

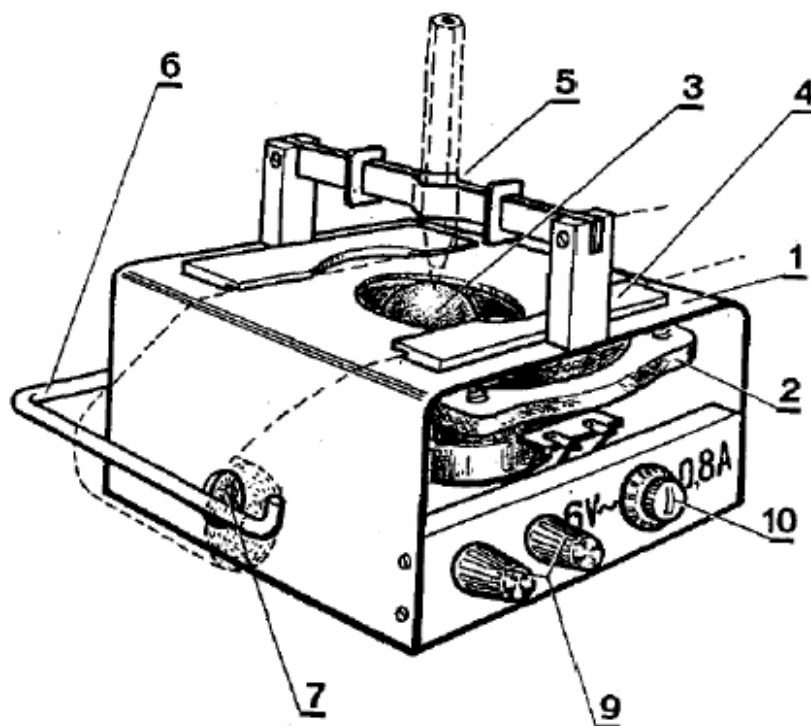
CHRONOGRAF GŁOŚNIKOWY

1. PRZEZNACZENIE

Chronograf jest to urządzenie elektroniczne służące do graficznego odwzorowania wielkości fizycznych związanych z ruchem, takich jak droga, czas, prędkość i przyspieszenie. Znajduje więc bezpośrednie zastosowanie we wszystkich doświadczeniach z kinematyki ruchu, jak również w doświadczeniach z dynamiki, która wiąże ruch z wywołującymi go siłami. Istnieje cały szereg różnych wykonania chronografów. Wraz z dodatkowym wyposażeniem, umożliwiają one wykonywanie szerokiej gamy doświadczeń.

2. BUDOWA CHRONOGRAFU

Chronograf głośnikowy przedstawiony jest na rys. 1.



Rys.1

2.1. Części składowe chronografu

1. Korpus
2. Głośnik
3. Element drgający
4. Prowadnica taśmy papierowej
5. Mechanizm mocowania pisaka
6. Wieszak rolki papieru
7. Otwory dla mocowania na statywie
8. Śruby mocujące (niewidoczne na rys.)
9. Zaciski laboratoryjne
10. Bezpiecznik

Całość urządzenia zamontowana jest na metalowym korpusie (1), uformowanym na kształt litery C. Pod spodem płaszczyzny poziomej korpusu przymocowany jest głośnik elektrodynamiczny (2). Do membrany głośnika przymocowany jest element drgający (3) – piłeczka ping-

pongowa. Korpus na swej płaszczyźnie poziomej posiada otwór, z którego wystaje element drgający. Na płaszczyźnie poziomej korpusu zamontowany jest mechanizm mocowania pisaka (5) umożliwiający umocowanie pisaka oraz regulację jego odstępów od elementu drgającego.

Papier przeznaczony do rejestracji bądź zobrazowania wyników doświadczenia, prowadzony jest między pisakiem i elementem drgającym w przewodnicach taśmy papierowej (4). Rozstaw obu przewodnic może być regulowany, co umożliwia stosowanie taśmy papierowej o szerokości od 10 do 60 mm. Rolka taśmy papierowej jest podwieszona na wieszaku rolki papieru (6). Na ściankach bocznych korpusu znajdują się otwory (7) oraz śruby mocujące (8) do mocowania chronografu na statywie.

Obie ścianki boczne połączone są między sobą listwami z materiału izolacyjnego. Na jednej z tych listew zamocowane są zaciski laboratoryjne – do podłączenia napięcia zasilającego głośnik, oraz bezpiecznik – zabezpieczający głośnik przed przeciążeniem.

3. OPIS DOŚWIADCZENIA PRZYKŁADOWEGO

3.1. Przygotowanie wstępne chronografu do doświadczenia

Przygotowanie wstępne polega na:

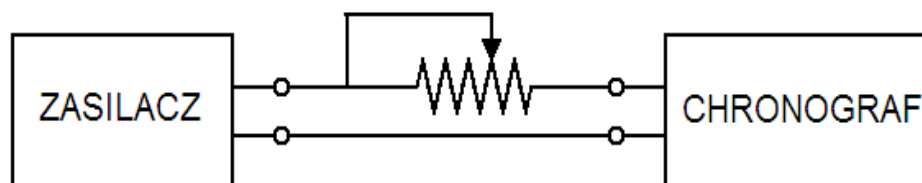
1. założeniu na wieszak dysponowanej rolki papieru
2. regulacji rozstawu przewodnic w zależności od szerokości taśmy papierowej.
3. ustawieniu na zaciskach wyjściowych zasilacza napięcia wyjściowego w granicach 2 – 6 V (pomiar zwykłym dostępnym woltomierzem napięcia zmiennego bądź miernikiem uniwersalnym)
4. wprowadzeniu taśmy papierowej w przewodnice

Uwaga! W przypadku korzystania z transformatora dzwonekowego bądź transformatora szkolnego produkcji FPN Nysa nie jest konieczne używanie miernika napięcia – oba wymienione transformatory zaopatrzone są w opisy wartości napięć wyjściowych na poszczególnych wyjściach.

Po dokonaniu tych czynności, należy wyregulować położenie pisaka nad taśmą w ten sposób by posuwając taśmę otrzymać wyraźne ślady punktów na papierze powstających pod wpływem wibracji elementu drgającego.

Dalsze dodatkowe czynności przygotowawcze będą już uzależnione od rodzaju doświadczenia, jakie zamierza się przeprowadzić przy użyciu chronografu.

Uwaga! Jeżeli nie dysponujemy zasilaczem o odpowiednio niskim napięciu wyjściowym można do zasilania chronografu użyć zasilacza o większym napięciu wyjściowym oraz opornicy suwakowej włączonej wg schematu jak na rys. 2.



Rys.2

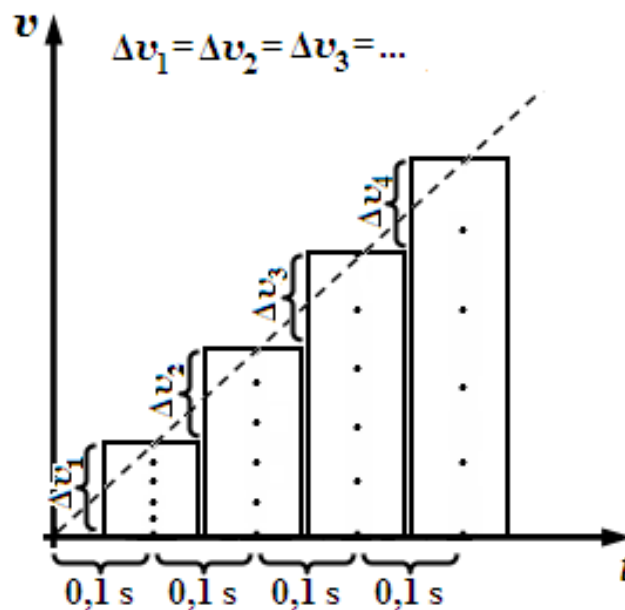
Dobrać opornicę o takiej wartości oporności i tak ustawić położenie suwaka, by napięcie mierzone na zaciskach chronografu nie przekraczało 6 V.

3.2. Sposoby opracowywania wyników

3.2.1. Opracowanie graficzne przez naklejenie pociętej taśmy

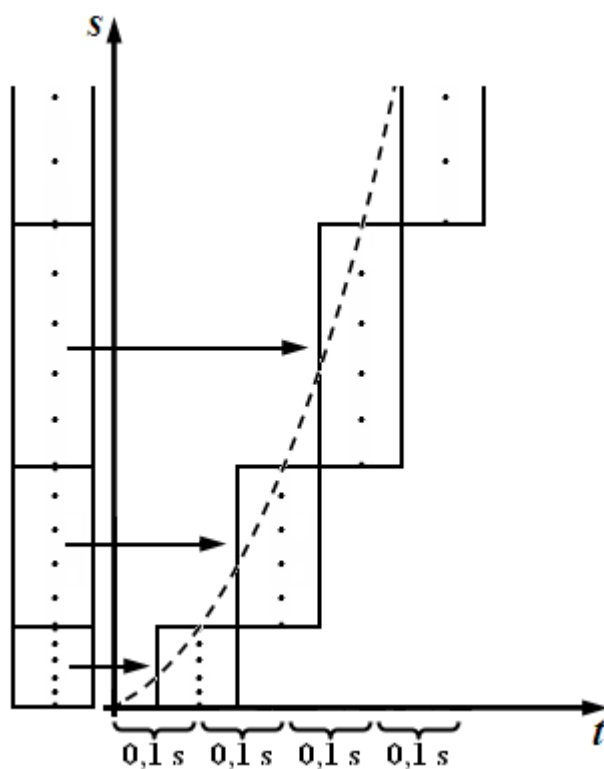
Wprowadzenie pojęcia prędkości średniej, chwilowej, przyspieszenia, a także praca z wykresami przedstawiającymi zależność $s(t)$, $v(t)$ i $a(t)$ w tradycyjnym ujęciu sprawiają wiele trudności. Użycie chronografu może bardzo pomóc, ale dokonywanie wielu pomiarów na taśmie, obliczanie prędkości i przyspieszenia dla „wykonania wykresów” jest pracochłonne i może dla ucznia być nudne. Dlatego warto się zapoznać z metodą cięcia taśmy z chronografu i wklejaniu jej w odpowiedni sposób w zeszyte.

Taśmę, na której punkty oznaczają położenie ciała, tnę się nożyczkami na odcinki np. po 0,1 s. (jeżeli chronograf jest zasilany napięciem o częstotliwości 50 Hz, to odstęp między kolejnymi punktami oznacza różnicę czasu 0,02 s). Jeżeli chronograf zaznaczył punkty co 0,02 s, odlicza się po pięć elementarnych odcinków czasowych, a następnie w sposób pokazany na rys. 3 nakleja się te odcinki w kolejności na papier.



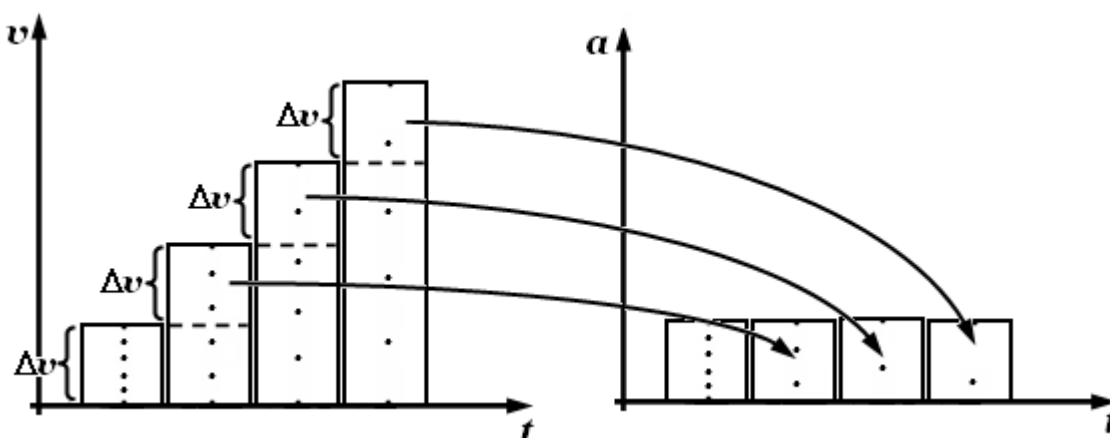
Rys.3

Wysokość każdego z naklejonych pasków to droga przebyta przez ciało w ciągu 0,1 s. Wysokości przedstawiają sobą prędkości średnie. Ponieważ paski mają tę samą szerokość, powstały „wykres” można uważać z dobrym przybliżeniem (przy dużej ilości pasków) za wykres $v(t)$. Na rys. 3 widać, że sąsiednie paski różnią się o tę samą długość. „Wykres” informuje, że co 0,1 s prędkość wzrasta o tę samą wielkość. Takie same są więc przyrosty prędkości w jednakowych odstępach czasu. Jest to więc wykres ruchu jednostajnie przyspieszonego. Taki wykres otrzymamy np. przy badaniu spadku swobodnego lub ruchu po równi pochyłej. Stosując tę samą metodę można otrzymać zależność $s(t)$. Taśmę tnę się tak samo jak poprzednio. Sposób naklejania pasków przedstawia rys. 4.



Rys.4

Z wykresu $v(t)$ można otrzymać wykres $a(t)$ przez odcięcie z każdego z pasków „przyrostów prędkości” i naklejenie tych końcówek jak na rys. 5. Oczywiście w idealnym przypadku „przyrosty prędkości” winny być stałe, tzn. na wykresie $a(t)$ powinny tworzyć linię prostą równoległą do osi czasu, czyli kolejny dowód, że mamy do czynienia z ruchem jednostajnie przyspieszonym gdzie $a(t) = \text{const}$.



Rys.5

3.2.2. Niektóre sposoby odczytywania przyspieszenia i prędkości z taśmy

W ruchu zmiennym prędkości zbliżone do chwilowych wyznacza się przez pomiar odległości między dwoma kropkami i podzielenie tej odległości przez czas trwania okresu prądu zasilającego chronograf (dla $f=50\text{ Hz}$; $T=0,02\text{ s}$; dla $f=100\text{ Hz}$; $T=0,01\text{ s}$).

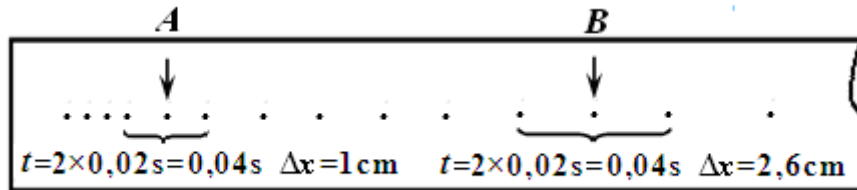
Jeżeli odległości są zbyt małe i pomiar ich w warunkach szkolnych mógłby być obarczony zbyt dużym błędem, można zmierzyć odległość kilku odcinków i tę większą odległość podzielić przez odpowiednio większy czas.

Jeżeli z analizy wykresu (np. na rys. 5) wynika, że mamy do czynienia z ruchem jednostajnie przyspieszonym – spadek swobodny lub ruch wózka po równi pochyłej – to wyznaczenie prędkości średnich na pewnych odcinkach takiego ruchu jest równoznaczne z wyznaczeniem prędkości chwilowych w środkach tych odcinków czasowych. Dla wyznaczenia prędkości chwilowej w danym punkcie, mierzy się na taśmie długość jednakowej ilości odcinków po obu stronach tego punktu, a następnie dzieli się tę odległość przez czas, odpowiadający sumie tych odcinków.

Przykład:

Wózek zjeżdża po równi. Chronograf znaczy punkty co 0,02 s.

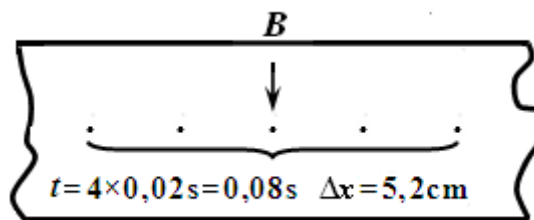
a) Obliczanie prędkości chwilowych w punktach A i B.



$$v_A = \frac{1 \text{ cm}}{0,04 \text{ s}} = 25 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$v_B = \frac{2,6 \text{ cm}}{0,04 \text{ s}} = 65 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

b) Obliczanie prędkości chwilowej w punkcie B



$$v_B = \frac{5,2 \text{ cm}}{0,08 \text{ s}} = 65 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \quad (\text{ten sam wynik!})$$

Wyznaczenie przyspieszenia średniego między punktami A i B nie stanowi trudności, jeżeli zna się prędkości chwilowe w punktach A i B. Wystarczy policzyć, ile jest odstępów czasowych po 0,02 s między tymi punktami, wyliczyć przyrost prędkości i podzielić go przez czas, w którym ten przyrost nastąpił.

$$\Delta v = v_B - v_A = 65 \frac{\text{cm}}{\text{s}} - 25 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 40 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$f = 7 \times 0,02 \text{ s} = 0,14 \text{ s}$$

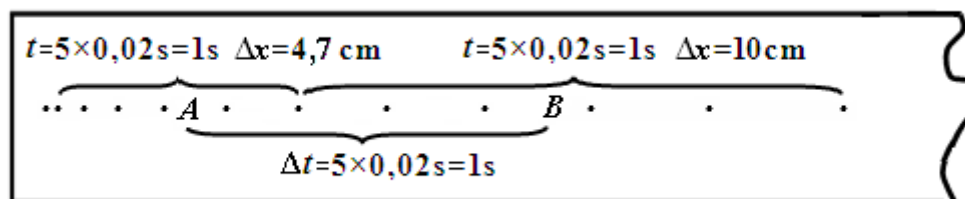
$$a_{\text{sr}} = \frac{\Delta v}{f} = \frac{40 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{0,14 \text{ s}} = 285,714285 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

$$a_{\text{sr}} \approx 285,714 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

Aby przekonać się o stałości przyspieszenia, można na taśmie wyznaczyć jeszcze kilka innych prędkości np. w punktach C, D, E, itd., a następnie wyznaczyć przyspieszenie w obszarach między tymi punktami. Tą metodą można badać dowolny ruch zmienny z tym zastrzeżeniem, że prędkości w wybranych punktach będą jedynie zbliżone do prędkości chwilowych. Zbliżenie będzie tym lepsze, im mniejsze przedziały otaczające punkt weźmie

się do ich wyznaczenia. Przy bardzo małych przedziałach wyznaczone przyspieszenia będą prawie przyspieszeniami średnimi. W ruchu jednostajnie zmiennym wszystkie przyspieszenia między punktami A , B , C , D będą sobie równe. W takim ruchu, dla większej dokładności pomiarów, warto wyznaczać przyspieszenia między punktami daleko oddalonymi od siebie, a do wyznaczania prędkości powinno się przyjmować dalsze otoczenia tych punktów.

Jeżeli zauważy się, że w ruchu jednostajnie zmiennym, do wyznaczenia prędkości chwilowej w wybranym punkcie, można przyjąć dowolnie duży przedział otaczający ten punkt, to dla wygody obliczeń warto wziąć przedział czasowy równy $0,1$ s czyli 5 odcinków czasowych. Dla ułatwienia obliczeń, korzystne jest takie dobieranie punktów, dla których wyznacza się prędkości chwilowe, aby odległość czasowa między tymi punktami wynosiła również $0,1$ s.



$$v_A = \frac{4,7 \text{ cm}}{0,1 \text{ s}} = 47 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \qquad v_B = \frac{10 \text{ cm}}{0,1 \text{ s}} = 100 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$a_{\text{sr}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{100 \frac{\text{cm}}{\text{s}} - 47 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{0,1 \text{ s}} = \frac{53 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{0,1 \text{ s}} = 530 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

$$a_{\text{sr}} = 5,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Tych wszystkich obliczeń nie musi się wykonywać. Wystarczy, po zmierzeniu linijką odcinków, odjąć ich długości od siebie, aby otrzymać liczbę, która jest równa przyspieszeniu w m/s^2 w badanym obszarze.

$$SB - SA = 10 \text{ cm} - 4,7 \text{ cm} = 5,3 \text{ cm}$$

Przyspieszenie wynosi więc $5,3 \text{ m/s}^2$.

Należy pamiętać, że odcinki mierzone na taśmie muszą się łączyć i muszą być przebywane przez ciało w ciągu $0,1$ s każdy. Tę uproszczoną metodę warto stosować wtedy, gdy kinematyka jest już dobrze opanowana. Metoda ta może służyć do szybkiego wyznaczania przyspieszeń.

3.3. Doświadczenie

3.3.1. Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego

Przyrządy:

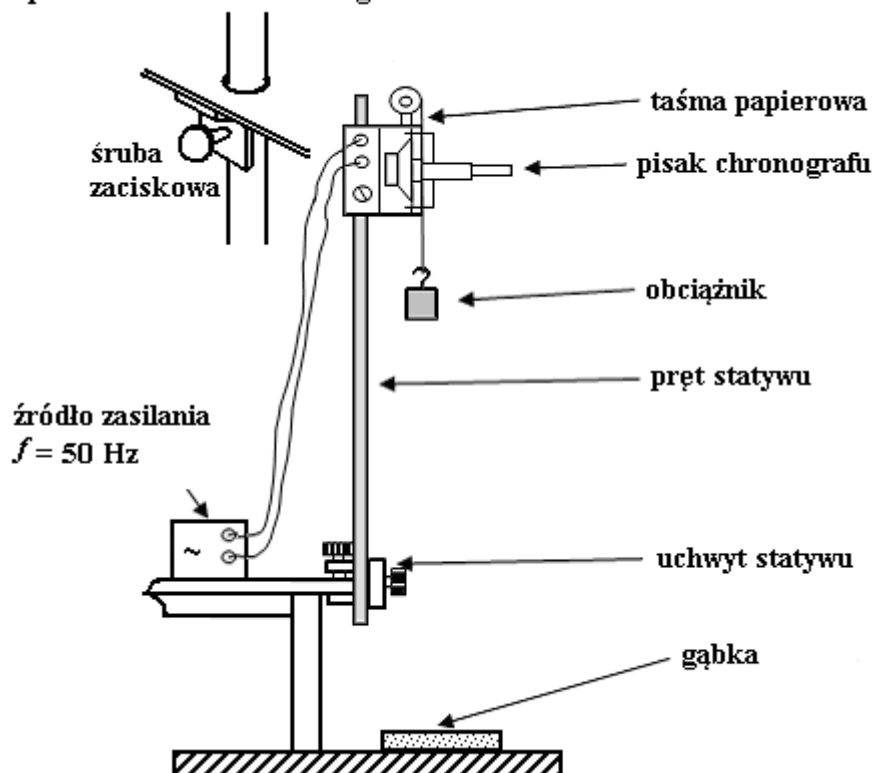
chronograf, źródło zasilania, statyw przykręcony do stołu, pręt metalowy o długości 1 m, obciążnik o masie $0,5 - 1$ kg, taśma papierowa o szerokości $30 - 60$ mm, długości około $1,5$ m, spinacze biurowe, gąbka, pisak chronografu - najlepiej flamaster lub miękki ołówek.

Wykonanie:

1. Układ zestawia się jak na rys. 6.
2. Taśmę papierową o długości około $1,5$ m nawijamy luźno na gilzę preszpanową lub jej podobną i nakładamy na wieszak rolki papieru, po czym koniec taśmy papierowej wprowadzamy w uprzednio dopasowane do szerokości taśmy, prowadnice taśmy papierowej. Następnie podłączamy przewodami zasilającymi chronograf ze źródłem zasilania, po

uprzednim doborze napięcia zasilającego w zależności od rodzaju zasilacza, jakim dysponujemy (p.p. 3.1.) oraz tak regulujemy położenie pisaka nad taśmą papierową, by przy drganiach chronografu otrzymać na taśmie wyraźne punkty.

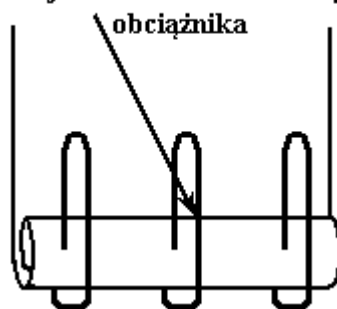
sposób mocowania chronografu



Rys.6

3. Koniec taśmy papierowej zaginamy dwu lub trzykrotnie i zabezpieczamy przed rozwinięciem spinaczami biurowymi, tak jak to pokazano na rys. 7.

miejsce umocowania haczyka



Rys. 7

Środkowy spinacz powinien być dokładnie usytuowany w połowie szerokości taśmy.

Uwaga! Do zabezpieczenia taśmy możemy użyć również klamry do filmu fot. lub klamerki typu bielizniarskiego z silną sprężyną.

- Po takim przygotowaniu końca taśmy bierzemy obciążnik (najlepiej z zawieszeniem haczykowym) wbijamy haczyk obciążnika w miejscu zaznaczonym na rys. 7 i puszczone swobodnie obciążnik.
- Z otrzymanej taśmy nakropkowanej w odstępach czasowych równych 0,02 s, wyznaczamy wartość przyspieszenia ziemskiego np. jedną z metod opisanych w punkcie 3.3.2.

3.3.2. Przykładowe sposoby wyznaczania przyspieszenia ziemskiego

Sposób I

Jeżeli wiemy, że mamy do czynienia z ruchem jednostajnie przyspieszonym (spadek swobodny) to wyznaczanie prędkości średnich na pewnych odcinkach takiego ruchu jest równoznaczne z wyznaczeniem prędkości chwilowych w środkach tych odcinków czasowych. Aby wyznaczyć prędkość chwilową w danym punkcie, mierzy się na taśmie długość jednakowej ilości odcinków po obu stronach tego punktu, a następnie dzieli się tą odległość przez czas, odpowiadający sumie tych odcinków.

Wyznaczenie przyspieszenia średniego między punktami A i B nie stanowi trudności, jeżeli zna się prędkości chwilowe w punktach A i B . Wystarczy policzyć, ile jest odstępów czasowych po $0,02$ s między tymi punktami, wyliczyć przyrost prędkości i podzielić go przez czas, w którym ten przyrost nastąpił (jak w metodzie opisanej w punkcie 3.2.2).

Przykład:

Dane:



Długość odcinka w otoczeniu punktu A : $l_1 = 5,8 \text{ cm} = 0,058 \text{ m}$

Długość odcinka w otoczeniu punktu B : $l_2 = 9,5 \text{ cm} = 0,095 \text{ m}$

Ilość odcinków w otoczeniu punktów A i B : $n = 2$

Czas między kolejnymi kropkami: $t_0 = 0,02 \text{ s}$

Ilość odstępów czasowych po $0,02$ s między punktami A i B : $k = 5$

Szukane:

Przyspieszenie ziemskie – g

Obliczenia:

Prędkość chwilowa w punkcie A :

$$v_A = \frac{0,058 \text{ m}}{0,04 \text{ s}} = 1,45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Prędkość chwilowa w punkcie B :

$$v_B = \frac{0,095 \text{ m}}{0,04 \text{ s}} = 2,375 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta v = v_B - v_A = 2,375 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 1,45 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,925 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Zatem przyspieszenie wynosi:

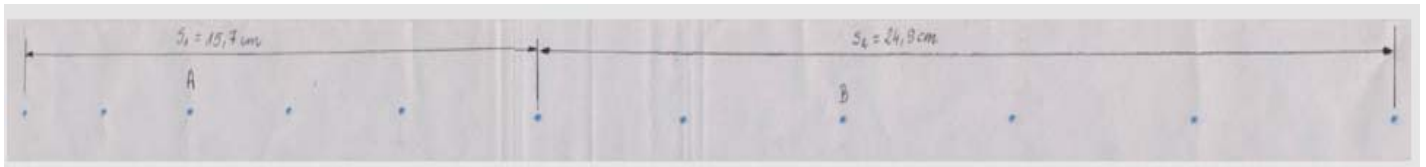
$$g = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0,925 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \cdot 0,02 \text{ s}} = 9,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Sposób II

Jeżeli zauważy się, że w ruchu jednostajnie zmiennym, do wyznaczenia prędkości chwilowej w wybranym punkcie, można przyjąć dowolnie duży przedział otaczający ten punkt, to dla wygody obliczeń warto wziąć przedział czasowy równy $0,1$ s czyli 5 odcinków czasowych. Dla ułatwienia obliczeń, korzystne jest także dobieranie punktów, dla których wyznacza się prędkości chwilowe, aby odległość czasowa między tymi punktami wynosiła również $0,1$ s (jak w metodzie opisanej w punkcie 3.2.2).

Przykład:

Dane:

Długość odcinka s_1 : $s_1 = 15,7 \text{ cm} = 0,157 \text{ m}$ Długość odcinka s_2 : $s_2 = 24,9 \text{ cm} = 0,249 \text{ m}$ Ilość odcinków w otoczeniu punktów A i B: $n = 5$ Czas między kolejnymi kropkami: $t_0 = 0,02 \text{ s}$ Ilość odstępów czasowych po 0,02 s między punktami A i B: $k = 5$

Szukane:

Przyspieszenie ziemskie – g

Obliczenia:

Prędkość chwilowa w punkcie A:

$$v_A = \frac{0,157 \text{ m}}{0,1 \text{ s}} = 1,57 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Prędkość chwilowa w punkcie B:

$$v_B = \frac{0,249 \text{ m}}{0,1 \text{ s}} = 2,49 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta v = v_B - v_A = 2,49 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 1,57 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,92 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Zatem przyspieszenie wynosi:

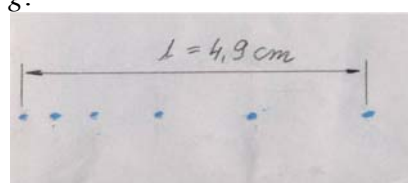
$$g = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0,92 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5 \cdot 0,02 \text{ s}} = 9,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Sposób IIIZnacznie szybciej przyspieszenie wyznaczymy, mierząc długość taśmy l dla wybranej liczby kropek n .Korzystamy ze wzoru: $l = gt^2/2$

przy czym

$$t = n \cdot t_0$$

gdzie

 t_0 – czas między kolejnymi kropkami.**Przykład:**Dane: Odległość między pierwszą a piątą kropką: $l = 4,9 \text{ cm} = 0,049 \text{ m}$. Ilość kropek: $n = 5$.Czas między kolejnymi kropkami: $t_0 = 0,02 \text{ s}$. Czas spadania obciążnika: $t = n \cdot t_0$ Szukane: Przyspieszenie ziemskie – g .

Obliczenia: $l = gt^2/2$.

Po przekształceniach mamy:

$$g = \frac{2 \cdot l}{t^2}$$

$$g = \frac{2 \cdot l}{(n \cdot t_0)^2}$$

Po podstawieniu otrzymamy:

$$g = \frac{2 \cdot 0,049 \text{ m}}{(5 \cdot 0,02 \text{ s})^2}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

3.3.3. Uwaga do opisanych metod wyznaczania przyspieszenia ziemskiego

Opisane metody obarczone są systematycznym błędem spowodowanym siłą tarcia, z jaką pisak chronografu działa na taśmę. Tarcie spowalnia ruch ciężarka i w konsekwencji jego przyspieszenie jest mniejsze niż g . Poza tym występuje też opór powietrza, który również spowalnia ruch ciężarka. Im dłuższy fragment paska, tym droga, którą przebył w tym czasie ciężarek była dłuższa, co wiąże się ze zwiększonymi oporami. Powoduje to, że dokładniejsze wyniki otrzymujemy na krótszych odcinkach.

4. WSKAZÓWKI EKSPLOATACYJNE

Jeżeli na taśmie zamiast kropek otrzymamy ciągle linie, oznacza to, że koniec pisaka jest za blisko taśmy papierowej. Jeżeli brakuje punktów, bądź nie występują wcale, oznacza to, że koniec pisaka jest zbyt oddalony od taśmy papierowej. Należy ponownie wyregulować położenie pisaka i powtórnie sprawdzić działanie chronografu.

Nie wolno przekraczać wartości napięcia zasilającego powyżej 6 V. Zbyt duże napięcie zasilające może spowodować przepalenie bezpiecznika. Używanie wkładek topikowych o wartości nominalnej prądu większej od 0,8 A może spowodować zniszczenie głośnika.

Opracowano w Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego pod kierunkiem *Tadeusza M.Molendy* na podstawie:

Chronograf 123

Produkowano:

BIOFIZ

ZJEDNOCZENIE PRZEMYSŁU POMOCY NAUKOWYCH I ZAOPATRZENIA SZKÓŁ WARSZAWA

Fabryka Pomocy Naukowych w Warszawie

Obecnie jest produkowany w FPN w Nysie

Zestaw wraz z instrukcją został zatwierdzony przez Ministerstwo Oświaty 21.02.1963 roku do użytku szkolnego.

Źródło: ze zbiorów Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego