

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA
ĆWICZENIA LABORATORYJNE Z FIZYKI ..1..

prowadząc(a/y) ..**dr inż. Konrad ZUBKO..**

grupa ..**WAT00XF1S1..** podgrupa **..1.** zespół **..7.** semestr **zimowy** / letni roku akademickiego **..1999/2000..**

student(ka) ..**Hrodebert EKSPERYMENTATOR..**

SPRAWOZDANIE Z PRACY LABORATORYJNEJ nr ..0.1..

nr zgodnie ze skryptem

..RUCH W POLU GRAWITACYJNYM..****

temat zgodnie ze skryptem

pomiary wykonano dnia **..13.03.2000..** jako ćwiczenie **..1..** z obowiązujących **..5..**

OCENA ZA TEORIĘ	4,5 (DB+)			
<i>data</i>	13.03.2000			
Podejście (ostateczny termin oddania pracy)	1 (USOS-1, zasadnicze, następne zajęcia)	2 (USOS-1, poprawkowe, tydzień przed sesją zasadniczej)	3 (USOS-2, poprawkowe, przed końcem sesji)	4 (USOS-3 poprawkowe, przed początkiem semestru)
OCENA KOŃCOWA	...w trakcie oceny...			
<i>data</i>	20.03.2000			
Główne uwagi: 1. Karta tytułowa: a) kto b) do kogo c) w jakiej sprawie	2. Istota ćwiczenia: a) cele b) wielkości mierzone c) metody pomiaru d) metody opracowania e) krótko o zjawisku	3. Pomiary: a) wstępne b) zasadnicze c) szacow. niepewności d) parametry stanowiska e) zapis wartości	4. Opracowanie: a) bilans jednostek b) wyznaczone wartości c) ich niepewności, w tym złożone d) zaokrąglenia e) wykresy	5. Podsumowanie: Zestawienie zaokrąglenia, jednostki Analiza Synteza

W normalnym sprawozdaniu to jest strona A4 w układzie pionowym, bez kolumny uwag.

Uwagi do sprawozdania: **Rozwijające,**

Ważne, Krytyczne. Dużo uwag Ważnych może być Krytyczne dla sprawozdania.

Przy ocenie za teorię DST

(zajęcia w sali),

opracowaniu tylko podstawowych celów

ćwiczenia w podstawowym zakresie,

bez rażących błędów,

można otrzymać ocenę końcową DST.

Sposobami na uzyskanie lepszej oceny

końcowej jest:

- uzyskanie lepszej oceny

za teorię ćwiczenia,

- pełniejsze opracowanie posiadanych

danych doświadczalnych i ich

pełniejsza dyskusja,

- wykonanie większej ilości pomiarów

(np. celów dodatkowych) oraz ich

Opracowanie i Podsumowanie.

2. OPIS TEORETYCZNY (ISTOTA ĆWICZENIA) nr 0.1

2.1 Cele podstawowe ćwiczenia:

- I. wyznaczenie lokalnej wartości przyspieszenia grawitacyjnego z pomiarów czasu spadku piłki kauczukowej z ustalonej wysokości;
- II. ustalenie jak ilość pomiarów wpływa na niepewność wartości wyznaczanej wielkości;

Cele dodatkowe ćwiczenia (fakultatywne):

- III. wyznaczenie lokalnej wartości przyspieszenia grawitacyjnego z pomiarów czasu spadku piłki innej niż kauczukowa z ustalonej wysokości;
- IV. wyznaczenie lokalnej wartości przyspieszenia grawitacyjnego z pomiarów czasu spadku piłki z różnych wysokości.

2.2 Metody pomiaru, wyznaczania niepewności:

Wysokość spadku swobodnego H wyznaczana jest metodą **bezpośredniego odczytu** (odchyleniową).

Wartość wielkości mierzonej określona jest na podstawie wskazania linijki.

Niepewność pojedynczego pomiaru wykonywanego tą metodą zależy głównie od niepewności maksymalnej (określanej **metodą typu B**) wynikającej z wartości działki jednostkowej (1 mm).

Czas spadku swobodnego T wyznaczana jest metodą **bezpośredniego odczytu** (odchyleniową).

Wartość wielkości mierzonej określona jest na podstawie wskazania stopera ręcznego (odchylenia wskazówki lub wskazania cyfrowego narzędzia pomiarowego),

Niepewność pojedynczego pomiaru wykonywanego tą metodą zależy głównie od czasu reakcji fizjologicznych eksperymentatora (określanej **metodą typu B**) i jest znacznie większa niż wartość działki jednostkowej urządzenia (0,01 s). Niepewność serii pomiarów określamy **metodą typu A**.

Masa piłki podana jest jako stała stanowiska bez niepewności gdyż na etapie formułowania wytycznych dla studentów ustalono, że jej wartość nie ma znaczącego wpływu na niepewność wyznaczanego przyspieszenia.

Objętość Opisu Teoretycznego nie powinna przekraczać 2 stron formatu A4.

To nie jest miejsce do powielania opisu ze skryptu. Chodzi o zapisanie przemyśleń co i jak ma być robione. Można zamieścić szkic.

Ustalamy:

- metodę wykonania pomiarów (bezpośrednia / pośrednia - jaka?)
- metodę ustalenia niepewności (A / B)
- metodę opracowania pomiarów

Wyznaczane jest lokalne przyspieszenie grawitacyjne ze wzoru $g = \frac{2H}{T^2} \frac{m}{s^2}$ (1)

gdzie:

H - wysokość spadku swobodnego [m],

T - czas spadku swobodnego [s].

Jego niepewność standardowa wyznaczana jest jako niepewność złożona zależna od:

- niepewności maksymalnej pojedynczego pomiaru,
- oraz niepewności związanej z ilością pomiarów w serii.

Obliczenia prowadzone będą w arkuszu kalkulacyjnym lub kalkulatorze a następnie przenoszone odręcznie do sprawozdania. Arkusz zaokrągla metodą 0-4/5-9, zaokrąglanie ręczne prowadzone jest metodą w dół (odrzućcie kolejne cyfry).

2.3 Inne informacje

Tu można przedstawić inne informacje, które osoba ćwicząca uznają za istotne.

*Rozdzielanie Opisu Teoretycznego
od Pomiarów*

pozwala na lepsze zrozumienie

zależności pomiędzy

teorią (przyjętym modelem)

a praktyką (wykonanymi pomiarami).

3. KARTA POMIARÓW DO ĆWICZENIA nr 0.1

Hrodebert EKSPERYMENTATOR, WAT00XF1S1

3.1 Wartości teoretyczne wielkości wyznaczanych lub określanych:

- przyspieszenie ziemskie dla Warszawy $g_{\text{teoret}} = 9,81225 \text{ m/s}^2$ (wg GUM, bez uwzględnienia niepewności).

3.2 Parametry stanowiska:

- masa piłki kauczukowej $m_k = 200 \text{ g}$, bez uwzględnienia niepewności (w celu uproszczenia Opracowania)

3.3 Pomiary wstępne i zasadnicze oraz uwagi do nich:

3.3.1 Jednokrotny pomiar wysokości spadku swobodnego piłki za pomocą linijki z podziałką milimetrową przymocowanej do ściany:

$H = 20,010 \text{ m}$ z dokładnością przyjętą jako niepewność maksymalna pojedynczego pomiaru $\Delta H = 0,002 \text{ m}$.

3.3.2 Tabela pomiarów czasu spadku swobodnego piłki.

Numer próby	Czas spadku T_i [s]	UWAGI:
4	1,57	Kilkukrotne szybkiego włączenie i wyłączenie stopera pozwoliło określić, że czynności te zajmują maksymalnie do 0,15 s. Na podstawie osądu eksperymentatora (metoda B) jako dokładność przyjęto niepewność maksymalną $\Delta T = 0,20 \text{ s}$. Po wykonaniu serii pomiarów 10 pomiar nr 1 uznano za obarczony błędem grubym gdyż znacząco odbiegał od pozostałych. Odrzucono go i wykonano nowy pomiar nr 1.
2	2,09	
3	1,97	
4	2,03	
5	1,98	
6	2,02	
7	1,99	
8	2,01	
9	2,00	
10	2,00	
1	1,91	

Wykonanie od razu 12 pomiarów jest dobrą praktyką. Jeżeli nie ma błędów grubych to skrajne odrzucamy i wyciągamy średnia z 10 pomiarów. Jeżeli zauważamy błąd gruby na etapie Opracowania to go odrzucamy, jak i jeden skrajny „dobry” wynik. Wciąż łatwo liczyć średnią z 10 pomiarów.

Nie należy jednak tak postępować w zagadnieniach nowych.

3.3.3 Uwagi eksperymentatora:

Ustalanie momentu upadku „na odgłos uderzenia” gdy obserwator jest około 20 m wyżej powoduje, że dźwięk dociera do nas z opóźnieniem co powoduje błąd systematyczny pomiaru - wydłużenie zapisywanego czasu pomiaru.

3.4 Data i podpis osoby prowadzącej

13.03.2000

Konrad Zubko

4. OPRACOWANIE ĆWICZENIA nr 0.1

4.1 Ustalenie jak ilość pomiarów wpływa na niepewność pomiaru czasu (cel 2)

4.1.1 Wyznaczenie wartości średnich i niepewności standardowych z pomiaru czasu

Podczas pomiarów przyjęto niepewność maksymalną pojedynczego pomiaru $\Delta T = 0,20$ s.

Zakładam, że rozkład statystyczny tych wyników ma charakter jednorodny, a wtedy niepewność standardowa:

$$u(\bar{T}) = \frac{\Delta T}{\sqrt{3}} [s]$$

$$u(\bar{T}) = \frac{0,20}{\sqrt{3}} = 0,11547 [s]$$

Wyznaczono, dla kolejnych zestawów wyników, wartości średnie

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i [s]$$

ich niepewności standardowe

$$u(\bar{T}) = \sigma_{\bar{T}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{(n-1) n}} [s]$$

oraz niepewność złożoną

$$u_c(\bar{T}) = \sqrt{\sigma_{\bar{T}}^2 + \frac{(\Delta \bar{T})^2}{3}} [s]$$

a wartości przedstawiono w Tab. 4.1.1 oraz na Rys.1.

- (2) *Lepiej tu nie zaokrąślać do 2 cyfr znaczących metodą A (czyli 0,13)*
- (2.a) *bo ta wartość będzie jeszcze potrzebna do obliczeń. Zapisujemy to co widzimy w polu odczytu (ekranie).*
- (3) *Bilans jednostek jest tu oczywisty, wszystkie pomiary prowadzono i zapisano w sekundach.*

- (4) *Ustalamy udział niepewności związanych z długością serii pomiarowej oraz*
- (5) *użyтым narzędziem.*

Rozsądniej jest tu przyjąć

$\Delta T = (0,20 \text{ s} / 10)$ gdyż niepewność

narzędzia pomiarowego rozkłada się na

serię 10 pomiarów.

Użyto punktów pomiarowych z 3.3.2 numer	Wartość średnia z (2) [s]	Niepewność standardowa z (4) [s]	Niepewność złożona z (5) [s]
1 i 2	2,00	0,13	0,18
1 i 2, 3 i 4	2,00	0,08	0,15
1 i 2, 3 i 4, 5 i 6	2,00	0,06	0,14
1 i 2, 3 i 4, 5 i 6, 7 i 8	2,00	0,05	0,14
1 i 2, 3 i 4, 5 i 6, 7 i 8, 9 i 10	2,00	0,05	0,14
każdy pojedynczy pomiar ($\Delta T = 0,20$ s)	xxx	0,13	xxx

Tab. 4.1.1 Wartości średnie i ich niepewności standardowe bezwzględne

Ujęcie punktów pomiarowych parami skrajnych wartości (minimum i maksimum) pozwalało uzyskać maksymalną wartość niepewności standardowej. Jak widać w analizowanym przypadku:

- a) zwiększanie ilości pomiarów w serii obniża niepewność pomiaru,
- b) dominuje niepewność pojedynczego pomiaru,
- c) przypadkowo w każdym analizowanym zestawie danych uzyskujemy tą samą wartość średnią 2 sekundy.

Stąd **spostrzegam (1)**, że

wykonanie pojedynczego pomiaru lub użycie wartości z dwóch skrajnych pomiarów nie ma wpływu na wartość niepewności wyniku końcowego,

Takie rozbudowane spostrzeżenia mogą pojawić się w treści ale lepiej zawrzeć je w Analizie lub Wnioskach. Można też z podsumowania odwoływać się do odpowiednich punktów Opracowania.

W przypadku dysponowania dokładniejszy narzędziem pomiarowym
(lub gdy osoba mierzająca ma lepszy refleks) możliwa jest sytuacja w której:

- przy małej ilości pomiarów w serii dominuje niepewność związania z ilością powtórzeń,
- przy dużej ilości pomiarów w serii dominuje niepewność związania z niepewnością pojedynczego pomiaru.

Uważam, że z tego powodu warto przed wykonaniem pomiarów ustalić optymalną liczbę powtórzeń w serii w oparciu o przewidywaną wartość niepewności złożonej.

Przy wykonywaniu pomiarów zauważono, że popełniono błąd systematyczny zawyżający czas spadku, a w efekcie obniżający wartość wyznaczanego przyspieszenia – wzór (1).

Nie dokonano tu jednak korekty pomiarów gdyż ćwiczący nie potrafili określić czasu reakcji na odgłos uderzenia przy wyłączaniu stopera.

Ponadto na etapie opracowania ćwiczenia zauważono, że zastosowano do obliczeń model spadku swobodnego, gdy w rzeczywistości występowały opory ruchu. Ten sposób opracowania ćwiczenia spowoduje, że wyznaczone przyspieszenie grawitacyjne będzie niższe od rzeczywistego.

W efekcie w ćwiczeniu **spostrzeżono (2)**, że dwa czynniki powodujące systematyczne zaniżanie wartości wyznaczanego przyspieszenia grawitacyjnego, których wkład jest jednak trudny do oszacowania dla ćwiczących.

Wykres 1 na następnej stronie

powinien być wykonany odręcznie na papierze milimetrowym A4

(zajęcia prowadzone w sali)

Brakuje na nim:

- zaznaczenia punktów pomiarowych ●

Poprawnie przedstawiono:

- tytuł wykresu

- opis wielkości na osiach z ich jednostkami

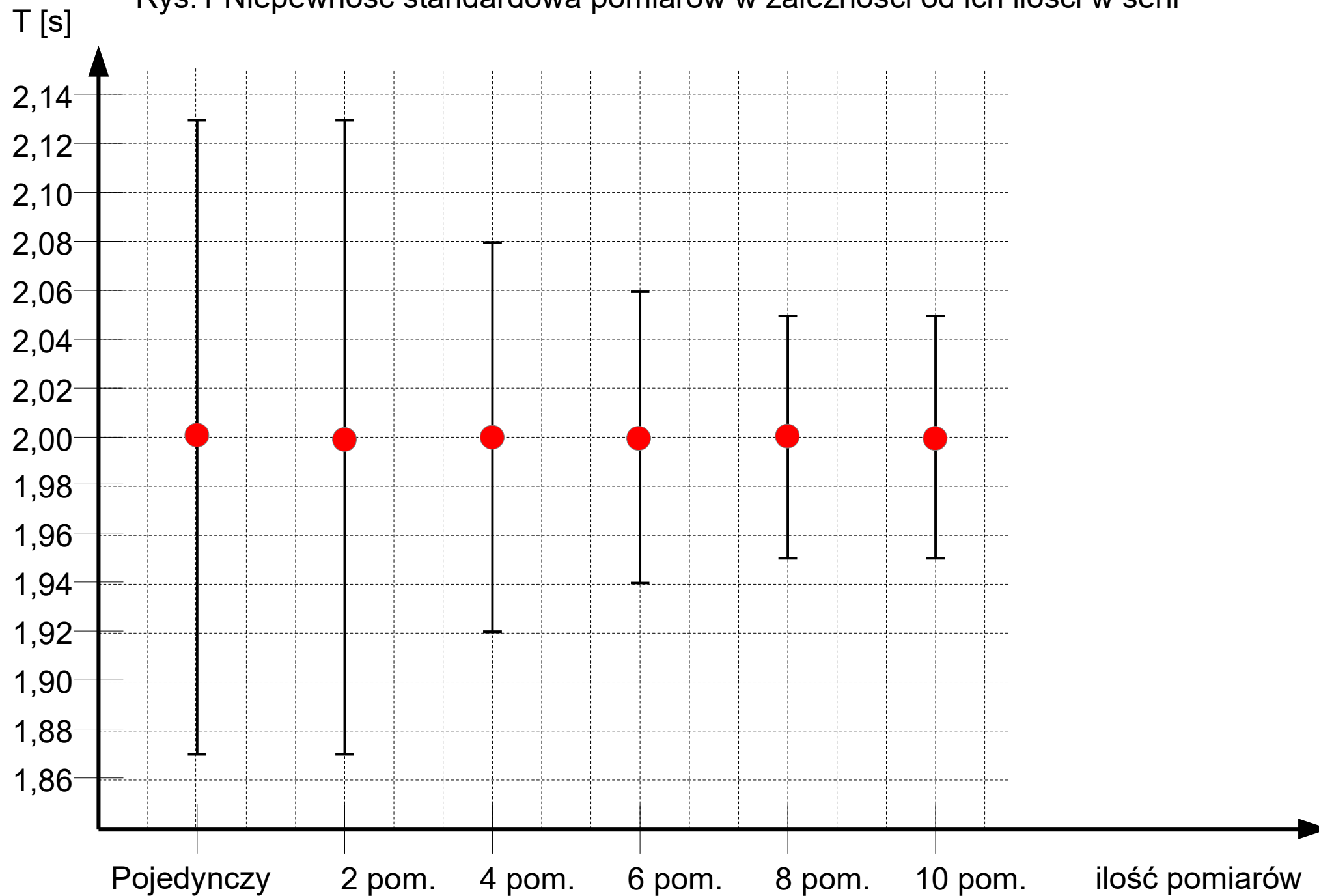
- wartości na osiach, w tym stały format wartości x,xx

- niepewności pomiarowe

Na tym wykresie aproksymacja nie jest potrzebna.

Przy bardziej złożonych wykresach dobrze jest umieścić pod nim opis by nie wydłużać tytułu.

Rys.1 Niepewność standardowa pomiarów w zależności od ich ilości w serii



4.2 Wyznaczenie czasu spadku piłki traktowanego jako spadek swobodny (cel 1)

4.2.1 Wyznaczenie średniego czasu spadku piłki

Na podstawie wyników z Tab. 4.4.1 wartość średnią czasu spadku piłki z 10 prób:

$$\bar{T} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} T_i = 2,00 \text{ [s]} \quad (6)$$

Forma zapisu zapewnia, że dokładności zapisu pomiaru i wyniku są tego samego rzędu.

4.2.2 Wyznaczenie niepewności standardowej czasu spadku piłki

Na podstawie wyników z Tab. 4.4.1 niepewność maksymalna serii 10 pomiarów wyznaczona metodą typu A:

$$u(\bar{T}) = \sigma_{\bar{T}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (T_i - \bar{T})^2}{(10-1) \cdot 10}} = 0,01453 \text{ [s]} \quad (7)$$

4.2.3 Wyznaczenie niepewności złożonej czasu spadku piłki

Na podstawie wyników z Tab. 4.4.1 niepewność złożona:

$$u_c(\bar{T}) = \sqrt{\sigma_{\bar{T}}^2 + \frac{(\Delta \bar{T})^2}{3}} = \sqrt{(0,014)^2 + (0,138)^2} = 0,130751 \approx 0,13 \text{ [s]} \quad (8)$$

To zaokrąglenie zapewnia przedstawienie niepewności za pomocą 2 cyfr znaczących i jest jednocześnie tak dokładne jak pojedynczy pomiar.

Spostrzegam (3),

że do niepewności złożonej największy wkład miała niepewność drugiego czynnika czyli ręcznego pomiaru czasu.

Tu wartości pod pierwiastkiem zostały zaokrąglone do minimum 2 cyfry znaczących a reszta odrzucona. W niepewności złożonej widoczny jest wkład jej składników.

4.1.3 Wyznaczenie niepewności rozszerzonej czasu spadku piłki

Niepewność rozszerzona wynosi

$$U(\bar{T}) = k \cdot u_c(\bar{T}) \quad [s] \quad (9)$$

gdzie współczynnik rozszerzenia w metodzie A wynosi $k=2$,

$$U(\bar{T}) = 2 \cdot 0,13 = 0,26 \quad [s] \quad (9.a)$$

Badam czy seria pomiarowa wykazuje powtarzalność wyników

$$|T_{\max} - T_{\min}| < U(\bar{T}) \quad (10)$$

gdyż $|2,09 - 1,91| = 0,18 \quad [s]$ jest mniejsze od $U(\bar{T}) = 0,26 \quad [s]$.

Spostrzegam (4),

że badana seria pomiarowa wykazuje powtarzalność wyników, gdyż spełniona jest relacja (10).

Jest dobre skupienie wokół wartości średniej. Raczej popełniono tylko małe błędy przypadkowe.

Można stosować inne, dokładniejsze metody oceny skupienia serii pomiarowej.

4.1.4 Wyznaczenie niepewności względnej czasu spadku piłki

$$u_{c,r}(\bar{T}) = \frac{u_c(\bar{T})}{\bar{T}} \quad \frac{[s]}{[s]} = [1] \quad (11)$$

podstawiając zaokrąglone wartości mamy

$$u_{c,r}(\bar{T}) = \frac{0,13}{2,00} = 0,065 \quad (11.a)$$

której to wartości nie trzeba już zaokrąglać, gdyż wyrażona jest dokładnie przez 2 miejsca znaczące.

Pierwszy raz jawnie wykonano bilans (rachunek) jednostek.

Do bilansu jednostek używamy takich jednostek jakie mamy przy danych a nie np. takich jakie jak wynikają z teorii zjawiska.

4.3 Wyznaczenie wartości lokalnego przyspieszenia grawitacyjnego (cel 1)

Związek pomiędzy czasem (T) i wysokością spadku swobodnego (H) a przyspieszeniem grawitacyjnym:

$$g = \frac{2H}{T^2} \quad \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad (12)$$

po uwzględnieniu 3.3.1 i (6) otrzymujemy

$$g = \frac{2 \cdot 20,01}{2,00^2} = 10,005 \quad \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad (12.a)$$

której to wartości nie trzeba już zaokrąślać, gdyż wyrażona jest dokładnie przez 2 miejsca znaczące.

4.3.1 Wyznaczenie niepewności standardowej złożonej bezwzględnej przyspieszenia grawitacyjnego

$$u_c(g) = \sqrt{\left[\frac{\partial g}{\partial H} u(H) \right]^2 + \left[\frac{\partial g}{\partial T} u(T) \right]^2} = \sqrt{\left[\frac{2}{T^2} u(H) \right]^2 + \left[-\frac{2H}{2T^3} u(T) \right]^2} \quad (13)$$

przeprowadzę bilans jednostek

$$\sqrt{\left[\frac{1}{s^2} m \right]^2 + \left[-\frac{m}{s^3} s \right]^2} = \sqrt{\left[\frac{m}{s^2} \right]^2 + \left[\frac{m}{s^2} \right]^2} = \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad (13.a)$$

wyznaczam wartość

$$\begin{aligned} u_c(g) &= \sqrt{\left[\frac{2}{2,00^2} 0,001 \right]^2 + \left[\frac{20,01}{2,00^3} 0,13 \right]^2} = \sqrt{[0,5 \cdot 0,001]^2 + [2,50125 \cdot 0,13]^2} = \\ &= \sqrt{0,0005 + 0,3251625} = 0,570668467676285 \quad \left[\frac{m}{s^2} \right] \end{aligned} \quad (13.b)$$

Symbole użyte we wzorze są opisane słowami linijkę wyżej. Bilans jednostek zgodny z jednostkami danych.

Ponadto w całym Sprawozdaniu symbole są używane w tym samym znaczeniu, a wzór (1) jest taki jak wzór (12).

Ostatnia linijka (13.b) zawiera błędy rachunkowe, które wymagają poprawienia całego sprawozdania.

Ta forma zapisu pozwala od razu zobaczyć które wyrażenie z niepewności złożonej wnosi najwięcej do jej wartości.

Spostrzegam (5),

że większy wpływ na niepewność złożoną ma drugi czynnik związany z ręcznym pomiarem czasu spadku.

Po zaokrągleniu do 2 miejsc znaczących $u_c(g) = 0,57 \left[\frac{m}{s^2} \right]$,

a wtedy zaokrąglenie z (12.a) przyjmie postać $g = 10,00 \left[\frac{m}{s^2} \right]$.

4.3.2 Niepewność złożona względna przyspieszenia grawitacyjnego wynosi

$$u_{c,r}(g) = \frac{u_c(g)}{g} \quad (14)$$

podstawiając zaokrąglone wartości mamy

$$u_{c,r}(g) = \frac{0,57}{10,00} = 0,057 \quad (14.a)$$

której to wartości nie trzeba już zaokrąglać, gdyż wyrażona jest dokładnie przez 2 miejsca znaczące.

4.3.3 Niepewność rozszerzona przyspieszenia grawitacyjnego wynosi

$$U(g) = k \cdot u_c(g) \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

gdzie współczynnik rozszerzenia w metodzie A wynosi $k=2$,

$$U(g) = 2 \cdot 0,57 = 1,14 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

W analizowanym przypadku nierówność

$$|g - g_{tablica}| < U(g) \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$\text{prowadzi do } |10,00 - 9,81| = 0,19 \left[\frac{m}{s^2} \right] \text{ co jest mniejsze niż } 1,14 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Spostrzegam (6),

że zachodzi zgodności wyznaczonej wartości przyspieszenia z wartością tabelaryczną (teoretyczną, odniesienia).

Wyznaczając daną wielkość liczymy:

- wartość średnią
- jej niepewności standardową

stąd wyznaczamy niepewności:

- względną
- rozszerzoną

a czasami sprawdzamy też:

- rozrzut wyników.

Tak postępujemy z każdą wielkością

wyznaczaną w opracowaniu

w kolejności przyczynowo-skutkowej

(możemy używać tylko tych wartości,

które znamy na danym etapie:

stałe, parametry stanowiska,

wielkości wcześniej obliczone).

W Karcie Pomiarów jest g_{teoret} a tu $g_{tablica}$.

5. PODSUMOWANIE ĆWICZENIA nr 0.1

5.1 Zestawienie wartości

Tabela wielkości i ich wartości związanych z realizacją celu 1

Wielkość	wartość	jednostka
a) teoretyczne przyspieszenie grawitacyjne dla Warszawy	9,81225	m s^{-2}
b) wyznaczone średnie przyspieszenie grawitacyjne	10,00	m s^{-2}
c) jego niepewność standardowa złożona	0,57	m s^{-2}
d) jego niepewność rozszerzona	1,14	m s^{-2}
e) jego niepewność względna	0,057	[1]

oraz Rys. 1 związany z realizacją celu 2.

5.2 Analiza (ocena rezultatów)

5.2.1 Wpływ wielkości mierzonych lub parametrów stanowiska na niepewność wyniku końcowego.

W punkcie 4.3.1 opracowania (wzór 13.b) widać, że największy wpływ na niepewność złożoną ma niepewność bezpośredniego pomiaru czasu z użyciem stopera ręcznego.

Idąc do Tab. 4.1.1 lub (8) widzimy, że w ramach tej niepewności większy wkład wnosi niepewność pojedynczego pomiaru niż niepewność serii 10 pomiarów.

5.2.2 Wpływ rodzaju popełnianych błędów (Grubych, Przypadkowych, Systematycznych) na wartość niepewności względnej.

W zestawieniu wartości w punkcie e) widać, że niepewność względna jest mniejsza od wartości 0,12 czyli 12%.

W przypadku wykonania 10-ciu pomiarów stanowi to, że popełniono małe błędy przypadkowe a wpływ błędów grubych na wynik końcowy nie jest znaczący.

Wartości przedstawiono zgodnie z metodą A tak by niepewność standardowa miała 2 cyfry znaczące a zapis innych wielkości kończył się na tym miejscu na którym kończy niepewność standardowa.

„Odstępstwo” od ustalonej dokładności dotyczy:

- wartości teoretycznej (była podana bardziej dokładna)
- niepewności względnej (jako jedyna jest zawsze bezwymiarowa).

Jeżeli zestawiamy kilka wartości, które można porównywać wtedy najmniej dokładna z musi mieć 2 cyfry znaczące w niepewnościach: std. oraz względnej, ale ostatnia cyfra w zapisie musi być na tej samej pozycji dziesiętnej.

5.2.3 Relacji wartości wyznaczonej, teoretycznej i przedziału (wartość wyznaczona +/- niepewność rozszerzona) pod kątem rodzaju popełnianych błędów (G, P, S).

W zestawieniu wartości w punktach b), d), a) widać, że przedział (wartość wyznaczona +/- niepewność rozszerzona) zawiera wartość odniesienia, czyli wpływ błędów systematycznych na wynik końcowy nie jest znaczący.

5.2.4 Relacji rozrzutu wartości wyznaczonych i niepewności rozszerzonej pod kątem rodzaju popełnianych błędów (G, P, S).

Rozrzut serii pomiarów czasu badany był w punkcie 4.1.3. Wykazano, że badana seria pomiarowa wykazuje powtarzalność wyników.

Pomiar wysokości spadku wykonany był tylko raz ale z małą niepewnością względną oraz z małym udziałem w niepewności złożonej (13).

Uznaję, że wpływ błędów grubych lub przypadkowych na wynik końcowy nie jest znaczący.

5.2.5 Analiza rodzaju popełnianych błędów (G, P, S) na wykresie.

Na Wyk.1 widać malejącą wartość niepewności złożonej wraz z uwzględnianiem kolejnych skrajnych par pomiarów. Zrealizowano tym cel 2 ćwiczenia.

Stała tendencja pokazuje, że nie popełniono w pomiarach błędów grubych.

Układ wartości średnich (bardzo bliskie sobie) wskazuje że wpływ błędów systematycznych na wynik końcowy nie jest znaczący.

Błędy przypadkowe są zawsze obecne w pomiarach. W tym przypadku dominują związane z użytym narzędziem pomiarowy.

Podsumowanie to zawsze:

- Zestawienie tych wartości, których za chwilę użyjemy

- Analiza wartości z Zestawienia w poszukiwaniu rodzajów popełnionych błędów (Grubych, Systematycznych, Przypadkowych)

- Synteza, w której z drobnych spostrzeżeń z Analizy oraz Opracowania (jeżeli są) ustalmy rodzaje popełnionych błędów by ustalić ich przyczynę, by je wyeliminować.

Schemat ten można rozbudować.

5.3 Synteza (wnioski)

5.3.1 Wpływ popełnionych błędów (G, P, S) na wyniki

Z 5.2.2 – 5.2.4 oraz ze spostrzeżeń (1-6) z Opracowania należy przyjąć, że:

- nie popełniono błędów grubych,
- popełniono małe błędy przypadkowe,
- popełniono małe błędy systematyczne.

Spostrzeżenia o błędach systematycznych z 4.1.1, które obniżają wartość wyniku (zbyt długie czasy pomiaru oraz brak uwzględnienia oporów ruchu) nie tłumaczą uzyskanej wartości przyspieszenia grawitacyjnego, które przewyższa wartość odniesienia. Popełniono więc inne błędy, prawdopodobnie systematyczne, które podniosły wartość wyznaczanej wielkości.

5.3.2 Uwagi na temat możliwości dokładniejszego wykonania i opracowania ćwiczenia w przyszłości (niedoskonałości wynikają z działań eksperymentatora, przyrządów pomiarowych, metod pomiarowych, mierzonych obiektów):

Zwiększanie ilości pomiarów z użyciem stopera ręcznego nie podniesie znacząco dokładności pomiarów, tylko wydłuży ich czas wykonania oraz czas opracowania. W niepewności złożonej zależnej od ilości pomiarów oraz niepewności pojedynczego pomiaru dominuje ta ostatnia. Ma też większy wpływ od niepewności pomiaru wysokości. Celem podniesienia dokładności pomiarów przyspieszenia grawitacyjnego należy wyeliminować udział eksperymentatora z pomiaru czasu i zastąpić go pomiarem automatycznym o mniejszej niepewności.

5.3.3 Osiągnięcie celów ćwiczenia:

Cele ćwiczenia:

- wyznaczenie lokalnej wartości przyspieszenia grawitacyjnego z pomiarów czasu spadku piłki kauczukowej z ustalonej wysokości;
 - ustalenie jak ilość pomiarów wpływa na niepewność wartości wyznaczanej wielkości;
- zostały osiągnięte gdyż uzyskano wyniki obarczone akceptowalną niepewnością i wskazano przyczyny ich powstania.

Jeżeli celem jest

wykonanie charakterystyki wtedy:

- Zestawienie to wykres

(w Opracowaniu) najczęściej

z niepewnościami pomiarowymi i krzywą aproksymującą

- Analiza to też poszukiwaniu rodzajów popełnionych błędów (Grubych, Systematycznych, Przypadkowych) ale na wykresie

- Synteza, jej podstawowy schemat pozostaje bez zmian (jak obok).

Jeżeli celem jest

potwierdzenie zależności (np. $a+b=c$)

wtedy:

- Zestawienie to tabela mierzonych wielkości (a,b,c) oraz wyznaczonej $a+b-c$ lub $(a+b)/c$ wraz z niepewnościami.