



Pomiar parametrów ruchu

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Wirtualne laboratorium WL-I](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Pomiar parametrów ruchu

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.istockphoto.com/pl/zdj%C4%99cie/supercar-gm154077151-21769092>.

Czy to nie ciekawe?

Doświadczalne badanie parametrów ruchu to ciekawe zagadnienie. Dokładniej: będziesz wyznaczać wartości przyspieszenia i początkowej prędkości w ruchu jednostajnie opóźnionym. Wszystko będzie wyglądało trochę jak na zawodach curlingowych, gdzie zawodnik wypuszcza kamień w kierunku celu. Kamień ślizga się po lodzie, zwalniając wskutek tarcia kinetycznego. Jeśli pozostali członkowie drużyny nie zamiatają lodu na drodze kamienia, to jego ruch można uznać za jednostajnie opóźniony. Kamień się zatrzymuje (jeśli nie uderzy w bandę lub inny kamień) po pewnym czasie i po przebyciu pewnej drogi po lodzie.



W zawodach curlingowych kamieniowi nadaje się początkową prędkość. Kamień sunie po lodzie ruchem opóźnionym ku docelowemu obszarowi, po czym zatrzymuje się lub uderza w inny kamień.

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/zawody-curlingowe-konkurencja-akcja-3233959/> [dostęp 9.03.2022], domena publiczna.

Do Ciebie będzie należał pomiar długości drogi i czasu jej przebycia. Oczywiście zrobisz to w warunkach laboratoryjnych.

Twoje cele

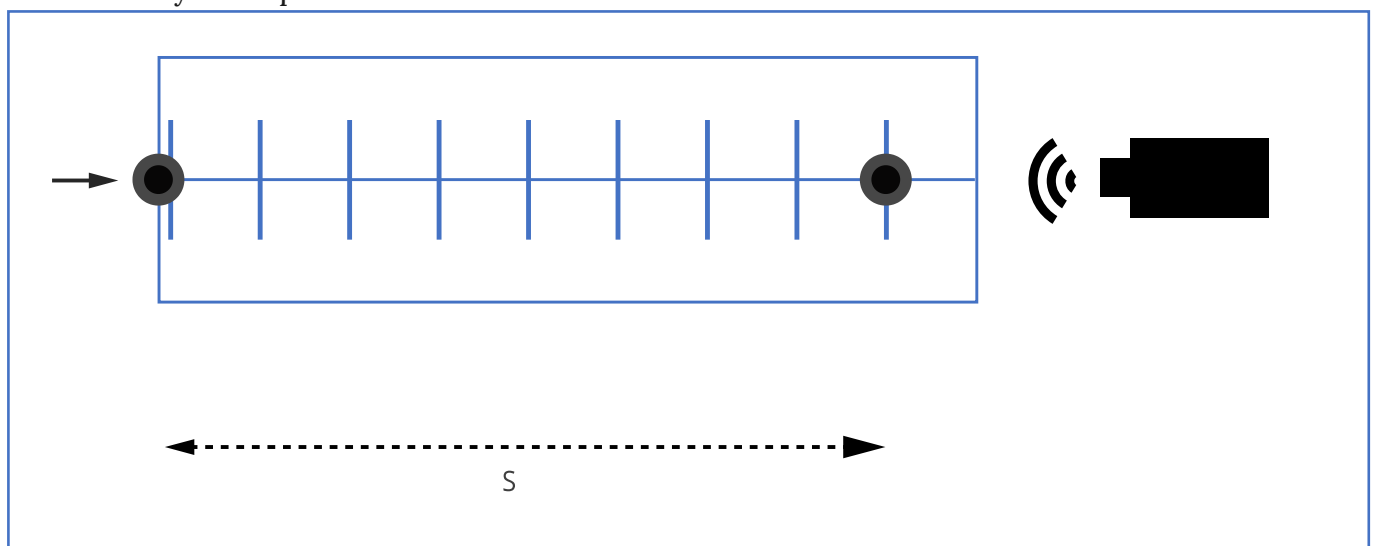
W efekcie:

- przeprowadzisz wirtualny eksperyment, w którym pchniesz odważnik po poziomym stole i zmierzysz drogę s przebywaną przez odważnik, aż do zatrzymania się oraz czas t_z , po jakim się on zatrzymuje,
- oszacujesz graniczne niepewności pomiarowe Δs oraz Δt_z mierzonych wielkości, a następnie ich niepewności standardowe,
- zmierzysz, w pomiarze pośrednim, wartość opóźnienia oraz początkowej prędkości odważnika,
- wyznaczysz standardowe niepewności pomiaru tych wielkości,
- ocenisz zgodność uzyskanych przez siebie wartości opóźnienia oraz początkowej prędkości z wartościami przyjętymi w wirtualnym eksperymencie.

Przeczytaj

Warto przeczytać

1. **Jaki badamy ruch i jakie są jego parametry?** W doświadczeniu będziesz badać ruch jednostajnie opóźniony prostoliniowy. Ruch ten charakteryzują trzy stałe wielkości, czyli trzy parametry: położenie początkowe, początkowa prędkość oraz przyspieszenie. Zmierzysz te dwa ostatnie.
2. **Jakie stosujemy oznaczenia?** W ruchu opóźnionym prostoliniowym wektor przyspieszenia i wektor prędkości mają przeciwne zwroty. Będziemy oznaczać symbolem a wartość wektora przyspieszenia; wielkość tę będziemy nazywać przyspieszeniem lub opóźnieniem (zależnie od kontekstu). Symbol v_0 będzie u nas oznaczał wartość wektora początkowej prędkości; dla skrótowi powiemy: prędkość początkowa.
3. **Co i jak zmierzysz bezpośrednio?** Na samym brzegu ławki szkolnej stawiasz odważnik i popychasz go w kierunku przeciwnego brzegu ławki (Rys. 1.). Przyjmujemy, że czas trwania fazy rozpędzania odważnika jest pomijalny wobec całego czasu trwania ruchu. W chwili popchnięcia uruchamiasz stoper, który wyłączysz, gdy odważnik się zatrzyma. Tę funkcję może spełniać odpowiedni czujnik ruchu. (Jeśli popchniesz odważnik za mocno, to spadnie on z ławki i trzeba będzie wszystko ustawiać od początku.) Jeśli wszystko się uda, to stoper wskaże czas t_z , a miarką zmierzysz drogę s (nie zabieraj zbyt szybko odważnika z ławki!). Właśnie te dwie wielkości – t_z oraz s – zmierzysz bezpośrednio.

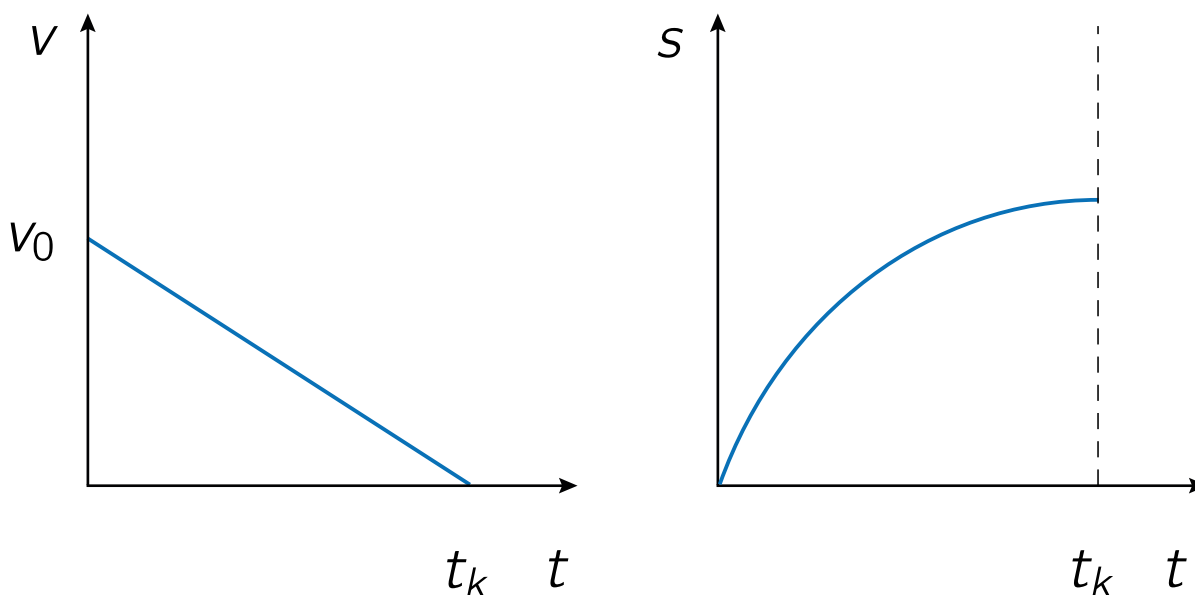


Rys. 1. Schemat układu doświadczenia (widok z góry). Odważnik na brzegu stołu zostaje pchnięty z lewej strony. Uruchomiony zostaje czujnik C, mierzący czas do chwili zatrzymania odważnika, po przebyciu drogi s . Droga ta mierzona jest na tle skali

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

4. **Jakie obowiązują zależności?** Ruch odważnika jest jednostajnie opóźniony. Przypomnij sobie odpowiednie zależności w materiałach „Zależność wartości prędkości w funkcji

czasu w ruchu jednostajnie opóźnionym” oraz „Zależność drogi w funkcji czasu w ruchu jednostajnie opóźnionym”. Tutaj przytoczymy jedynie wykresy tych zależności (Rys. 2.).



Rys. 2. Wykresy zależności wartości prędkości od czasu oraz drogi od czasu w ruchu jednostajnie opóźnionym prostoliniowym. W chwili t_k odważnik się zatrzymuje: prędkość osiąga zerową wartość, a przebyta droga przestaje się zwiększać

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

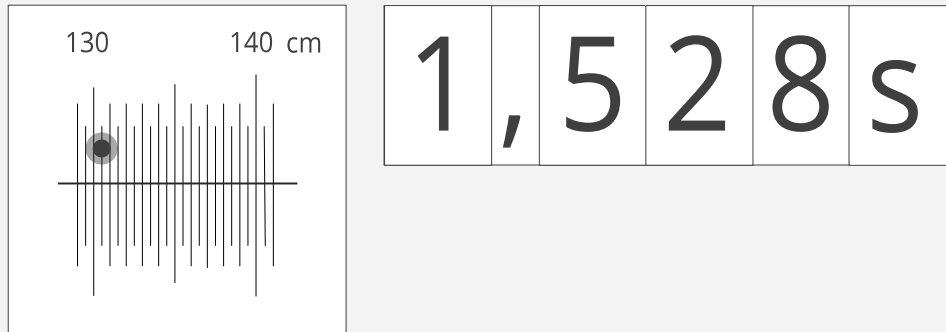
Początkowa prędkość odważnika v_0 i opóźnienie a wyrażają się w prosty sposób przez wielkości mierzone bezpośrednio – s oraz t_z :

$$v_0 = \frac{2s}{t_z}, \quad (1)$$

$$a = \frac{2s}{t_z^2}. \quad (2)$$

5. Czy to aby na pewno takie proste? W zasadzie tak, choć jest pewien niuans związany z ręcznym pomiarem czasu. W typowej sytuacji ruch odważnika po stole o długości rzędu 1,5 – 2 m kończy się po czasie t_z rzędu jednej-dwóch, góra trzech sekund. Pomiar ręcznym stoperem daje niepewność pomiaru rzędu dwóch-trzech dziesiątych sekundy. Jest to związane z ludzkim refleksem. Przy tak krótkim czasie t_z niepewność względna jest rzędu 10-20%, a to nie jest zadowalająca dokładność. Dlatego warto, w miarę możliwości, zastosować inną technikę obserwacji ruchu niż ludzkie oko i pomiaru czasu niż ręczny stoper. Jedno z dostępnych rozwiązań to tzw. [wideopomiary](#), w których wykorzystuje się kamerę do rejestracji ruchu i czasu jego trwania.

6. **W jaki sposób oszacować niepewność pomiarową t_z i s ?** Doświadczenie, które przeprowadzasz, jest niemożliwe do powtórzenia w niezmiennych warunkach. Po prostu: nie uda Ci się nadać odważnikowi, po raz drugi, prędkości początkowej o tej samej wartości jak w pierwszej próbie. Musisz więc zadowolić się wynikiem pojedynczego pomiaru t_z i s oraz określeniem ich niepewności granicznych Δt_z i Δs . Niepewności te są związane z rozdzielczością użytych przyrządów (Rys. 3.).



Rys. 3. Fragment linijki, której rozdzielczość to 0,5 cm; zmierzona przy jej użyciu droga s obarczona jest niepewnością graniczną $\Delta s = 5 \cdot 10^{-3}$ m. Rozdzielczość cyfrowego czasomierza to 1 ms; zmierzony przy jego użyciu czas t_z obarczony jest niepewnością graniczną $\Delta t_z = 10^{-3}$ s

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Niepewności standardowe wyznaczysz za pomocą ogólnego związku pomiędzy niepewnością standardową $u(x)$ a **niepewnością graniczną** Δx :

$$u(x) = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}}$$

7. **Czy warto więc powtórzyć eksperyment?** Jeśli powtórzysz eksperyment, z tym samym odważnikiem i na tej samej ławce, to - mimo różnicy w początkowej prędkości - wartość opóźnienia będzie za każdym razem jednakowa. Możesz więc przeprowadzić kilka pomiarów, uzyskując za każdym razem różne wartości t_z oraz s . Sprawdź jednak, czy uzyskane wartości opóźnienia a są za każdym razem jednakowe - stanowiłoby to dobre potwierdzenie uczynionego założenia, że ruch odważnika po stole jest **jednostajnie** opóźniony.

Słowniczek

Niepewność pomiarowa graniczna

(ang. *maximum measurement uncertainty*) (dawniej nazywana niepewnością maksymalną) – niepewność pomiaru wielkości fizycznej w , oznaczana symbolem Δw , związana z rozdzielczością i dokładnością przyrządu pomiarowego.

Wielkość mierzona bezpośrednio

(ang. *direct measurement*) (dawniej: wielkość prosta) wielkość mierzona za pomocą jednego przyrządu pomiarowego, przeznaczonego do pomiaru tej wielkości.

Wielkość mierzona pośrednio

(ang. *indirect measurement*) (dawniej: wielkość złożona) wielkość mierzona na podstawie znajomości jej zależności funkcyjnej od jednej lub kilku wielkości mierzonych bezpośrednio.

Wideopomiar

(ang. *motion measuring in videos*) technika badania ruchu ciała, wykorzystująca odpowiednie oprogramowanie oraz nagrany (cyfrowo) film. Po jego wgraniu do programu użytkownik wskazuje ciało (fragment obrazu), którego położenie ma być śledzone przez oprogramowanie. Typowo dostępne opcje w takim programie to konstrukcja tabel i wykresów położenia, prędkości i przyspieszenia ciała w funkcji czasu.

Wirtualne laboratorium WL-I

Pomiar parametrów ruchu jednostajnie opóźnionego

W laboratorium zmierzysz wartości początkowej prędkości v_0 oraz przyspieszenia a odważnika pchniętego po poziomym stole. By to osiągnąć, najpierw zmierzysz bezpośrednio czas trwania ruchu odważnika i odległość, na jaką się ten odważnik przesunie do chwili zatrzymania.

Doświadczenie 1

Pojedynczy pomiar przyspieszenia i prędkości początkowej

Problem badawczy

Celem doświadczenia jest pośredni pomiar wartości przyspieszenia a oraz prędkości początkowej v_0 ciała poruszającego się ruchem jednostajnie opóźnionym.

Hipoteza

Bezpośredni pomiar drogi s przebytej przez ciało ruchem jednostajnie opóźnionym aż do zatrzymania oraz czasu t_z tego ruchu pozwala na pośredni pomiar przyspieszenia a oraz prędkości początkowej v_0 ciała.

Co będzie potrzebne

1. Poziomy stół o jednorodnej powierzchni i długości rzędu jednego do dwóch metrów.
2. Rozwijana miarka o długości co najmniej takiej, jak stół.
3. Odważnik lub podobne niewielkie ciało, o masie rzędu 100-200 gramów.
4. Czujnik ruchu sprzężony ze stoperem.

Uruchomienie pomiaru czasu następuje gdy w zasięgu obserwacji czujnika zbliża się do niego obiekt. Stoper jest zatrzymywany, gdy obiekt się zatrzymuje.

5. Zeszyt i kalkulator albo arkusz kalkulacyjny do zanotowania i opracowania wyników pomiarów.

Ćwiczenie 1

Uzupełnij tekst, by stworzyć krótką notatkę na temat wyboru i roli miarki w tym doświadczeniu.

Miarka w tym eksperymencie posłuży do określenia . Cel ten można także zrealizować za pomocą . Jednak ta ostatnia, ze względu na swą długość, nie zapewniłaby uzyskania wyniku , na czym powinno nam zależeć.

prawidłowego

drogi przebytej przez odważnik

20-centymetrowej poziomicy

w odpowiednio krótkim czasie

długości stołu

20-centymetrowej linijki

prawidłowego wypoziomowania stołu

tak samo dokładnego

Ćwiczenie 2

Zapisz krótkie uzasadnienie dla prawidłowego wyboru w ostatnim zdaniu poprzedniego ćwiczenia.

Ćwiczenie 3

Rolę opisanego czujnika ruchu sprzężonego z elektronicznym stoperem mógłby pełnić człowiek korzystający ze stopera, np. w telefonie komórkowym.

Uruchomienie stopera w chwili pchnięcia obiektu i zatrzymanie go wraz z zatrzymaniem się obiektu nie stanowi przecież żadnego problemu.

Sformułuj kilkuzdaniowe uzasadnienie tezy, że w warunkach zaproponowanych w wirtualnym laboratorium zmierzony w ten sposób czas ruchu byłby znacznie bardziej niepewny, niż zmierzony za pomocą czujnika ruchu.

Instrukcja

1. Wybierz NOWY STÓŁ, po którym będzie poruszał się odważnik.
Stoły są numerowane; różnią się właściwościami powierzchni. Na różnych stołach działa różna siła tarcia na ten sam odważnik.
2. Na brzegu stołu ustawiony zostaje odważnik. Zwróć uwagę na jego położenie względem współrzędnej zero, zarówno w oknie pokazującym widok z góry na blat stołu jak i w oknie pokazującym widok z boku.
3. PCHNIJ odważnik w kierunku przeciwnego brzegu stołu. Czujnik wykryje ruch odważnika i włączy stoper.
4. Gdy odważnik się zatrzyma, czujnik zatrzyma stoper.
Jeśli odważnik został pchnięty za mocno, spadnie ze stołu. Taki pomiar trzeba powtórzyć.
5. Uruchom opcję ODCZYT.
 - a) Zanotuj (lub wprowadź do arkusza kalkulacyjnego) czas ruchu t_z i jego niepewność graniczną Δt_z .
 - b) Odczytaj i zanotuj przebytą drogę s oraz jej niepewność graniczną Δs .
 - c) Wyświetl i zanotuj wartości wzorcowe przyspieszenia a i początkowej prędkości v_0 .

Polecenie 1

Opracuj wyniki swojego pomiaru.

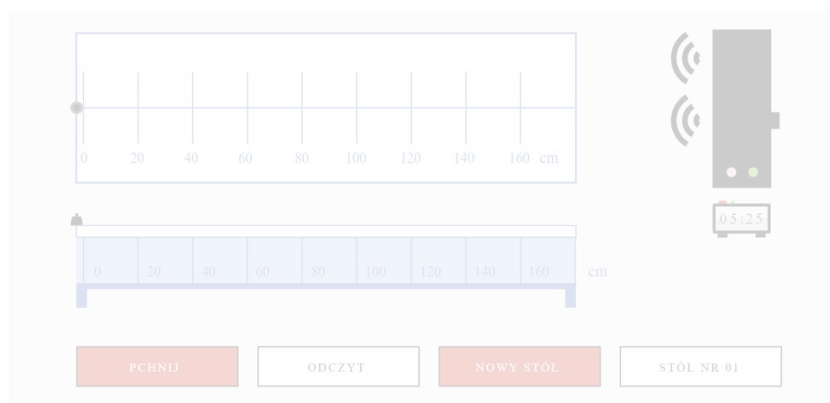
1. Oblicz wartość v_0 odważnika oraz przyspieszenia jego ruchu a .
2. Określ niepewności pomiarowe $u(v_0)$ oraz $u(a)$ tych wielkości.

Podsumowanie

Polecenie 2

Zapisz krótki, kilkudzaniowy raport z przeprowadzonych pomiarów. Zawrzyj w nim następujące elementy.

1. Przedstaw wyniki pomiarów, zarówno wielkości zmierzonych bezpośrednio jak i zmierzonych pośrednio.
2. Porównaj uzyskane wyniki z wzorcowymi wartościami v_0 oraz a . Oceń, czy uzyskane przez Ciebie wyniki są zgodne z wzorcowymi.
3. Sformułuj rozstrzygnięcie hipotezy badawczej.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D7sZnBENe>

Doświadczenie 2

Seria pomiarów przyspieszenia w funkcji prędkości początkowej

Problem badawczy

Celem doświadczenia jest zbadanie zależności przyspieszenia od początkowej prędkości w ruchu jednostajnie opóźnionym.

Hipoteza

Badany ruch jest **jednostajnie** opóźniony, więc przyspieszenie jest w nim stałe.

Co będzie potrzebne

- 1. Wykorzystaj wyposażenie opisane w doświadczeniu 1 „Pojedynczy pomiar przyspieszenia i prędkości początkowej”.
- 2. Przygotuj arkusz kalkulacyjny z następującymi kolumnami.

Lp.	s	t_z	Δs	Δt_z	$u(s)$	$u(t_z)$	a	$u(a)$	v_0	$u(v_0)$
	m	s	m	s	m	s	m/s ²	m/s ²	m/s	m/s

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Instrukcja

- 1. Wykonaj kilkakrotnie czynności opisane w punktach 1-5 instrukcji dla doświadczenia 1 „Pojedynczy pomiar”.
- 2. W każdym wierszu arkusza wpisz wartości s i Δs oraz t_z i Δt_z , uzyskane w jednym pomiarze.
- 3. Przeprowadź serię co najmniej 6-8 takich pomiarów.

Polecenie 3

Opracuj wyniki swojego pomiaru.

1. Wprowadź do arkusza odpowiednie formuły, pozwalające obliczyć wartości i niepewności a oraz v_0 . Uzupełnij wszystkie wiersze wynikami pomiarów.
2. Sporządź wykres zależności a od v_0 .
3. Nanieś na wykresie słupki niepewności pomiarowej. Zwróć uwagę, że w Twoim arkuszu ta opcja może się nazywać „słupki (lub prostokąty) błędów (pomiarowych)”. Twój arkusz może też nie mieć takiej opcji - dorysuj wtedy ręcznie słupki niepewności na wydruku wykresu.

Podsumowanie

Polecenie 4

Zapisz krótki, kilkuzdaniowy raport z przeprowadzonych pomiarów. Zawrzyj w nim następujące elementy.

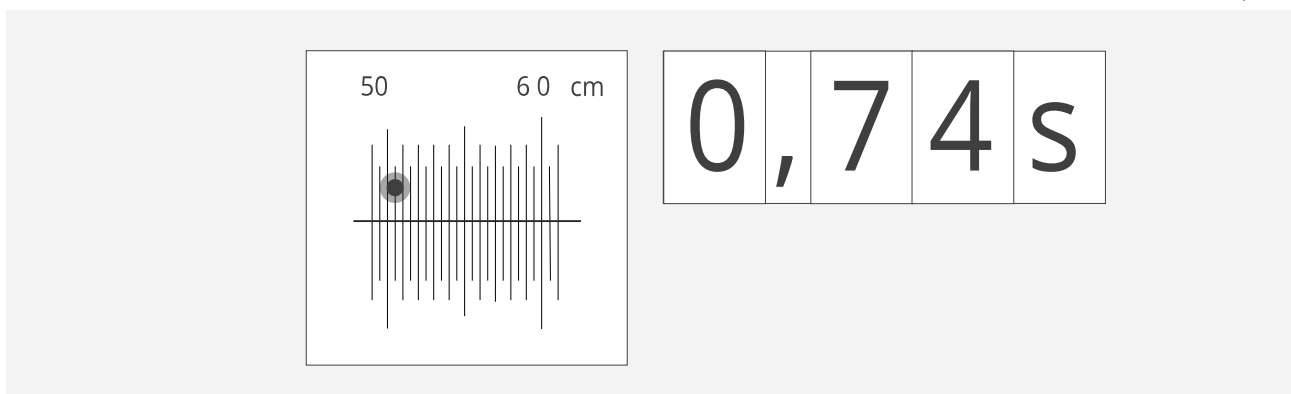
1. Przedstaw wyniki swoich pomiarów, opracowane w arkuszu.
2. Zamieść sporządzony wykres.
3. Opisz i skomentuj przebieg wykresu zależności $a(v_0)$.
4. Sformułuj rozstrzygnięcie hipotezy badawczej.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Wspólny tekst do wszystkich zadań: Ciało pchnięto po poziomej powierzchni, nadając mu początkową prędkość o wartości v_0 . Ciało poruszało się ruchem jednostajnie opóźnionym, z przyspieszeniem o wartości a . Po przebyciu drogi s i po czasie t_z ciało zatrzymało się. Te dwie ostatnie wielkości zmierzono bezpośrednio, uzyskując wartości $s = 0,516$ m oraz $t_z = 0,74$ s. Celem doświadczenia było dokonanie pomiaru pośredniego a oraz v_0 .

Ćwiczenie 1



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Drogę s oraz czas t_z zmierzono, odpowiednio, za pomocą linijki (jej fragment pokazano na rysunku oraz za pomocą czasomierza cyfrowego (panel odczytu przedstawiono na rysunku).

Określ niepewności graniczne Δs oraz Δt_z tych pomiarów.

Odpowiedź:

$\Delta s =$
 $\Delta t_z =$

s mm 0,1 0,005 2 0,02 20 0,005 ms 1 cm 0,05
 0,001 0,01 m 0,01

Ćwiczenie 2



Oblicz niepewności standardowe $u(s)$ oraz $u(t_z)$ zmierzonych wielkości. Wyniki zaokrąglaj do czterech cyfr znaczących – dla potrzeb dalszych obliczeń.

$$u(s) = \text{[input box]} \text{ m}$$

$$u(t_z) = \text{[input box]} \text{ s}$$

Ćwiczenie 3



Oblicz udziały niepewności $u_s(a)$ oraz $u_t(a)$ w niepewności standardowej opóźnienia $u(a)$. Wskaż wyniki podane z dokładnością do czterech cyfr znaczących.

☐ $u_s(a) = 0,01054 \text{ m/s}^2$; $u_t(a) = 0,02941 \text{ m/s}^2$

☐ $u_s(a) = 0,01054 \text{ m}$; $u_t(a) = 0,02941 \text{ s}$

☐ $u_s(a) = 0,011 \text{ m}$; $u_t(a) = 0,029 \text{ s}$

☐ $u_a(a) = 0,011 \text{ m/s}^2$; $u_t(a) = 0,029 \text{ m/s}^2$

Ćwiczenie 4



Oblicz niepewność standardową opóźnienia $u(a)$. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

$$u(a) = \text{[input box]} \text{ [input box]}$$

m/s

0,03124

m/s²

0,031

cm/s²

0,032

cm/s

0,03

Ćwiczenie 5



Zapisz, korzystając z przygotowanego pola, zmierzoną wartość a wraz z jej niepewnością standardową, obliczoną w poprzednim zadaniu.

Ćwiczenie 6



Wskaż najbardziej trafną ocenę zgodności wyniku pomiaru a z jej wzorcową wartością $a_w = 1,91 \text{ m/s}^2$.

- ☐ Bezwzględna wartość różnicy $|a_w - a|$ jest mniejsza od niepewności $u(a)$, więc wynik pomiaru jest zgodny z wartością wzorcową.
- ☐ Bezwzględna wartość różnicy $|a_w - a|$ jest większa od niepewności $u(a)$, więc wynik pomiaru jest niezgodny z wartością wzorcową.
- ☐ Bezwzględna wartość różnicy $|a_w - a|$, odniesiona do a_w , czyli tzw. odchylenie procentowe $\frac{|a_w - a|}{a_w}$, jest mniejsze niż 1%, więc wynik pomiaru jest zgodny z wartością wzorcową.
- ☐ Bezwzględna wartość różnicy $|a_w - a|$, odniesiona do a_w , czyli tzw. odchylenie procentowe $\frac{|a_w - a|}{a_w}$, jest większe niż 1%, więc wynik pomiaru jest niezgodny z wartością wzorcową.
- ☐ Otrzymana wartość a jest bliska wartości wzorcowej a_w , więc wynik pomiaru jest zgodny z wartością wzorcową.
- ☐ Otrzymana wartość a nie jest równa wartości wzorcowej a_w , więc wynik pomiaru jest niezgodny z wartością wzorcową.

Ćwiczenie 7



Przeprowadź obliczenia zaproponowane w ćwiczeniach 3., 4. i 5. w odniesieniu do v_0 oraz niepewności standardowej $u(v_0)$. Zapisz, krok po kroku, swoje obliczenia w przygotowanym polu i porównaj ich wyniki z zawartymi w rozwiązaniu wzorcowym.

Ćwiczenie 8



Dokonaj oceny zgodności wyniku pomiaru v_0 z jej wzorcową wartością $v_w = 1,39$ m/s. Zapisz swoją wypowiedź w przygotowanym polu i porównaj ją z rozwiązaniem wzorcowym.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Włodzimierz Natorf
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Pomiar parametrów ruchu jednostajnie opóźnionego. Jaką rozdzielczość powinien mieć stoper do ręcznego pomiaru czasu?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia - wymagania ogólne: III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji oraz doświadczeń i wnioskowanie na podstawie ich wyników. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji; 11) opisuje przebieg doświadczenia lub pokazu; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość; 13) rozróżnia błędy przypadkowe i systematyczne; 15) posługuje się pojęciem niepewności pomiaru wielkości prostych i złożonych; zapisuje wynik pomiaru wraz z jego jednostką oraz z uwzględnieniem informacji o niepewności; uwzględnia niepewności przy sporządzaniu wykresów; 16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych. II. Mechanika. Uczeń: 6) wyznacza położenie, wartość prędkości, wartość przyspieszenia i drogę w ruchu jednostajnym i jednostajnie zmiennym na podstawie danych zawartych w postaci tabel i wykresów.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	Uczeń: 1. przeprowadzi wirtualny eksperyment, w którym zmierzy drogę przebywaną przez odważnik aż do zatrzymania się oraz czas, po jakim się on zatrzymuje; 2. określi graniczne niepewności pomiarowe mierzonych wielkości; 3. zmierzy, w pomiarze pośrednim, wartość opóźnienia oraz początkowej prędkości odważnika; 4. wyznaczy standardowe niepewności pomiaru tych wielkości; 5. oceni zgodność uzyskanych przez siebie wartości opóźnienia oraz początkowej prędkości z wartościami przyjętymi w wirtualnym eksperymencie; 6. przeanalizuje wyniki pomiaru czasu zatrzymania się odważnika, uzyskane ręcznymi stoperami przez różne osoby i porówna rozrzut tych wyników z rozdzielczością użytych stoperów; 7. wyrazi opinię o celowości – z punktu widzenia fizyki – produkowania stoperów do ręcznego pomiaru czasu o zadanej rozdzielczości.
Strategie nauczania:	strategia odwróconej klasy z elementami nauczania hybrydowego
Metody nauczania:	praca uczniów pod kierunkiem nauczyciela, wspólna praca całego zespołu klasowego
Formy zajęć:	dyskusja, pomiar i wspólna analiza jego wyników

Środki dydaktyczne:	1. (do demonstracji zestawu doświadczalnego) ławka uczniowska, usytuowana w sposób umożliwiający jej obejrzenie przez wszystkich uczniów; taśma miernicza o długości co najmniej takiej, jak ławka; odważnik (np. stu- lub dwustugramowy) lub inny temu podobny obiekt; kilka stoperów o jednakowej rozdzielczości (można przyjąć, że uczniowie dysponują takowymi w swych telefonach i że ich rozdzielczość to 0,01 s) 2. klasowy zestaw komputer + rzutnik; zapewni to dostęp do arkusza kalkulacyjnego który, w miarę potrzeb, pozwoli uruchomić którekolwiek z multimediiów 3. arkusz kalkulacyjny zostaje przed lekcją zaprogramowany przez nauczyciela, by po wprowadzeniu wyników serii kilku-kilkunastu pomiarów czasu, przedstawił: histogram wyników (w binach o szerokości 0,1 s, z możliwością regulacji szerokości); średnią wartość serii; jej odchylenie standardowe; niepewność obliczonej wartości średniej
Materiały pomocnicze:	niniejszy e-materiał; e-materiały „Dyskusja wyników i formułowanie wniosków z prowadzonego eksperymentu.” (fragmenty dobrane pod kątem omawianej problematyki) oraz „Niepewność wielkości mierzonej pośrednio”; krótkie instrukcje dla uczniów, wspomagające wykonanie projektów zadanych w ramach pracy domowej (szczegóły w części „praca domowa”)
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Na poprzedniej lekcji nauczyciel podzielił uczniów na 2-3 osobowe grupy i zlecił zapoznanie się z e-materiałem, przeprowadzenie wirtualnego pomiaru przyspieszenia i początkowej prędkości; dla każdej grupy wskazał inny „numer stolika” (patrz opis wirtualnego laboratorium). Zlecił także pisemne przygotowanie wyników pomiaru zgodnie ze wzorcem zaproponowanym w części „Sprawdź się”. Na lekcji nauczyciel prosi uczniów o zgłoszenie tych etapów postępowania, w których napotkali na trudności. Zachęca pozostałych uczniów do komentowania zgłoszonych problemów oraz do proponowania pomocy przy ich rozwiązywaniu. Ewentualnie nauczyciel sam wyjaśnia problem.	
Faza realizacyjna:	

Uczniowie zbierają się wokół zestawu doświadczalnego. Przygotowują stopery do pomiaru czasu ruchu odważnika po ławce szkolnej. Wyznaczon(-a/-y) ucze(-nnica/-ń) ustawia odważnik na jednym brzegu ławki i popycha go w kierunku drugiego brzegu. Pozostali uczniowie włączają w tym momencie swoje stopery. Po zatrzymaniu odważnika, stopery zostają wyłączone.

Nauczyciel prosi uczniów, by kolejno podawali zmierzony przez siebie czas trwania ruchu i wprowadza wyniki do arkusza kalkulacyjnego.

Po wprowadzeniu danych, nauczyciel pokazuje histogram wyników i prosi uczniów o jego skomentowanie.

W kolejnych etapach dyskusji, nauczyciel ujawnia wartość średnią serii, odchylenie standardowe serii oraz niepewność (standardową) średniej. Prosi uczniów o porównanie tej ostatniej wartości z niepewnością graniczną każdego wyniku z osobna oraz o wskazanie przyczyn, które mogły wywołać obserwowany efekt.

Faza podsumowująca:

Nauczyciel podsumowuje lekcję stwierdzeniem, że ręczny pomiar czasu wprowadza nieunikniony błąd związany z ludzkim refleksem. Ze względu na swój statystyczny charakter (każdy człowiek ma inny refleks, inne cechy motoryczne), błąd ten jest kwalifikowany jako przypadkowy. Jego skutkiem jest znaczące powiększenie niepewności standardowej pomiaru w porównaniu z wartością wynikającą wyłącznie z rozdzielczości 0,01 s (lub lepszej), typowo dostępnej we współczesnych stoperach cyfrowych. Nauczyciel prosi uczniów o skomentowanie, z punktu widzenia fizyki, celowości produkowania stoperów o rozdzielczościach: 0,1 s; 0,01 s i 0,001 s do ręcznego pomiaru czasu.

Praca domowa:

Nauczyciel proponuje uczniom wykonanie, w grupach 2-4 osobowych, jednego z trzech projektów.

1. Dokonanie (analogicznego, jak w e-materiale) pomiaru parametrów ruchu tzw. kamienia, puszczanego po lodzie w zawodach curlingowych. Uczniowie siedzą na trybunach lub oglądają transmisję z takich zawodów. Wyszukują informacje o rozmiarach kamienia, o rozmiarach toru, po którym ślizga się kamień; o oznaczeniach na tym torze. Planują sposób pomiaru czasu ruchu kamienia od chwili jego puszczenia do chwili zatrzymania (bez zderzenia z innym kamieniem). Planują także sposób pomiaru drogi przebytej przez kamień. Wynikiem projektu jest, prócz wartości początkowej prędkości i przyspieszenia, także opis podobieństw i różnic w badanych ruchach: realnego kamienia curlingowego i wirtualnego odważnika.
2. Nagranie filmu, na którym przedstawiony byłby ruch obiektu po poziomej powierzchni i dokonanie analizy tego filmu za pomocą programu dedykowanego do wideopomiarów. Uczniowie samodzielnie uruchamiają taki program, zapoznają się z jego możliwościami i dostępnymi opcjami. Wynikiem projektu, prócz zmierzonych v_0 oraz a , powinny być wykresy zależności położenia od czasu oraz prędkości od czasu obiektu; oba wykresy powinny być odpowiednio skomentowane.
3. Przedstawienie pomysłu i wykonanie wirtualnego eksperymentu, którego celem byłoby zbadanie, czy ruch obiektu ślizgającego się po poziomej powierzchni jest jednostajnie opóźniony; opracowanie wyników takiego eksperymentu. (Taki charakter ruchu został przyjęty dla potrzeb analizy pomiaru wirtualnego, ale założenie to nie zostało zweryfikowane.) Wynikiem projektu jest nie tylko opracowanie, przedstawienie i zastosowanie metody weryfikacji charakteru ruchu obiektu. Jest także przedstawienie rozstrzygnięcia oraz jego odniesienie do kinematycznego opisu ruchu.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące
różne
zastosowania
danego
multimedium**

Wirtualny pomiar można przeprowadzić w klasie jako ilustrację podczas lekcji poświęconej ruchowi ciała pod wpływem hamującej siły tarcia kinetycznego.