

Edukacja jądrowa w szkole – problemy uczniów i nauczycieli z perspektywy Działu Edukacji i Szkoleń Narodowego Centrum Badań Jądrowych

LUDWIK DOBRZYŃSKI, MARTYNA GĄSOWSKA, MAREK KIREJCZYK*,
EWA DROSTE, ARTUR SKWAREK

Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Otwock-Świerk, Polska

Opracowanie koncentruje się na zagadnieniach związanych z nauczaniem w szkołach podstaw fizyki jądrowej. Przedstawione sugestie wynikają z ponad dwudziestoletnich obserwacji uczniów i nauczycieli odwiedzających Narodowe Centrum Badań Jądrowych w Świerku. Uwidoczniły one konieczność prowadzenia tej edukacji w sposób szczególnie zaangażowany i w różnych kontekstach. Wymaga to nie tylko pokonania licznych trudności organizacyjnych, ale również holistycznego spojrzenia na nauczanie tego działu nauki.

SŁOWA KLUCZOWE: edukacja, fizyka jądrowa, holistyczne nauczanie.

Wstęp

Skuteczne nauczanie w zakresie fizyki jądrowej jest istotne z wielu względów, przy czym nie najważniejszymi są jej zastosowania. Fizyka jądrowa jest nauką ważną dla zrozumienia znacznie większego zakresu fizyki jako dziedziny, w ramach której tworzy się modele działania Wszechświata. Odkrycie promieniowania jonizującego i promieniotwórczości spowodowało wielką rewolucję w opisie świata, ponieważ wyjaśnienie zaobserwowanych zjawisk wymagało nowego spojrzenia na strukturę materii. Fizyką jądrową (w odróżnieniu od fizyki klasycznej) rządzą procesy niedeterministyczne. Zrozumienie tego przyniosło jakościową zmianę w postrzeganiu otaczającej rzeczywistości i doprowadziło do powstania nowych dziedzin nauki, przede wszystkim mechaniki kwantowej.

Istnieją też względy praktyczne: z promieniowaniem jonizującym i fizyką jądrową mamy do czynienia na co dzień, m.in. w związku z ich zastosowaniem w przemyśle, medycynie, rolnictwie, nauce czy energetyce.

W polskich warunkach geograficznych, geologicznych i klimatycznych energetyka jądrowa jest obecnie jedyną wdrożoną na dużą skalę technologią, która może na setki tysięcy lat

*E-mail: marek.kirejczyk@ncbj.gov.pl

ORCID: 0000-0002-9328-9119

zapewnić energię elektryczną w sposób zarówno efektywny i przewidywalny, jak również niskoemisyjny i opłacalny. Niestety, mimo swych licznych zalet energetyka jądrowa wciąż wzbudza wiele kontrowersji przez zakodowany w społeczeństwach irracjonalny strach przed promieniowaniem jonizującym. Jak konstatuje Wade Allison:

Nasza dominacja nad światem zależała od wiedzy, pewności siebie i współpracy grupowej na zasadzie otwartości i wzajemnego zaufania. Niestety, w wypadku technologii jądrowej te powiązania zostały zerwane i potrzebna jest masowa zmiana kulturalna, żeby je odzyskać. Ta zmiana, silnie zależna od działań edukacyjnych, a więc zapelnienia młodych umysłów wiedzą, jest niezbędna, jeśli społeczeństwo ma działać w rozumny sposób, gdy wydarzają się katastrofy (Allison, 2015, s. 2 – tłum. własne).

Powyższy cel można osiągnąć ucząc skutecznie fizyki jądrowej na poziomie edukacji szkolnej, ponieważ wiedza zdobyta przez uczniów będzie, *nomen omen*, promieniowała na resztę społeczeństwa i przyniesie skutek w postaci zmniejszenia niepokoju związanego z wykorzystaniem technologii jądrowych. Mając na uwadze powyższe dążenie, należy głęboko przemyśleć, w jaki sposób prowadzić edukację jądrową, aby pokazać piękno i znaczenie tego działu fizyki.

W opracowaniu opiszemy problemy, z którymi wiąże się nauczanie fizyki jądrowej w szkołach, a także przedstawimy działania, które mogą przyczynić się do podniesienia poziomu edukacji w tym zakresie. Szczególną uwagę poświęcimy wnioskowi wynikającemu z ponad 20-letniego doświadczenia zebranego przez pracowników Działu Edukacji i Szkoleń NCBJ, jak również działaniom podjętym przez tę jednostkę. Dział powstał w 1997 r. w ówczesnym Instytucie Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana (obecnie Narodowe Centrum Badań Jądrowych) w celu wypełnienia luki w skutecznym nauczaniu fizyki jądrowej. Przez ponad 20 lat działalności stykaliśmy się z osobami z różnych grup wiekowych (z przewagą uczniów szkół średnich) – zarówno jako gospodarze w czasie odwiedzin w NCBJ (co na ogół połączone było z wizytą w reaktorze jądrowym MARIA), jak i w czasie prowadzonych przez nas szkoleń zawodowych. Sumując: przez lata działalności odwiedziło nas znacznie ponad 100 tysięcy osób. Nasze doświadczenie wspomagały też kontakty z dorosłymi, młodzieżą i dziećmi podczas corocznych Pikników Naukowych i kolejnych edycji Festiwalu Nauki w Warszawie.

Na podstawie obserwacji i interakcji byliśmy w stanie rozpoznać niektóre problemy związane z nauczaniem fizyki jądrowej i wypracować pewne ich rozwiązania. Ponieważ edukacja jest działaniem wielopłaszczyznowym i trudnym, w artykule nie próbujemy kreślić programu zmiany polskiej edukacji, a jedynie przedstawić nasze wyobrażenie nauczania spójnego obrazu Wszechświata. W większej części przede wszystkim proponujemy cząstkowe rozwiązania niektórych problemów, z jakimi wiąże się próba interesującego opowiedzenia o zagadnieniach fizyki jądrowej.

Fizyka jest zarówno nauką teoretyczną, jak i eksperymentalną

Fizyka jest nauką wyrastającą z obserwacji, które na dalszym etapie interpretujemy. Interpretacja teoretyczna pozwala na tworzenie modelu, który przewiduje inne zachowania czy zjawiska. Te przewidywania wymagają weryfikacji, a więc kolejnych obserwacji. Interpretacja zjawiska i przygotowanie przewidywań modelu na ogół wymaga użycia aparatu matematycznego, który jest narzędziem fizyki poznawanym dzięki rozwiązywaniu zadań. Weryfikacja modelu wiąże się z przeprowadzaniem eksperymentów i porównywaniem uzyskanych wyników z przewidywaniami. Krótko mówiąc: w fizyce ważne są zarówno teorie, jak i doświadczenia. Tymczasem w szkolnictwie zakres materiału, sposoby sprawdzania przyswojonej

wiedzy (testy), jak również znane problemy lokalowo-finansowe szkół wywierają silną presję na nauczycieli, by naukę fizyki ograniczyć do prezentacji typu encyklopedycznego i zadań rachunkowych. Taki charakter nauczania przedmiotów przyrodniczych i ścisłych został w artykule Piotrowskiego i Jakubowskiego (2019) nazwany *educational window dressing*, czyli edukacyjnym mydleniem oczu.

Niedawna zmiana systemu edukacji w Polsce była okazją do modyfikacji podstawy programowej w szkołach podstawowych i ponadpodstawowych. Reforma programowa była poprzedzona dyskusjami, jednak wypracowane podczas nich wnioski nie zawsze znalazły odzwierciedlenie w nowej podstawie.

Jednym z postulatów, który pojawił się przy dyskusjach o nowej podstawie programowej na obu etapach edukacji, było podkreślenie eksperymentalnego charakteru w praktycznym nauczaniu fizyki. Wśród celów kształcenia występuje zatem zapis o „planowaniu i przeprowadzaniu obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowaniu na podstawie ich wyników” (Ministerstwo Edukacji Narodowej, 2017, s. 153; 2018, s. 266). Niestety, w nowej podstawie programowej temu zapisowi nie towarzyszyło przygotowanie warunków do jego wypełnienia – ani nie zmniejszono liczby tematów encyklopedycznych, ani nie zwiększono czasu przeznaczanego na realizację programu.

Wprowadzanie w życie Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (Ministerstwo Energii, 2018) było innym czynnikiem wpływającym na modyfikację podstawy programowej w szkołach ponadpodstawowych. W nowej podstawie rozszerzono treści związane z fizyką jądrową omawiane w zakresie podstawowym (Ministerstwo Edukacji Narodowej, 2018). Jednak i w tym miejscu można powtórzyć *verbatim* ostatnie zdanie z poprzedniego akapitu.

Zwiększenie encyklopedycznego zakresu zagadnień z fizyki jądrowej przy niewielkiej liczbie godzin lekcyjnych przeznaczonych na lekcje fizyki poskutkowało tym, że uczniowie w większości są jedynie uczeni teoretycznych narzędzi fizyki. A taka edukacja nie oddaje piękna nauki wyrastającej z obserwacji i wyobraźni. Podstawowym postulatem nauczania fizyki powinno być przeprowadzanie pokazów zjawisk fizycznych czy doświadczeń. Na przeszkodzie stoją jednak dwa istotne problemy.

Pierwszym jest brak dobrze wyposażonych pracowni fizycznych spowodowany występującymi na ogół jednocześnie czynnikami: niedostatkami środków na zakup drogich zestawów laboratoryjnych oraz brakiem miejsca w budynkach szkół na zorganizowanie pracowni z zapleciami. Drugi to zbyt mała liczba godzin lekcyjnych z fizyki w stosunku do obszernego materiału zawartego w podstawie programowej. W takiej sytuacji nauczyciele są w stanie prowadzić pomiary bądź pokazy tylko podczas nadobowiązkowych zajęć pozalekcyjnych, trafiając tym samym tylko do pasjonatów przedmiotu.

Częściowym rozwiązaniem wspomnianych problemów jest wykorzystanie dostępnych w Internecie filmów przedstawiających pewne doświadczenia czy pokazy. Jednak w naszym przekonaniu obraz na monitorze nie jest w stanie zastąpić własnego uczestnictwa w pokazie, a tym bardziej samodzielnego wykonania pomiarów.

Innym rozwiązaniem jest zaangażowanie klasy lub zainteresowanych uczniów w projekt naukowy. Uczestnictwo w takich projektach oswaja z zagadnieniami fizyki jądrowej, a także zapoznaje z metodologią prowadzenia badań naukowych i procesu wnioskowania w naukach ścisłych. Chcielibyśmy przytoczyć w tym miejscu przykłady działań realizowanych metodą projektu o tematyce związanej z fizyką jądrową. Pierwszy z nich to projekt „D-shuttle” (Adachi i in., 2016), który został zrealizowany w 2014 r. wspólnie przez 216 uczniów i nauczycieli z 26 szkół z Japonii, Francji, Polski i Białorusi. Uczestnictwo polegało na noszeniu przez

uczniów w określonym czasie elektronicznego dozymetru D-shuttle (stąd nazwa projektu) w celu porównania dawek promieniowania jonizującego otrzymywanych przez mieszkańców prefektury Fukushima w Japonii do dawek na innych terenach. Drugi projekt był realizowany w Szwecji (Andersson-Sunden, Gustavsson, Hjalmarsson, Jacewicz, Lantz, Marciniewski, Ziemann, Barker i Lundén, 2019) pod kierunkiem fizyków z uniwersytetu w Uppsali. Uczniowie zostali poproszeni o pobranie i dostarczenie próbek suszonych grzybów (ze wskazaniem preferowanych gatunków wybranych na podstawie ich popularności, jadalności oraz łatwości identyfikacji), gleby oraz odchodów zwierzęcych. Zainteresowani (z ponad 200 szkół) otrzymali również zestawy badacza składające się z narzędzi, pojemników na próbki, protokołów pobierania próbek, instrukcji postępowania, a także prostego licznika promieniowania. Przygotowano również instrukcję dla nauczycieli opisującą dokładnie sposób przygotowania próbek oraz zapewniono miejsca, gdzie można uzyskać pomoc. W sumie uczniowie ze 135 klas dostarczyli prowadzącym projekt naukowcom ponad 300 próbek. Następnie, przy użyciu profesjonalnych detektorów półprzewodnikowych HPGe, badano w próbkach zawartość m.in. cezu-137 (w przeważającej części pochodzącego z opadu poczynobylskiego).

Trzeba jednak przyznać, że choć projekty naukowe są rozwiązaniem bardzo ciekawym, niezwykle skutecznym, satysfakcjonującym i rozbudzającym pasję do nauki, to z reguły bywają mało dostępne i są adresowane głównie do uczniów wcześniej zainteresowanych tematem.

Problem braku dobrze wyposażonych pracowni fizycznych był znany już w momencie tworzenia Działu Edukacji i Szkoleń NCBJ. W celu umożliwienia uczniom wykonywania eksperymentów z naszej gałęzi fizyki utworzono Laboratorium Fizyki Atomowej i Jądrowej dla szkół. W laboratorium tym uczniowie mają stworzone warunki do pracy z dość zaawansowaną aparaturą, jak również z zamkniętymi źródłami promieniowania (oczywiście pod opieką pracowników działu – jeden pracownik nadzoruje wykonywanie od 2 do 3 ćwiczeń). Laboratorium daje możliwość poznania prawidłowości funkcjonujących w fizyce jądrowej, a nawet postawienia się w roli pierwszych odkrywców pewnych zjawisk fizycznych – niektóre z eksperymentów są powtórzeniem eksperymentów noblowskich. Uczniowie poznają tutaj metodologię wykonywania badań naukowych i charakterystyczny dla nauki sposób rozumowania i wnioskowania.

Zajęcia w laboratorium są przyjmowane w większości z entuzjazmem mimo tego, że poważnie wiążą się z pewnymi trudnościami. Niektóre z nich wynikają z krótkiego czasu, w którym należy opanować specyficzną aparaturę i zrozumieć badane zjawiska fizyczne. Inne z konieczności wykorzystania dość skomplikowanego aparatu matematycznego w celu przeanalizowania wyników i wyznaczenia niepewności pomiarowych. Samo pojęcie niepewności pomiarowej często okazuje się mało znane i konieczność jej oszacowania niejednokrotnie uczniów zaskakuje.

Korzyści z samodzielnego przeprowadzenia doświadczeń są jednak nie do przecenienia. Aby zwiększyć powszechność eksperymentowania i rozpowszechnić wiedzę o wszechobecności promieniowania jonizującego, powołaliśmy program „Detektory dla szkół” (Narodowe Centrum Badań Jądrowych, 2019). W ramach tego programu zachęcamy nauczycieli i uczniów szkół ponadpodstawowych do tworzenia własnych projektów naukowych związanych z tematyką fizyki jądrowej i oferujemy nieodpłatne wypożyczenie detektorów promieniowania jonizującego (detektorów Geigera-Müllera oraz promieniowania kosmicznego), za pomocą których można wykonać eksperyment. Wymogiem jest przeprowadzenie badań od początku do końca według reguł rządzących pracą naukową i zakończenie ich sprawozdaniem. W trakcie realizacji projekt jest wspierany merytorycznie przez fizyków pracujących w Dziale Edukacji i Szkoleń NCBJ.

Opis rzeczywistości musi być interdyscyplinarny

Przedstawione metody nauczania mogą nie tylko pomóc uczniom w opanowaniu treści programowych, ale też w stworzeniu spójnej wizji świata. Niestety, problemem polskiego szkolnictwa w nieco szerszym ujęciu jest spoglądanie na wiedzę poprzez pryzmat oddzielnych przedmiotów i tematów, których wzajemne powiązania nie są wyraźnie podkreślone. Przy tak skonstruowanym systemie nauczania trudno uczniom zrozumieć związki pomiędzy zagadnieniami omawianymi na różnych lekcjach. Kwestia braku korelacji pomiędzy przedmiotami podnoszona jest zarówno przez nauczycieli przedmiotów humanistycznych (np. języka polskiego i historii), jak i ścisłych (matematyka, fizyka, chemia, biologia).

Aby zbudować u uczniów całościowy i interdyscyplinarny obraz Wszechświata oraz występujących w nim oddziaływań, potrzebne jest przeorganizowanie treści nauczania. Opis świata warto zacząć od modelu budowy atomu, jego własności i tego, jak te własności dają podstawy do zbudowania nauki, którą nazywamy chemią oraz nauki, która bada najbardziej fundamentalne zależności rządzące Wszechświatem – fizyki. Dalsze rozważania modelu atomu prowadzą do opisu jądra atomowego i jego własności. Oba tematy nierozzerwalnie wiążą się z zagadnieniem promieniowania. Takie wprowadzenie daje nam fundament do nauczania wielu bardziej szczegółowych kwestii: oddziaływania promieniowania z materią, procesów rozszczepienia i syntezy jądrowej czy zwrócenia uwagi na bilans energetyczny omawianych zjawisk. Pytania o funkcjonowanie mikro- i makroświata nieuchronnie kierują do sięgnięcia do podstaw fizyki: mechaniki, dynamiki itp. Nasza propozycja nie zaniedbuje więc bardziej klasycznego podejścia do nauczania fizyki. Ponadto, mówiąc o fizyce jądrowej nie sposób nie wspomnieć o jej licznych zastosowaniach w przemyśle, medycynie, rolnictwie, nauce i energetyce.

Zajmując się zastosowaniami fizyki jądrowej musimy poświęcić kilka słów wspomnianej już energetyce jądrowej. Kompleksowa wiedza o tym rodzaju energetyki – o jej korzyściach i potencjalnych zagrożeniach – jest pożyteczna dla obywateli kraju, w którym jest rozwijana. Skuteczne nauczanie wymaga tu całościowego spojrzenia na sprawę, ponieważ wiąże się z mówieniem m.in. o zagadnieniach ekologicznych, ekonomicznych czy związanych z bezpieczeństwem. Wszystkie te tematy należy omawiać w szerszej perspektywie, która obejmuje konwencjonalne i odnawialne źródła energii. Przykładem może być tutaj temat odpadów: prezentując zagadnienia związane z odpadami promieniotwórczymi należy zestawiać ich ilość z wielkością odpadów pochodzących z innych rodzajów energetyki. Podobnie o zagrożeniach wynikających z działania promieniowania jonizującego należy mówić w kontekście najróżniejszych innych zagrożeń cywilizacyjnych, gdyż takie spojrzenie pozwala dojrzeć jego skalę. Publikacja Nuclear Energy Agency (2002) analizuje problem komunikacji społecznej na temat ryzyka, jego percepcji społecznej, jego akceptowalności i wreszcie udziału społeczeństwa w procesach decyzyjnych. Tezy tej pracy mogą mieć istotne znaczenie dla kształtowania informacji przekazywanych uczniom. W tym kontekście ciekawym pomysłem jest koncepcja nauczania o energetyce jądrowej zaproponowana przez Andrzeja Wójcika (Wójcik, Hamza, Lundegård, Enghag, Haglund, Arvanitis i Schenk, 2019). W artykule opisana jest metoda nauczania polegająca na postawieniu ucznia w roli decydenta w sytuacji, w której każda decyzja związana jest z podjęciem określonego ryzyka. Rolą ucznia jest interdyscyplinarne rozważenie problemu pod względem merytorycznym, a następnie, mając na uwadze względy środowiskowe, społeczne i etyczne, podjęcie decyzji oraz uzasadnienie wyboru. Takie nauczanie nie tylko wymaga zapoznania się z encyklopedycznymi faktami dotyczącymi danego

zagadnienia, ale także pozwala zbudować całościowy obraz sytuacji i daje podstawy do podejmowania decyzji opartych na rzetelnych danych i analizie ryzyka. Nauczanie o energetyce jądrowej powinno być jedynie elementem edukacji jądrowej, a nie jej celem. Kształcenie kadr dla energetyki jądrowej powinno być realizowane dopiero na ostatnim etapie edukacji rozumianym nie tylko jako studia magisterskie i doktoranckie, ale także jako szkoły techniczne i zawodowe, bowiem w przemyśle nuklearnym jest zapotrzebowanie również na tego typu specjalistów (International Atomic Energy Agency, 2011; Nuclear Energy Agency Organisation For Economic Co-operation Development, 2002; Sustainable Nuclear Energy Technology Platform, 2010). Zainteresowanie fizyką jądrową potencjalnych pracowników sektora jądrowego powinno zostać ukształtowane na etapie szkolnym, najlepiej poprzez wdrożenie uczniów w metody doświadczalne (Sedin, 1995; Strugała, 1995; Toth, 1995).

Doświadczenia węgierskie

Dużym doświadczeniem w edukacji jądrowej mogą pochwalić się Węgrzy (Ujvari, 2005), którzy od wielu lat podkreślają znaczenie tego rodzaju edukacji w szkołach ponadpodstawowych (Csaba, b.d.w.). Pionierem tych działań był znakomity węgierski nauczyciel i popularyzator György Marx, a o jego umiejętnościach łączenia zagadnień naukowych z dydaktycznymi można przeczytać w książce *Atoms in Our Hands* (Marx, 1995). Wartym przytoczenia pomysłem węgierskich edukatorów mającym poprawić jakość kształcenia była organizacja konkursów związanych z tematyką fizyki jądrowej (konkurs im. Leo Szilarda). Konkursy cieszyły się dużym zainteresowaniem i przyniosły bardzo satysfakcjonujące rezultaty.

Jednak nawet najbardziej wyrafinowane metody edukacyjne zostaną bezowocne, jeżeli nie będą miały podstawy w dogłębnej znajomości tematu przez osoby je wdrażające. Z tego powodu na Węgrzech skuteczne kształcenie w zakresie fizyki jądrowej wynika przede wszystkim z dobrego przygotowania merytorycznego nauczycieli. Już od 1972 r. z inicjatywy wspomnianego wyżej György'ego Marxa zaczęto organizować tzw. uniwersytety jesienne, poświęcone problemom energetyki, środowiska i biofizyki. W każdej edycji uczestniczyło około 100 nauczycieli fizyki, biologii i chemii, którzy mieli okazję wysłuchać wykładów światowej klasy specjalistów i spędzić czas na rozmowach z uczonymi.

Jednak w kształceniu zawodowym nauczycieli na Węgrzech nie ograniczono się jedynie do uniwersytetów jesiennych. Od 1985 r. wszystkich nauczycieli objęto obowiązkiem odbycia specjalistycznych intensywnych kursów. W przypadku nauczycieli fizyki jedną z możliwości był kurs fizyki jądrowej. Podczas obejmującego 100 godzin dydaktycznych kursu nauczyciele nie tylko wysłuchiwali wykładów, ale także wykonywali wiele praktycznych doświadczeń – uczyli się np. obsługiwać reaktor jądrowy (ćwiczenia wykonywane były na reaktorze szkoleniowym Politechniki Budapeszteńskiej). Odbywali również wycieczki edukacyjne do laboratoriów, elektrowni jądrowych, kopalni uranu czy składowiska odpadów promieniotwórczych. Niektórzy z nich mogli także zdobyć roczne stypendium naukowe i zostać zaangażowani w pracę naukową. Ukończenie kursu wiązało się z napisaniem pracy dyplomowej i zdaniem egzaminu.

Przy takich możliwościach rozwoju i pogłębienia wiedzy nauczyciele mogą z pasją i kompetencją dzielić się wiedzą z uczniami. Wzorem Węgrów, także w Polsce należy stwarzać nauczycielom możliwości pogłębienia wiedzy i rozwoju. Jednym ze szkoleń, w których nauczyciele mogli wziąć udział w naszym kraju było organizowane z inicjatywy ówczesnego Ministerstwa Energii szkolenie w latach 2017, 2018 i 2019 pt. „Jak uczyć o energii jądrowej” (Uniwersytet

Warszawski, 2019). W ramach warsztatów nauczyciele otrzymali dawkę aktualnej wiedzy o energetyce jądrowej oraz narzędzia w postaci scenariuszy lekcji.

Jako źródło wiedzy i punkt wyjścia do przeprowadzania lekcji z fizyki jądrowej można nauczycielom polecić monografię pt. *Zarys nukleoniki* napisaną przez pracowników Działu Edukacji i Szkoleń NCBJ (Dobrzyński, 2017). Monografia ta w przystępny sposób opisuje zagadnienia związane z tą dziedziną wiedzy. Bardzo dobry materiał dydaktyczny powstał też w ramach międzynarodowego projektu NUPEX (od *NUclear Physics EXperience*) (NUPEX, 2019). Celem projektu było przekazanie szerokiemu społeczeństwu, czym jest promieniowanie jonizujące, skąd pochodzi, jakie ma własności i jak liczne są jego zastosowania.

Wnioski

Edukacja w zakresie fizyki jądrowej może przynieść wiele pozytywnych skutków, poczynając od oczywistych zalet zdobycia wiedzy na dany temat. Rozpoczęcie szkolnej opowieści o fizyce atomu i jądra atomowego, a następnie kierowanie się ku coraz większym obiektom pozwala na zbudowanie u uczniów spójnego obrazu Wszechświata. Świadomość niezwyklego (z punktu widzenia ludzkiej skali wielkości i czasu) zachowania się obiektów mikroskopowych może prowadzić do interesujących konsekwencji filozoficznych (dyskusja na temat filozoficznych konsekwencji deterministycznego oraz probabilistycznego obrazu fizyki stanowczo wykracza poza ramy niniejszego artykułu). Promieniowanie jonizujące (w tym pochodzenia jądrowego) ma szerokie zastosowanie w medycynie, ale także w przemyśle i wielu działach nauki i gospodarki. Izotopy promieniotwórcze, przede wszystkim naturalnego pochodzenia, od zawsze są obecne w środowisku człowieka. Według naszej wiedzy energetyka jądrowa w chwili obecnej jest jedynym stabilnym i pewnym źródłem energii elektrycznej (a w przyszłości być może także i ciepła procesowego dla przemysłu ciężkiego i chemicznego), który w samym procesie wytwarzania energii nie emituje gazów cieplarnianych.

Aby jednak móc korzystać ze wspomnianych pozytywnych skutków, konieczna jest zmiana sposobu nauczania o fizyce jądrowej. Większy nacisk należy położyć na doświadczalny charakter tej dziedziny wiedzy oraz na jej związek z innymi naukami, takimi jak chemia, biologia czy nawet geografia.

W miarę swoich możliwości Dział Edukacji i Szkoleń NCBJ wspiera nauczycieli fizyki w misji propagowania edukacji jądrowej. Prowadzimy wykłady ilustrowane pokazami doświadczeń, oprowadzamy po reaktorze MARIA, oferujemy możliwość przeprowadzenia pomiarów w dydaktycznym Laboratorium Fizyki Atomowej i Jądrowej, a także wypożyczamy detektory promieniowania jonizującego. Działania te mają ułatwić częściowe rozwiązanie niedofinansowania pracowni fizycznych w polskiej edukacji.

Literatura

- Adachi, N. i in. (2016). Measurement and comparison of individual external doses of high-school students living in Japan, France, Poland and Belarus – the ‘D-shuttle’ project. *Journal of Radiological Protection*, 36, 49–66.
- Allison, W. (2015). *Nuclear is for Life. A cultural revolution*. Aylesbury: Wade Allison Publishing.
- Andersson-Sunden, E., Gustavsson, C., Hjalmarsson, A., Jacewicz, M., Lantz, M., Marciniowski, P., Ziemann, V., Barker, A. i Lundén, K. (2019). Citizen Science and Radioactivity. *Nuclear Physics News*, 29, 25–28.
- Csaba, S. (bdw.). *Nuclear Education in Hungary*. Pobrano 23 października 2019 z http://www.enen.eu/data/document/ne_hungary.pdf
- Dobrzyński, L. (red.). (2017). *Zarys Nukleoniki*. Warszawa: PWN.

- International Atomic Energy Agency (2011). *Status and Trends in Nuclear Education*. Nuclear Energy Series No. NG-T-6.1. Wiedeń: IAEA. Pobrano z https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1475_web.pdf
- Marx, G. (red.). (1995). *Atoms in Our Hands*. Budapeszt: Roland Eötvöos Physical Society.
- Ministerstwo Edukacji Narodowej (2017). *Rozporządzenie z dnia 14 lutego 2017 r. w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz podstawy programowej kształcenia ogólnego dla szkoły podstawowej, w tym dla uczniów z niepełnosprawnością intelektualną w stopniu umiarkowanym lub znacznym, kształcenia ogólnego dla branżowej szkoły I stopnia, kształcenia ogólnego dla szkoły specjalnej przysposabiającej do pracy oraz kształcenia ogólnego dla szkoły policealnej*. Pobrano z <https://www.dziennikustaw.gov.pl/DU/2017/356>
- Ministerstwo Edukacji Narodowej (2018). *Rozporządzenie z dnia 30 stycznia 2018 r. w sprawie podstawy programowej kształcenia ogólnego dla liceum ogólnokształcącego, technikum oraz branżowej szkoły II stopnia*. Pobrano z <https://www.dziennikustaw.gov.pl/DU/2018/467>
- Ministerstwo Energii (2018). *Program Polskiej Energetyki Jądrowej*. Pobrano z <https://www.gov.pl/web/klimat/program-polskiej-energetyki-jadrowej>
- Narodowe Centrum Badań Jądrowych (2019). *Detektory dla szkół*. Pobrano z <https://www.ncbj.gov.pl/deis/detektory-dla-szkol>
- Nuclear Energy Agency (2002). *Society and Nuclear Energy: Towards a Better Understanding*. Paryż: AEN/NEA OECD Publications.
- NUPEX (2019). *NUPEX Nuclear Physics Experience*. Pobrano z <http://nupex.eu/index.php>
- Piotrowski, M. i Jakubowski, R. (2019). The new face of science education in Poland. *Edukacja*, 1(148), 40–48.
- Sedin, D. (1995). Measure radioactivity in school! W: G. Marx (red.), *Atoms in Our Hands* (s. 168–171). Budapeszt: Roland Eötvöos Physical Society.
- Strugała, E. (1995). Students attitude to the risk of ionizing radiation. W: G. Marx (red.), *Atoms in Our Hands* (s. 172–173). Budapeszt: Roland Eötvöos Physical Society.
- Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (2010). *Nuclear Education and Training*. Paryż: SNETP Publication.
- Tóth, E. (1995). Nuclear democracy. W: G. Marx (red.), *Atoms in Our Hands* (s. 187–190). Budapeszt: Roland Eötvöos Physical Society.
- Ujvari, S. (2005). *Physics teachers' nuclear in-service training in Hungary*. Referat przedstawiony podczas Japan Atomic Energy Research Institute Conference, 001, 119–126. Pobrano z https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/36/113/36113740.pdf?r=1&r=1
- Uniwersytet Warszawski (2019). *Jak uczyć o energii jądrowej – edycja 2019*. Pobrano z http://www.biol.uw.edu.pl/pdb/wp/?page_id=25
- Wójcik, A., Hamza, K., Lundegård, I., Enghag, M., Haglund, K., Arvanitis, L. i Schenk, L. (2019). Educating about radiation risks in high schools: towards improved public understanding of the complexity of dose-radiation health effects. *Radiation and Environmental Biophysics*, 58, 13–20.

Nuclear physics education in schools – the problems of students and teachers seen from the perspective of the Education and Training Division of the National Centre for Nuclear Research

This paper addresses the issues connected with teaching about nuclear physics in Polish schools. The remarks stem from more than 20 years of observations and interactions with pupils and teachers visiting the National Centre of Nuclear Research in Świerk. There is a great need to conduct such education in an especially committed way and in various contexts. This, however, means not only overcoming organisational challenges, but also the need for a certain holistic perspective in teaching this discipline of physics.

KEYWORDS: education, holistic perspective, nuclear physics.