

CZESŁAW KAJTOCH*

Planowanie pomiarów i eksponowanie celów ćwiczenia w I pracowni fizycznej

WSTĘP

Jednym z głównych celów zajęć prowadzonych w I pracowniach Wyższych Szkół Pedagogicznych jest przygotowanie studentów do samodzielnej pracy laboratoryjnej, co ułatwia im pracę po ukończeniu studiów z uczniami w szkole, a także pomaga w pracy badawczej tym, którzy podejmą ją w placówkach naukowych. Aby osiągnąć ten cel, niezbędne jest zastosowanie odpowiedniej metody prowadzenia zajęć umożliwiającej aktywizację pracy studentów i świadome postępowanie przy wykonywaniu ćwiczeń. Celom tym miały służyć działania rozpoczęte w 1982 r. w Samodzielnym Zakładzie Fizyki WSP w Krakowie, polegające na zmianach: systemu prowadzenia zajęć, oceny przygotowania i opracowania ćwiczeń oraz wymogów dotyczących samych sprawozdań. Przy tych ostatnich szczególnie nacisk położono na jasne i precyzyjne eksponowanie celów ćwiczenia i optymalizację pomiarów.

SPOSÓB PROWADZENIA ZAJĘĆ

Dla kierunku fizyka zajęcia z zakresu I pracowni fizycznej odbywają się w ciągu drugiego i trzeciego semestru i są poprzedzone zajęciami z przedmiotu opracowanie danych

* Instytut Fizyki WSP Kraków ul. Podchorążych 2

pomiarowych odbywającymi się w pierwszym semestrze. Zajęcia laboratoryjne prowadzone są w grupach 6-8 osobowych, co zapewnia ściślejszy kontakt prowadzącego ze studentami i umożliwia efektywniejsze wykorzystanie czasu przeznaczonego na ćwiczenia.

W każdym semestrze przygotowanych jest szesnaście stanowisk z tematów doświadczalnych, podzielonych na cztery grupy tematyczne. Studentom w ciągu pierwszych zajęć organizacyjnych zostają przyporządkowane określone grupy tematyczne A,B,C,D [1]. Następne 12 spotkań zostało podzielone na cztery cykle 3-tygodniowe. W pierwszym tygodniu cyklu, w ciągu pierwszej godziny, odbywa się pisemny sprawdzian teoretycznego przygotowania studentów i ogólnej znajomości metod z materiału odpowiadającego ich grupom tematycznym. Następne dwie godziny lekcyjne poświęcone są na zapoznanie się z konkretną aparaturą przy stanowiskach oraz przeprowadzenie pomiarów wstępnych celem uzyskania odpowiedniej wprawy i niezbędnych danych do planowania pomiarów właściwych. Pod koniec zajęć w pierwszym tygodniu cyklu prowadzący sprawdza wrywkowo efekty pracy studentów (pytania dotyczące pomiarów i metody), a także losowane są na następne dwa tygodnie tematy ćwiczeń (dwa z czterech danej grupy), które studenci wykonują samodzielnie. Następne tygodnie przebiegają podobnie, w cyklach 3-tygodniowych. Studenci po skończeniu danego cyklu przechodzą rotacyjnie do następnej grupy tematycznej. Ostatnie dwa tygodnie poświęcone są na uzupełnienia zaległości i zaliczenia.

PLANOWANIE POMIARÓW

Jednym z elementów najbardziej aktywizujących pracę studentów jest planowanie pomiarów. Polega ono m.in. na obliczeniu względnej niepewności pomiarowej wyznaczonej wielkości i znalezieniu na podstawie jej analizy warunków, przy których osiągnie ona wartość minimalną, a więc gdy pomiar będzie najdokładniejszy (optymalny).

Metody optymalizacji pomiarów można podzielić na trzy grupy. Pierwsza metoda [3] polega na oszacowaniu składu procentowego względnej niepewności pomiarowej wielkości złożonej i wyłowieniu składnika charakteryzującego się największą wartością względnej niepewności pomiarowej wielkości prostej. Optymalizacja w tym przypadku będzie polegała na takim wykonywaniu pomiaru tej wielkości prostej, które zminimalizuje jej wpływ na całkowitą niepewność pomiarową. Metodę tę można wykorzystać w każdym prawie ćwiczeniu.

Drugą metodą, możliwą do wykorzystania tylko w niektórych ćwiczeniach, jest doprowadzenie wzoru na niepewność względną (obliczonego metodą logarytmiczną [6]) do postaci będącej funkcją jednej zmiennej. Optymalizacja polega wtedy na zbadaniu przebiegu funkcji i określeniu przedziałów wartości tej wielkości prostej dającej jak najmniejszą niepewność względną wyznaczanej wielkości złożonej. Znanym przykładem takiej optymalizacji jest, przy wyznaczaniu oporu elektrycznego za pomocą mostka Wheatstone'a [2,5,7], wstawienie do wzoru $R_x = \frac{a}{b} R_w$ zależności $a + b = l = \text{const}$ i obliczenie minimum funkcji będącej zależnością względną niepewności pomiarowej oporu od położenia suwaka "a". Minimum to określone jest warunkiem $a = \frac{l}{2}$, co oznacza, że najdokładniejsze pomiary uzyskujemy dla suwaka umieszczonego w środku ławy.

W przykładzie 1 pokazano wykorzystanie podobnej metody do wyprowadzenia związku charakteryzującego optymalny pomiar przy wyznaczaniu ogniskowej f soczewki skupiającej. Przykład 1.

Przy wyznaczaniu ogniskowej soczewki skupiającej korzystamy z wzoru:

$$f = \frac{ab}{a+b},$$

gdzie a , b - odległości przedmiotu i obrazu od soczewki.

Obliczymy niepewność pomiaru ogniskowej metodą różniczki zupełnej:

$$|\Delta f| = \frac{b^2 + a^2}{(a + b)^2} k \quad (k = |\Delta a| = |\Delta b|).$$

Uwzględniając związek między b i a poprzez wartość rzeczywistą f_0 otrzymujemy:

$$|\Delta f| = \frac{a^2 - 2af_0 + 2f_0^2}{2} k.$$

Policzenie pochodnej tej funkcji po a i przyrównanie do zera daje warunek na minimum niepewności pomiarowej $|\Delta f|$:

$$a = 2f_0 \quad \text{i} \quad b = 2f_0.$$

Zauważmy, że jest to także warunek minimalnej odległości obrazu od przedmiotu, co przedstawia rys. 1.

Trzeci rodzaj optymalizacji pomiarów polega na wyborze sposobu (metody) pomiaru wielkości badanej. W pracy [1] przedstawiono taką analizę przy wyznaczaniu oporu elektrycznego metodą techniczną. Wynika z niej, że przybliżony

wzór $R_p = \frac{U_V}{I_A}$ można stosować przy łączni prądowej (amperomierz połączony szeregowo z badanym oporem) dla $R > R_0$ (R - wartość rezystancji badanego opornika, $R_0 = \sqrt{r_V r_A}$, r_A , r_V - opory wewnętrzne amperomierza i woltomierza), a przy łączni napięciowej (woltomierz połączony równoległe z badanym oporem) dla $R < R_0$.

Przykład 2 przedstawia podobne wnioski dla ćwiczenia, w którym wyznaczamy gęstość cieczy za pomocą rurek Harrego [7] i wagi Mohra [2].

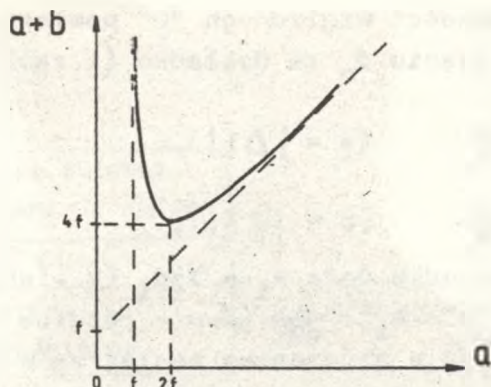
Przykład 2.

Przy wyznaczaniu gęstości cieczy za pomocą rurek Harrego (a) i wagi Mohra (b) korzystamy z wzorów:

$$a) \quad d_x = \frac{h_0}{h_x} d_0,$$

$$b) \quad d_x = \frac{m_x}{m_0} d_0,$$

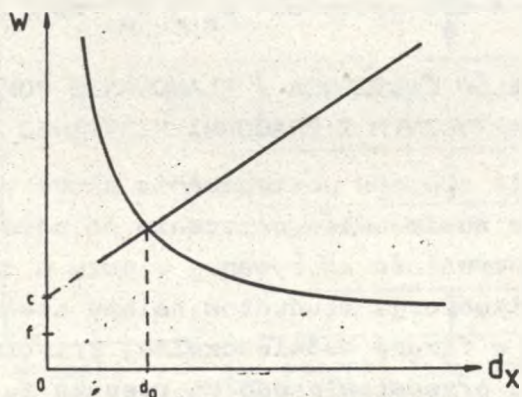
gdzie: d_0 , d_x - gęstości cieczy wzorcowej i badanej, h_0 , h_x - wysokości słupów cieczy wzorcowej i badanej, m_0 , m_x - masy cieczy wzorcowej i badanej w objętości nureka.



Rys.1. Odległość obrazu od przedmiotu w zależności od odległości przedmiotu od soczewki.

Fig.1. The distance of image - object as a function of the distance object - lens.

Рис.1. Расстояние изображения от предмета в зависимости от расстояния предмета от линзы



Rys.2. Zależność względnej niepewności "w" pomiaru gęstości cieczy od jej wartości "d_x" dla rurek Harego /a/ i wagi Mohra /b/.

Fig.2. The relative error of the liquid density measurement as a function of the value d_x for Hary's tubes /a/ and Mohre's scales /b/.

Рис.2. Зависимость относительной ошибки "w" измерения плотности жидкости от ее значения d_x для трубок Гари (а) и весов Мора (б)

Po obliczeniu niepewności względnych "w" pomiaru d_x metodą logarytmiczną i przyjęciu d_o za dokładne (z tablic) otrzymujemy:

$$a) \quad w = \frac{a}{h_o} + \frac{a}{h_x} \quad (a = |\Delta h|),$$

$$b) \quad w = \frac{b}{m_o} + \frac{b}{m_x} \quad (b = |\Delta m|).$$

Uwzględniając w przypadku "a": $m_i = Vgd_i$ (V - objętość rurka), a w przypadku "b": $h_i = \frac{\Delta p}{gd_i}$ (Δp - różnica między ciśnieniem atmosferycznym a ciśnieniem powietrza w naczyniach połączonych) otrzymujemy:

$$a) \quad w = c + ed_x \quad (c = \frac{agd_o}{\Delta p}, \quad e = \frac{ag}{\Delta p}),$$

$$b) \quad w = f + \frac{j}{d_x} \quad (f = \frac{a}{Vgd_o}, \quad j = \frac{a}{Vg}).$$

Zależności te przedstawia rys. 2, którego analiza prowadzi do wniosku, że dla gęstości $d_x < d_o$ powinniśmy stosować rurki Harrego, a dla gęstości $d_x > d_o$ wagę Mohra.

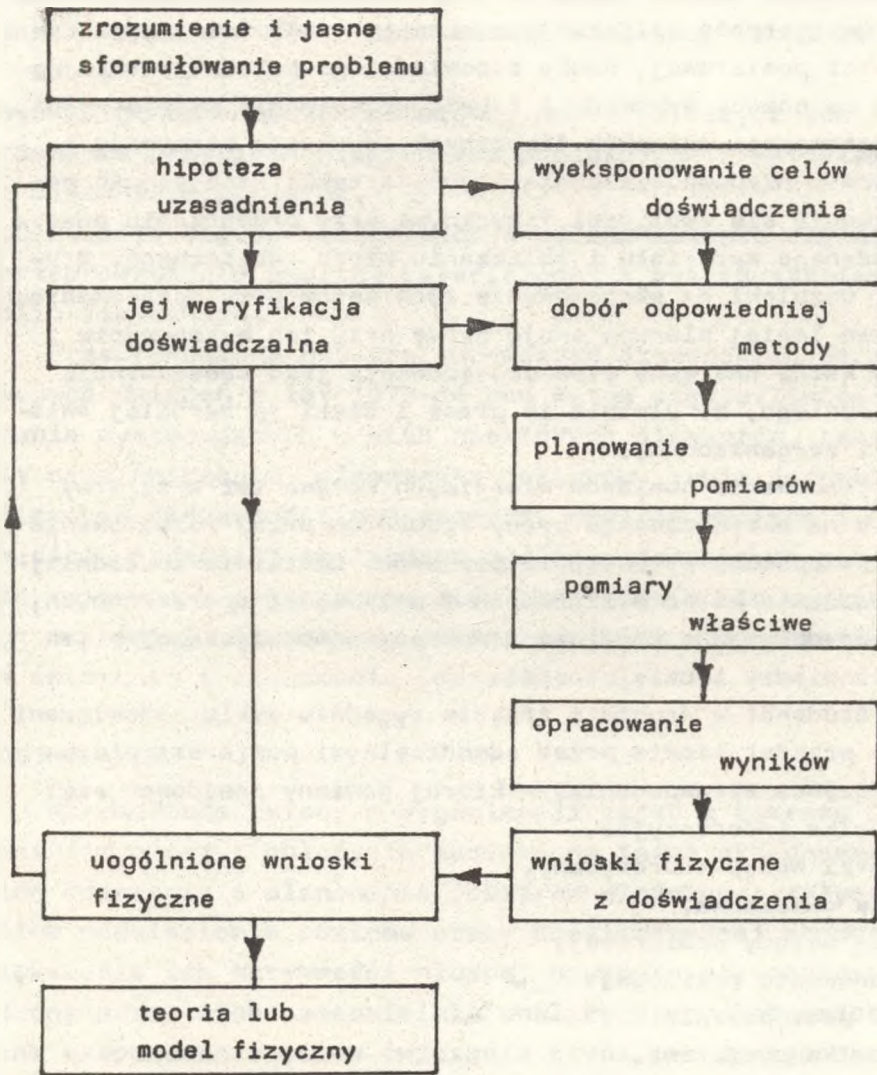
EKSPONOWANIE CELÓW ĆWICZENIA I PLANOWANIE POMIARÓW W PROCESIE DYDAKTYCZNYM I PRACOWNI FIZYCZNEJ

Zrozumienie sposobu postępowania eksperymentatora [4] i uświadomienie sobie celów ćwiczenia ma ogromny wpływ na jakość pracy i trwałość zdobywanej wiedzy w czasie zajęć w I pracowni fizycznej. Studentom należy uświadomić, że proces twórczy w fizyce doświadczalnej przebiega na ogół według schematu przedstawionego na rysunku 3. Część A przedstawia skrótowo ogólny schemat postępowania badawczego, którego tylko pewnym fragmentem jest część B pokrywająca się z postępowaniem studentów w pracowni fizycznej.

Poza celami merytorycznymi dotyczącymi danego ćwiczenia, jak np. sprawdzenie prawa fizycznego, wyznaczenie pewnej stałej fizycznej, poznanie budowy i sprawdzenie działania jakiegoś układu, mamy tu do czynienia także z celami dydaktycznymi, jak np.: doskonalenie umiejętności pomiaru wielkości fizycznych metodami bezpośrednimi i pośrednimi, uzys-

A

B



Rys.3. Tok pracy badacza - eksperymentatora /A/ i jego fragment /B/ wykorzystany w pracy studentów

kiwanie umiejętności montowania układów i posługiwania się przyrządami pomiarowymi, umiejętność odczytywania wskazań i poprawnego zapisu jednostek, opanowanie planowania pomiarów, umiejętność obliczeń wyznaczonej wielkości i jej niepewności pomiarowej, nauka odpowiedniego przedstawiania wyników za pomocą wykresów i tabel, uzyskiwanie umiejętności przedstawiania wniosków fizycznych, dyskusja otrzymanych wyników i niepewności pomiarowych, a także umiejętność posługiwania się tablicami fizycznymi przy prowadzeniu analizy badanego materiału i obliczaniu błędu tablicowego. Studenci uczuleni na eksponowanie tych celów przy opracowaniach ćwiczeń lepiej planują swoją pracę przy ich wykonywaniu i widzą każdy następny etap postępowania jako konsekwencję poprzedniego, co ułatwia im pracę i czyni ją bardziej świadomą i zorganizowaną.

Planowanie pomiarów właściwych wpływa też w istotny sposób na aktywizowanie pracy studentów przez rozbudowanie analizy sposobu wykonywania pomiarów, umożliwia dokładniejsze poznanie metod pomiarowych i możliwości aparaturowych, a także wpływa na trwałość i operatywność uzyskanej w ten sposób wiedzy i umiejętności.

Studenci w drugim i trzecim tygodniu cyklu zobowiązani są do przedstawienia przed samodzielnymi pomiarami pierwszej części sprawozdania, w której powinny znajdować się:

- tabelka informacyjna,
- krótki wstęp teoretyczny,
- cele ćwiczenia,
- opis metody pomiarowej,
- planowanie pomiarów,
- tok postępowania,
- tabelka pomiarowa.

Następnie w ciągu tygodnia po wykonaniu pomiarów powinni oni opracować wyniki. W opracowaniu tym powinny być uwzględnione następujące elementy:

- obliczenia wyników i niepewności pomiarowych,
- poprawny zapis jednostek,
- podanie rozwiązania w postaci $x \pm \Delta x$ dla zadanego poziomu ufności,
- zestawienie wyników i niepewności w postaci tabel lub wykresów,
- wyeksponowanie na ich podstawie wniosków fizycznych i porównanie przebiegu niepewności pomiarowych z wnioskami z planowania pomiarów,
- obliczenie błędów tablicowych i ustosunkowanie się do nich,
- przeprowadzenie analizy materiałowej z wykorzystaniem tabel fizycznych.

Przeprowadzona analiza sprawozdań studenckich do wykonywanych ćwiczeń z lat 1975-84 pod kątem częstotliwości poprawnie występujących w nich niektórych elementów, takich jak: cele ćwiczenia, planowanie pomiarów, zapis jednostek, obliczanie niepewności pomiarowych, analiza wyników i niepewności, pozwoliła stwierdzić ogólne podniesienie poziomu prac, związane z pojawieniem się praktycznie nie występujących wcześniej elementów, jakimi są jasne eksponowanie celów ćwiczenia i planowanie pomiarów.

PODSUMOWANIE

Wprowadzone zmiany w organizacji zajęć z zakresu I pracowni fizycznej i położenie nacisku na jasne eksponowanie celów ćwiczenia i planowanie pomiarów właściwych wpływa na ogólne podniesienie poziomu pracy doświadczalnej studentów. Zwiększenie ich aktywności własnej uzyskuje się poprzez prowadzoną przez nich samodzielnie analizę pracy laboratoryjnej. Jasne eksponowanie celów ćwiczenia czyni ich postępowanie bardziej świadomym i ułatwia planowanie czynności oraz analizę uzyskanych wyników.

Wpłynęło do Redakcji 30 września 1985r.

Literatura

- [1] Chmura J., Kajtoch Cz., Sławiński J., Organizacja zajęć, planowanie pomiarów i zastosowanie kontroli programowanej w procesie dydaktycznym w pracowni fizycznej i biofizycznej, oddane do druku w materiałach Konferencji Dydaktyki Biofizyki, ART, Olsztyn 1985.
- [2] Dryński T., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN 1967.
- [3] Kędzia B., Materiały do ćwiczeń z biofizyki i fizyki, PZWL 1982.
- [4] Sawicki M., Zasady i metody nauczania fizyki, PZWS 1973.
- [5] Szydłowski H., Pracownia fizyczna, PWN 1975.
- [6] Szydłowski H., Teoria pomiarów, PWN 1978.
- [7] Zawadzki A., Hofmokr H., Laboratorium fizyczne, PWN 1966.

Cz. Kajtoch

Planning of measurement and emphasis of the aim of the experiment in the student physical laboratory.

ABSTRACT

The role of the emphasis of the aims of the experiment and planning of measurement in didactic process is described. Their positive influence on the level of the student experimental work connected with the increase of student activity during individual preparation and elaboration of measurement was observed.

Ч. Кайтох

Планирование измерений и экспонирование целей экспериментальной работы в "Первой физической лаборатории"

РЕЗЮМЕ

Автор статьи обосновывает роль экспонирования целей экспериментальной работы и планирования измерений в дидактическом процессе, а также предлагает план организации занятий в "Первой физической лаборатории". Приводятся примеры положительного влияния этих занятий на уровень экспериментальной работы студентов; они способствуют повышению активности при самостоятельном приготовлении и обработке результатов измерений.