



Wprowadzenie

Laboratorium fizyczne powinno edukować studentów w zakresie stosowania logicznego myślenia opartego na wiedzy naukowej umożliwiającej całościową analizę badanych zjawisk fizycznych. Powinno prowokować do aktywnego studiowania danego problemu fizycznego i zrozumienia go. Należy zatem wykształcić u studenta umiejętność jasnego formułowania celu eksperymentu, sposobu jego realizacji, oceny niepewności pomiarowych, stosownej analizy danych, dyskusji otrzymanych wyników eksperymentalnych i ich niepewności pomiarowych, a przede wszystkim wyciągania konstruktywnych wniosków. Na podstawie rezultatów przeprowadzonego doświadczenia student powinien także umieć zoptymalizować eksperyment tak, aby w danych warunkach był on realizowany z możliwie największą precyzją. Wszystkie omówione powyżej etapy pracy eksperymentalnej powinny być zebrane w formie pisemnego opracowania zawierającego: podstawy teoretyczne wykonywanego doświadczenia, przebieg eksperymentu, właściwie stabelaryzowane i zestawione wyniki pomiarów wraz z analizą statystyczną, dyskusję wyników, planowanie i wnioski.

Niniejszy skrypt ma wskazać studentom właściwy sposób przygotowywania opracowania doświadczenia oraz nauczyć opracowywania wyników **zgodnego z normami Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej (*International Organization for Standardization* – ISO)**, która wydała w Genewie w 1993 roku przewodnik podający zasady obliczania i wyrażania niepewności pomiarowych (*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* – GUM). Przewodnik został opublikowany w imieniu siedmiu organizacji międzynarodowych wchodzących w skład ISO. W latach 1995, 2005 i 2008 przeprowadzono kolejne korekty tego przewodnika. W Polsce opublikowano go pt. *Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik*¹, w roku 1999 w wersji

¹ *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik*, tłum. J.M. Jaworski, Główny Urząd Miar, Warszawa 1999.

z roku 1993. Wcześniej powstał podręcznik D. Turzenieckiej², a później skrypt H. Szydłowskiego³.

Materiały zamieszczone w niniejszej publikacji są kontynuacją pracy prof. dr. hab. H. Szydłowskiego, który ponad 40 lat temu zapoczątkował, na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, zajęcia laboratoryjno-rachunkowe ze *Wstępu do pracowni fizycznej I* z wykładem ze statystyki matematycznej⁴. Profesor Szydłowski ma ogromne zasługi w zakresie fizyki eksperymentalnej – jest autorem i współautorem wielu podręczników, wśród których najbardziej znany jest *I pracownia fizyczna*⁵ – zbiór opracowań wielu doświadczeń, który do dziś pomaga w pracy laboratoryjnej studentom z całej Polski. Należy podkreślić, że prof. Szydłowski był pionierem w zakresie zastosowania analizy statystycznej do opracowywania wyników pomiarów i że dzięki niemu termin *niepewności pomiarowe*⁶ stosowany był przez polskich studentów (zamiast powszechnego określenia *błąd*) znacznie wcześniej niż pojawiły się pierwsze dyskusje międzynarodowe na ten temat (1977). Niniejszy skrypt jest wynikiem dziewięcioletniej pracy zespołu prowadzącego ćwiczenia eksperymentalno-rachunkowe przygotowujące studentów do badań laboratoryjnych w pracowni fizycznej i został przygotowany tak, aby każdy rozdział mógł stanowić odrębną całość.

Z pracy ze studentami wynika, że potrzebują oni zrozumiałych i prawidłowych wzorców protokołów (raportów) wykonywanych eksperymentów. W treści skryptu podano takie wzorce dla czterech najprostszych doświadczeń fizycznych. Zamieszczony w skrypcie schemat protokołu ma wszystkie części przydatne w ewentualnej późniejszej pracy naukowej. Zaprezentowano podział niepewności pomiarowych wraz z ich szczegółowym opisem uwzględniającym wpływ typu rozkładu statystycznego na wartość niepewności. Ta część jest szczególnie ważna dla zrozumienia konieczności uwzględnienia niepewności pomiarowych w pracy eksperymentalnej. Przedstawiono także podstawy matematycznej analizy statystycznej niezbędne do umiejętnego opracowania wyników doświadczenia oraz testowania statystycznego, w tym także obliczania liczby stopni swobody w eksperymencie. Opanowanie przez studenta ilościowej oceny precyzji wykonywanego doświadczenia pozwoli mu określić i zredukować wkłady pochodzące od po-

² D. Turzeniecka, *Ocena niepewności wyniku pomiaru*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1997.

³ H. Szydłowski, *Niepewności w pomiarach. Międzynarodowe standardy w praktyce*, Wyd. Nauk. UAM, Poznań 2001.

⁴ *Teoria pomiarów*, pod red. H. Szydłowskiego, PWN, Warszawa, 1974, 1978, 1981.

⁵ H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2003 (10 wydań!).

⁶ H. Szydłowski, *Pomiary fizyczne. Podręcznik dla nauczycieli*, PWN, Warszawa 1977, oddany do druku w 1976 r. oraz tenże: *Niepewności i błędy pomiarowe*, *Postępy Fizyki* 1980, 31, s. 261–267.

miarów obarczonych największą niepewnością. To powinno pomóc w krytycznej ocenie wyników eksperymentu, dyskusji oraz formułowaniu poprawnych wniosków.

W aneksie podano kompendium wiedzy niezbędnej dla studentów podczas opracowywania wyników doświadczenia, a także najczęściej wykorzystywane tablice statystyczne.

Mamy nadzieję, że zgromadzony materiał oraz cytowana literatura naukowa ułatwią studentom odnalezienie się w świecie eksperymentu fizycznego.