

WAGA LABORATORYJNA

W wielu dziedzinach nauki i techniki często zachodzi konieczność dokładnego mierzenia różnych wielkości. Jedną z nich jest ciężar. Dokładna waga stała się nieodzownym przyrządem w każdym laboratorium. Powszechnie stosuje się wagi szalkowe. Pomiar takimi wagami wymaga odpowiedniego zestawu odważników. Wynik pomiaru odczytujemy w sposób pośredni sumując ciężary użytych do ważenia odważników, co zabiera trochę czasu.

Równie czasochłonny jest dobór odpowiednich odważników, zwłaszcza przy częstym ważeniu. Prócz tego wagi takie nie są na ogół dostępne dla amatorów. W związku z tym proponujemy budowę wagi laboratoryjnej, na której ważenia dokonuje się bez odważników, a jego wynik odczytuje bezpośrednio na skali. Stosując wymiary zbliżone do podanych w opisie uzyskamy dokładność ważenia około 0,01 grama.

Proponowany przyrząd to tzw. waga skręceń, której działanie oparte jest na wykorzystaniu sprężystości skręcanych materiałów. Wagi skręceń stosowane są od dawna do doświadczeń wymagających wykrycia bardzo małych sił (np. pomiar stałej grawitacji).

W naszej wadze funkcję skręcanego materiału będzie pełnić cienki, sprężysty, stalowy drut o średnicy około 0,2 mm. Można tu z powodzeniem użyć odpowiedniej struny od gitary.

Podstawę wagi stanowi prostokątna płyta o wymiarach około 240 × 360 mm. Do płyty przymocowane są dwa pionowe pręty (1), na których spoczywa cały mechanizm (rys. 1). Górne końce prętów połączone są razem mocno napiętym stalowym drutem (2). Pośrodku drutu zamocowany jest dwoma śruba-

mi (3) metalowy klocek (4). Przez środkowy otwór wywiercony w kločku przechodzi długi pręt (5) pełniący rolę równoważni, można go przesuwając i unieruchamiać śrubą (6). Do zaostrego końca pręta pełniącego rolę wskazówki przymocowana jest szalka (7), którą można przesuwać wzdłuż pręta równoważni i unieruchamiać wkrętem (8). Przez rurkę (9) mocującą szalkę do pręta równoważni przechodzi cienka oś (10), wokół której szalka może się swobodnie obracać. Ważony przedmiot kładziemy na jednej z płytek szalki. Po przeciwnej stronie pręta równoważni znajduje się odpowiedni ciężarek (11), który utrzymuje cały układ w równowadze. Ciężarek ten można przesuwać wzdłuż pręta i unieruchamiać w dowolnym miejscu pokrętelem (12).

Na podstawę wagi możemy użyć płyty z dowolnego materiału (sklejka, tworzywo sztuczne, płyta spilśniiona). W narożnikach podstawy zamocujemy nóżki, które najłatwiej można będzie wykonać ze zwykłych śrub (rys. 2). Dolna nakrętka każdej nóżki może obracać się na gwincie śruby, co umożliwi regulację długości nóżek, a przez to dokładne ustawienie wagi w pozycji poziomej.

Pionowe pręty konstrukcji wykonamy ze stali, według wymiarów przedstawionych na rys. 3. Przymocujemy je do podstawy w odległości 180–200 mm od siebie i około 100 mm od krótszej krawędzi podstawy. W tym celu wywiercimy w płycie dwa otwory o średnicy równej średnicy prętów, pręty przykręcimy do płyty nakrętkami (rys. 4). Jeżeli płyta zrobiona jest ze słabego materiału (płyta spilśniiona, cienka sklejka), to musimy ją wzmocnić przykręcając do niej od spodu drewnianą poprzeczkę razem z prętami. Jest to konieczne dla dobrego naciągnięcia drutu stalowego.

Naciągania drutu dokonamy w dwóch etapach. Najpierw jego jeden koniec przykręcimy do wierzchołka pionowego pręta. Drugi koniec drutu chwycimy szczypcami uniwersalnymi i po silnym

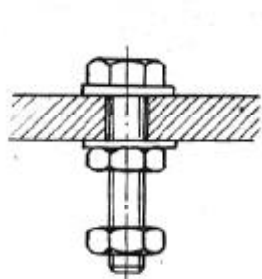
naciągnięciu owiniemy kilkakrotnie na wierzchołku drugiego pionowego pręta, a następnie zamocujemy go. Musimy postarać się, aby pręty sprężyste odchyliły się nieco od pionu, gdyż dzięki temu drut będzie dobrze naciągnięty, nawet w wypadku lekkiego zluźnienia lub wydłużenia. Do mocowania drutu należy zastosować stalowe podkładki i w miarę możliwości nakrętki motylkowe (rys. 5). Dobrze naciągnięty drut przy uderzeniu metalową pałeczką powinien wydawać wysoki dźwięk. Równoważnia wisząca na drucie powinna wywołać tylko małe odkształcenia drutu.

Pręt równoważni zrobimy ze stalowego drutu o średnicy 3–4 mm (rys. 6). Wszystkie elementy szalki należy zrobić z aluminium. Ośka, na której wisi szalka, musi być cienka (1–2 mm), a jednocześnie odpowiednio wytrzymała. W związku z tym najlepiej sporządzić ją z cienkiego, mosiężnego drutu, którego końce łatwo da się rozklepać po złożeniu szalki.

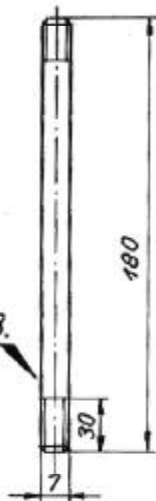
Płytki szalki (rys. 7) można również zrobić z cienkiej blachy aluminiowej lub z tworzywa sztucznego.

Ciężarek (rys. 8) trzeba uciąć z grubego stalowego pręta o średnicy około 16 mm, wywiercić w nim odpowiednie otwory i jeden z nich nagwintować gwintownikiem M4. Elementy szalki połączone są razem za pomocą dwóch prętów (rys. 9) i aluminiowej rurki (rys. 10). W rurce wywiercone są dwa otwory $\varnothing 4$ mm do przełożenia przez nie pręta równoważni, dwa otwory $\varnothing 2$ mm dla osi szalki i gwintowany otwór M4 do zamocowania szalki względem równoważni. Do połączenia równoważni z drutem użyjemy mosiężnego lub aluminiowego klocka (rys. 11).

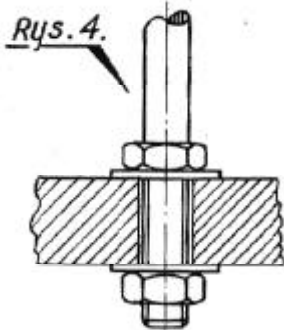
Podziałkę wagi wykonamy z blachy i przykręcimy do podstawy wagi obok zaostrej części pręta równoważni. Na otrzymany w ten sposób wysięgnik nakleimy kawałek brystolu, na którym narysujemy tuszem kreski po wyskalowaniu przyrządu.



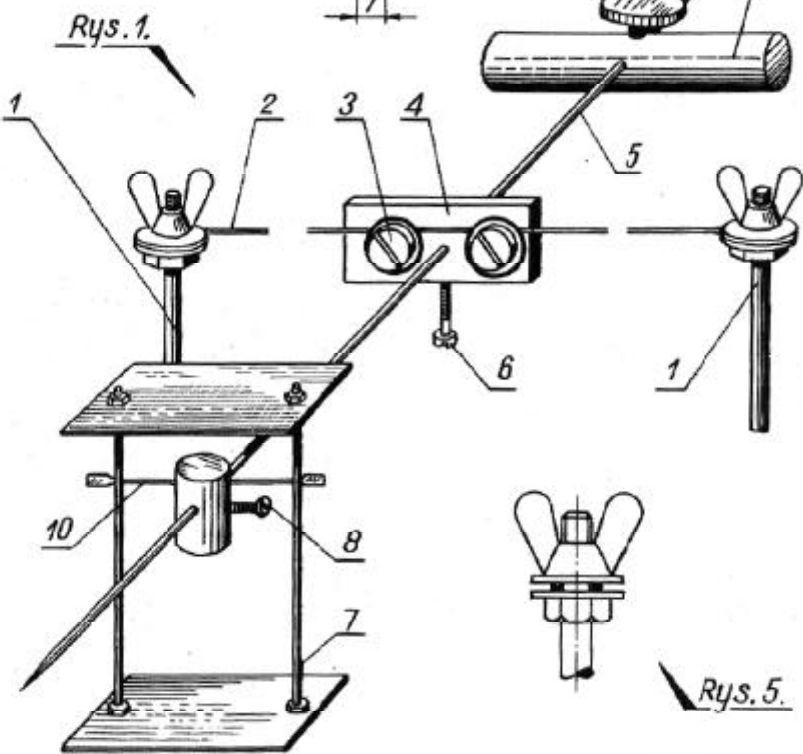
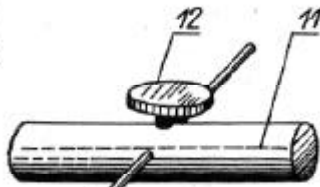
Rys. 2.



Rys. 3.

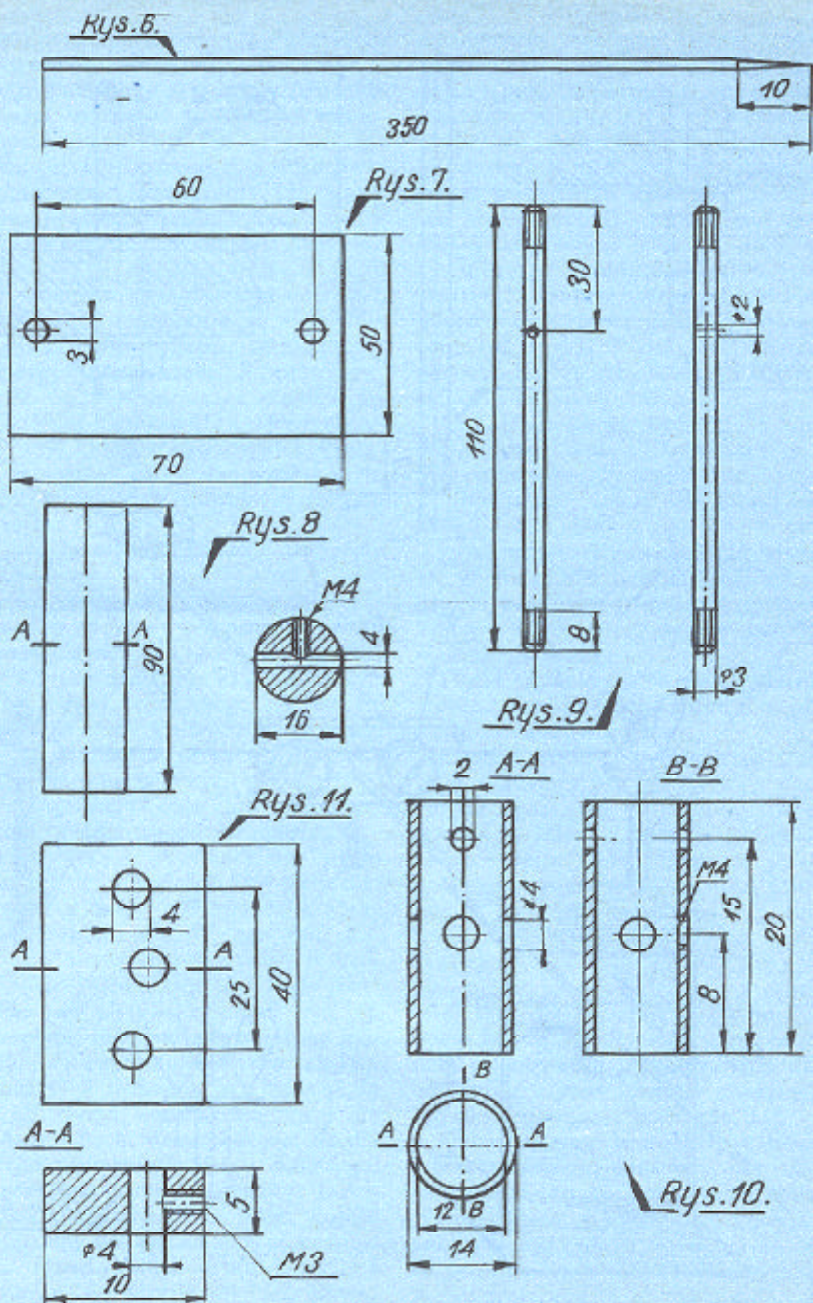


Rys. 4.



Rys. 1.

Rys. 5.



W każdym położeniu szalki na pręcie równoważni istnieje takie położenie ciężarka, przy którym pręt znajduje się w położeniu poziomym. Wystarczy, aby waga dała się zrównoważyć w położeniach największego i najmniejszego oddalenia szalki od napiętego drutu. Regulację przeprowadzimy przesuwając pręt równoważni względem klocka mocującego go do napiętego drutu..

Wagę możemy przystosować do pracy w kilku zakresach. Wykorzystamy przy tym zależność, z której wynika, że kąt skręcenia materiału jest wprost proporcjonalny do przyłożonego momentu siły. W maksymalnym oddaleniu szalki ramię działania siły jest największe. W takim układzie będziemy mogli mierzyć najmniejsze siły, np. do 1 G. W minimalnym oddaleniu szalki ramię jest najkrótsze, a zatem będzie można ważyć ciężary większe (do 50 G). Trzeci zakres ustalimy jako pośredni.

Położenie szalki w poszczególnych zakresach zaznaczymy w dowolny sposób, np. robiąc znak na pręcie równoważni pilnikiem.

Zakresy należy tak dobrać, aby łatwo można było odczytywać wyniki na wspólnej skali. Korzystając z proporcjonalności skręcania łatwo przekonać się, że odpowiedni jest tu następujący rozkład zakresów: szalka w odległości 10 mm, 50 mm i 250 mm od napiętego drutu. Jeżeli na zakresie 10 mm mamy możliwość ważenia do 50 G, to dla pozostałych zakresów uzyskamy odpowiednio 10 i 2 G. Jednakże zależnie od potrzeby możemy ustalić inny niż proponowany, dowolny rozkład zakresów. Z naszych rozważań wynika, że największą dokładność ważenia uzyskamy przy maksymalnym oddaleniu szalki. Jeżeli zastosujemy skalę długości 100 mm i podzielimy ją na 100 działek, to dla zakresu 2 G odchylenie o jedną działkę będzie odpowiadało ciężarowi 1/50 G. W praktyce uzyskamy zakres 1 G, co przy takiej skali odpowiada 0,01 G

przy wychyleniu wskazówki o 1 działkę. Na pozostałych zakresach dokładność ważenia odpowiednio maleje. Skalowanie wagi dokonamy posługując się odważnikami od wagi szalkowej, np. w pracowni szkolnej. Wyskalowanie wagi nie powinno sprawić trudności, należy tylko pamiętać, że jej skala nie jest liniowa, ale zależy od współczynnika sprężystości drutu. Tak więc w miarę wzrostu wychylenia wskazówki do dołu, działki skali będą coraz bardziej zbliżały się do siebie.

Używając wagi zauważymy, że jej równoważnia łatwo wpada w drgania i długo musielibyśmy czekać na zatrzymanie się wskazówki, aby odczytać wynik. Dlatego należy tak wykonać równoważnię, aby stawała możliwie największy opór dla nieruchomego powietrza. W opisanej wadze opór dwóch płytek szalki jest na tyle duży, że po kilku okresach wskazówka stabilizuje się. Dla uzyskania jeszcze lepszych wyników należy zbudować specjalny tłumik powietrzny bezpośrednio sprzężony z prętem równoważni. Można go zrobić z rurki i okrągłej blaszki, która będzie pełniła rolę tłoka.

Chcąc uzyskać większą dokładność pomiaru, możemy spróbować zbudować wagę zastępując drut stalowy szpagatem lub nitką. Cała równoważnia musi być wówczas odpowiednio lżejsza.

Precyzja ważenia jest tym większa, im mniejszą sprężystość ma skręcany materiał użyty do budowy wagi. Dokładność wagi zwiększa się również ze wzrostem długości skręcanego drutu, jak i długości ramienia pręta równoważni.

Na podobnej zasadzie możemy budować wagi do dużych ciężarów (nawet do kilkudziesięciu kG). Należy wówczas stosować krótkie ramiona pręta i krótki drut skręcany. Średnica skręcanego drutu musi być odpowiednio zwiększona. Trzeba również zmienić sposób zawieszenia równoważni na drucie.

Andrzej Ossowski