak z historycznymi artykułami naukowymi, kluczowymi dla danego tematu. Koncepcja GK, opowiada KW, pomagają studentka, Uniwersytet Gdański, 2003 r.

(zob. internetowe wydanie FwSz pt. „Cztery i pół stany skupienia" https://www.aspress.com.pl/fizyka-stany/).

Zabawa w kolory dopełniające filtrów interferencyjnych wyzwala kolejne pytanie: a w świecie dookoła nas, skąd się biorą kolory? Co to są kolory dopełniające? Co widzą malarze impresjoniści? I tak, zarówno na wystawie w Gdańsku, jak na kolejnym plakacie dydaktycznym powstałym w 2005 roku, ryc. 5b, pokazujemy dopełniające kolory zachodów słońca. W szczególności, niebo nad tą samą zatoką w San Paolo w Brazylii każdego wieczoru jest innego koloru: pomarańczowego i fioletowego, niebieskiego i krwisto-czerwonego itd. Ale i niebo po letniej burzy w Berlinie też jawi się kolorami dopełniającymi. Historia o spektroskopii, czyli widmach, wyzwala zachwyt nad tym, co widzimy codziennie „na własne oczy". Dlatego zarówno w wersji internetowej [6] jak plakatowej [7] dział „Spektroskopia, czyli nauka o duchach" pojawia się zaraz po „A-tomos, czyli o-soba".

Fizyka jako nauka użyteczna

Ostatnim – po historii odkrycia, jego aktualności, interaktywnej wizualizacji – elementem narracji o fizyce współczesnej musi być pokazanie jej przydatności, czyli zastosowań.

Wilhelm Röntgen opublikował swoje odkrycie w Boże Narodzenie 1895 roku, po pięciu tygodniach spędzonych w laboratorium. W pierwszych dniach stycznia 1896 roku wiadomość o promieniach X pojawiła się na łamach gazet w Wiedniu, Londynie, Nowym Jorku. Już w lutym przeprowadzono, w USA, pierwszą operację złamanej nogi korzystając z nowego odkrycia. A Maria Curie-Skłodowska otrzymała Legię Honorową nie za nagrodę Nobla, ale za ochotniczą służbę na froncie w czasie I wojny światowej: ambulanse rentgenowskie przez nią zorganizowane uratowały dziesiątki, jeśli nie setki tysięcy żołnierzy. Dziś kamery rentgenowskie prześwietlają nie tylko walizki na lotniskach, ale całe wagony towarowe na przejściach granicznych.

Ale najważniejszym argumentem na rzecz przydatności fizyki współczesnej są zastosowania interdyscyplinarne. Jednym z najczęściej pokazywanych obrazków naukowych, obok atomu z orbitującymi elektronami (zazwyczaj trzema ma kolistych orbitach, o horror! – żaden atom nie ma trzech orbitali *s*), jest podwójna, poskręcana drabinka DNA. I ta drabinka, i struktura molekularna korona-wirusa to zastosowanie promieni X (o korona-wirusie, fizyce i statystyce też poczytasz na naszych stronach internetowych).

Internetowe zwierciadło

Jak widać z podanych tu opisów, wystawie nadaliśmy celowo wysoki, naukowy poziom: nawet dla „zawodowego" fizyka dobór tematów, przedstawione eksponaty, artykuły naukowe są za trudne do asymilacji w ciągu kilkunastu minut zwiedzania. Niezbędne było więc natychmiastowe przeniesienie wystawy do świata internetowego. Odnośnik do „Fizyki współczesnej" umieściliśmy na głównej stronie http://dydaktyka.fizyka.umk.pl

Czytelnik, w okienku „Fizyka współczesna" znajdzie trzy edycje tej tematyki: internetowe zwierciadło wystawy z Gdańska z 2003 roku, w którym poszczególne „działy" fizyki, jak fizyka cząstek elementarnych, fizyka jądrowa,

fizyka półprzewodników pojawiają się na tłach o różnych kolorach, ryc. 7. Tytuły tych działów nie s/ą podręcznikowe. Ba! skupiamy się na historycznych etapach, jak „odkrycie" elektronu w 1897 roku przez J. J. Thompsona (a w zasadzie pomiar ładunku i masy *e*/*m*), promieniowanie Röntgena, pomiary widma atomowego wodoru – od wzoru Balmera po elektrodynamikę kwantową. Tytuły są nieco żartobliwe, jak całość wystawy: „Niewidzialny Bursztyn", „Zagadkowe promienie", „Never-ending story". Te hasła to, zgodnie z naszą koncepcją dydaktyki hyper-konstruktywistycznej – pale wbite w dno jeziora, na których konstruujemy gmach wiedzy ucznia/ studenta/ czytelnika internetowego.

Większość tekstów to „fraszki" tak aby gości internetowych nie zmęczyć narracją. Teksty serio są napisane inną czcionką, aby je łatwo zidentyfikować. Nasza dydaktyka pozostaje jak zawsze – interdyscyplinarna. I tak, pisząc o liczbie Avogadra, wiadomości serio – że w Niemczech jest to liczba Loschmidta, przeplatamy z literackim żartem, z „Pana Tadeusza"

Jak zmierzyć 6,022045(31) x 10^{23} ? Ile to będzie? Bilion bilionów czy miliard miliardów milionów? Pierwsze numeryczne określenie liczby Avogadro znajdujemy u Mickiewicza w Księdze VII: „do milijonów krocset kroci tysięcy fur beczek furgonów (diabłów!!!)", ale było ono wysoce nieprecyzyjne!

Sam Avogadro, prawnik z wykształcenia, „rzucił" hipotezę stałej ilości atomów w molu jako hipotezę, nie podając, jak ją zmierzyć. Dlatego w literaturze niemieckiej używa się określenia „liczba Loschmidta", który podał pierwszą receptę (z lepkości cieczy).

Inne sposoby: obok...

Pisząc o liczeniu (i wizualizacji) atomów mamy na myśli mikroskop sił atomowych (AFM), którego najważniejszym elementem jest bardzo cienka, kończąca się pojedynczymi atomami, igła wolframowa. Igła ta jest prowadzona nad powierzchnią kryształu, tak aby „widzieć" pojedyncze atomy fot. 8a. Ale żart jest obrazowy. „Jak policzyć atomy? Za pomocą palca. Ale trzeba mieć odpowiednio mały palec." Żart jest jednocześnie dydaktyczny: ilustrujący, że fizyk mierzy przyrodę niejako „w ciemno".

Scenariusz zabawy, fot. 8a, jest prosty: zawiązujemy wybranemu „badaczowi" oczy, po czym pozwalamy mu wodzić palcem po powierzchni „pagórkowatej" gąbki, używanej do pakowania delikatnych instrumentów. Badacz nie od razu potrafi zrozumieć, co mierzy. Podobnie nie-bezpośredni jest obraz z AFM, widmo optyczne odległej gwiazdy, tory cząstek po zderzeniu w wielkim akceleratorze. Innymi słowy: fizyka to odkrywanie z zawiązanymi oczyma. Nie tylko nauczyciele, ale i naukowcy mają z tym kłopoty: potrzebna jest spora doza wyobraźni. I dlatego, nasze kwarki, protony i neutrony to nie kolorowe punkciki, ale zabawne pieski z własną fizjonomią, ryc. 8b.

Od wystawy do projektu EU

Wystawa w 2003 roku pokazywała okładki „Nature", profesjonalną rurę lasera gazowego i okulary słoneczne jako model zwierciadła selektywnego. Była niemałym zaskoczeniem, nawet dla studentów i asystentów Akademii Pomorskiej w Słupsku, którzy oprowadzali gości, fot. 6. Pokazaliśmy również przykłady nowoczesnych, zaawansowanych zestawów do laboratoriów studenckich, jak na przykład szklany torus Pasco pozwalający zobrazować

Ryc. 7. Wersja internetowa [6] wystawy o fizyce współczesnej pozwala na wzajemne zazębienie różnych elementów – niektóre proste i zabawne, inne serio, jak w szkolnych podręcznikach. Różne tła odpowiadają różnym tematom, ale nie są to p/odręcznikowe działy fizyki, ale raczej wciągające czytelnika mini-opowiastki, jak w „Baśniach 1001 nocy".

Ryc. 8. (a) Zabawa dydaktyczna w mikroskop sił atomowych. Student będzie prowadził palec nad pagórkowatą gąbką, symulującą powierzchnię kryształu. Studentka pomaga badaczowi w pozycjonowaniu sondy (czyli jego palca) nad badanym kryształem (gąbka, ukryta pod lewą ręką autora). Kurs podyplomowy dla nauczycieli, Uniwersytet w Udine, 2006. Na wklejce powierzchnia kryształu krzemu obserwowana za pomocą mikroskopu sił atomowych (AFM): doskonałe kryształy układają się w formie sześciokątów. W kilku miejscach brakuje atomów – są to tzw. wakanse. Źródło: Omikron. (b) Fizyka współczesna w wydaniu dla szkoły podstawowej: kwarki w postaci zabawnych piesków (autor rysunku TW), proton i neutron w postaci ciężkich, żelaznych sześcianów (na stole, pod plakatem). XI 2011, Dzierzgowo, woj. mazowieckie, współpraca mgr Irena Wierzejska.

zakrzywianie się trajektorii elektronów w polu magnetycznym czy elektrostatyczna pułapka (na fusy do kawy). Pomysł został podchwycony w kilku ośrodkach uniwersyteckich, które zmodernizowały swoje laboratoria dydaktyczne fizyki współczesnej.

Wystawa, jej kopia internatowa, a w konsekwencji również projekt UE (2005 r.) noszą tytuł „Na ścieżkach fizyki współczesnej". Skąd taki tytuł? Otóż fizyka współczesna nie jest nauką zamkniętą, ale w ciągłym rozwoju – w kroczeniu po ścieżkach. I to właśnie z tego względu nie jest ona podzielona na tradycyjne sektory fizyki: atomową, jądrową, cząstek elementarnych: te wszystkie działy wzajemnie się zazębiają, a wystawa ma na calu pokazanie szczególnych, interesujących i możliwie interdyscyplinarnych tematów.

Zasoby dydaktyczne pt. „Physics is Fun", w tym plakaty pokazane na ryc. 2 i pięciojęzyczna wersja „Fizyki zabawek" to druga grupa na wspomnianej (?q=node/182) stronie internetowej fizyki współczesnej. Ale ta tematyka przyniosła jeszcze inne formy, np. kurs podyplomowy dla nauczycieli na Uniwersytecie w Udine, wykłady interaktywne dla szkół i wykład ogólno-uniwersytecki na UMK. Szczegółowe opisy doświadczeń pokazowych, do przeprowadzenia w klasie (lub zamówienia w Toruniu) zawiera podstrona [8] (współpraca mgr K. Służewski).

Książki, jak wierzchołki archipelagów

Jerome Bruner, twórca dydaktyki kognitywistycznej, tak zaczyna „Acts of meaning": „Książki są jak wierzchołki gór archipelagów rozciągających się w oceanach". Są one podsumowaniem różnych działań, rozmaitych myśli, alternatywnych przedstawień. Podobnie z naszą wizją dydaktyki fizyki współczesnej. W trakcie którejś z minionych (tej z 2009 roku) reform fizyka współczesna (grawitacja, atomowa i jądrowa) została przeniesiona z programu gimnazjum do pierwszej klasy szkoły ponad-gimnazjalnej. Pomysł Ministerstwa był oczywiście niewypałem, ale zachęcił nas (w 2011 r.) do napisania książki o fizyce współczesnej na poziomie prawie licealnym. Została ona ostatnio (2020) wydana przez Wydawnictwo Naukowe UMK [9], ale bezpłatny preprint można pobrać ze stron Katedry Dydaktyki Fizyki [10]. W ramach kolejnego projektu EU powstała książka „Dydaktyka fizyki współczesnej" (tę przesyłamy bezpłatnie, na zamówienie) [11].

Fizyka jest nauką humanistyczną, bo nadal fizykami są ludzie, a nie roboty. Co prawda wiele danych meteorologicznych zbieranych przez automatyczne boje rozsiane po Pacyfiku nosi etykietę „These data have never been seen by humans", ale wystawy interaktywne tworzą konkretne osoby. Dwa zdjęcia zamykają naszą retrospekcję „Ścieżek fizyki współczesnej".

Grzegorz Karwasz,
Katedra Dydaktyki Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Tomasz Wróblewski
Instytut Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Pomorski w Słupsku

LITERATURA

[1] G. Karwasz, *Fizyka i zabawki – obrazki z wystawy*, Postępy Fizyki 51 (2000), Zeszyt Dodatkowy, str. 97.
[2] G. Karwasz, J. Kruk, *Idee i realizacje dydaktyki interaktywnej – wystawy, muzea i centra nauki*, Wydawnictwo Naukowe UMK, 2012, ISBN 978-83-231-2957-8.
[3] A. Okoniewska (Kamińska), G. Karwasz, *Wystawa „Ogniwo Volty"*, PAP Słupsk, 2001. http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/zrodla/ogniwa.html
[4] http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/mleczna_rewolucja.html
[5] http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/short/optyka/piramida.html
[6] http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/index-pl.html
[7] http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/html/posters.html
[8] http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Pokazy_2012/
[9] G. Karwasz, *Toruński po-ręczniki do fizyki. IV Fizyka współczesna i astrofizyka*, Wyd. Nauk. UMK, Toruń, 2020.
[10] http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/264
[11] G. Karwasz, A. Karbowski, K. Fedus, *Dydaktyka fizyki współczesnej*, materiały KDF UMK, 2021.