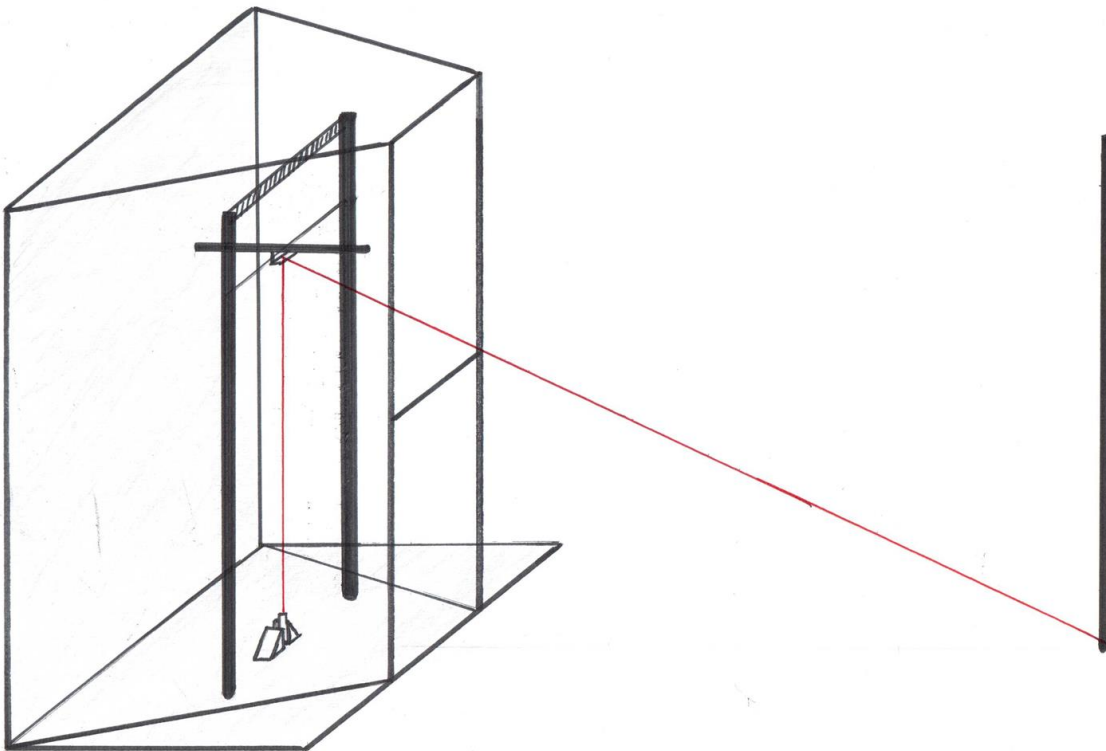


# Waga piórkowa

## Do czego służy waga?

Waga służy do pomiaru masy obiektów w zakresie od 0 do  $20 \cdot 10^{-6}$  kg za pomocą zmiany kąta nachylenia położeń równowagi.

## Budowa wagi

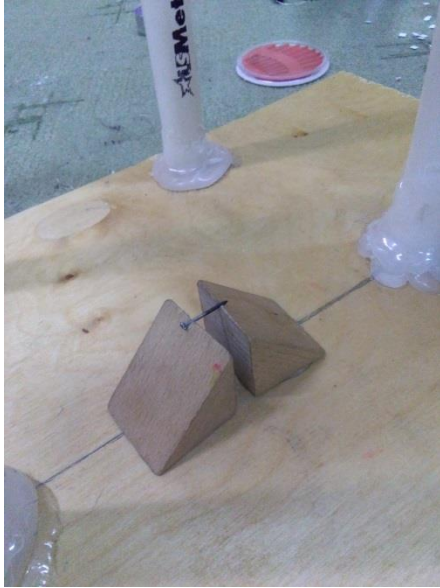


*rys. 1. schemat budowy wagi*

Pierwszym etapem w budowaniu wagi było znalezienie prostego podłużnego przedmiotu o małej masie, która pociągałaby za sobą mały moment bezwładności. Przy tak małej masie jaką posiada piórko i tak małym momencie siły jaki wywiera na ramię wagi musiałyśmy odrzucić kilka, wydawałoby się lekkich, przedmiotów. Nasz wybór padł na słomkę, która jest wykonana z lekkiego tworzywa sztucznego i dodatkowo pusta w środku. Pierwszą reakcją na ciężar piórka można zobaczyć na nagraniu zamieszczonym jako załącznik slu15a1.

Aby osiągnąć jak największą dokładność pomiaru zrezygnowałyśmy z idei równoważni, ponieważ idealny poziom byłby trudny do osiągnięcia oraz zmierzenia. Zdecydowałyśmy się na wykorzystanie zmiany kąta nachylenia słomki do wyjściowego położenia równowagi, a dla jeszcze większej dokładności - użycie małego wskaźnika laserowego, który precyzyjnie wskazywałby nam kąt odchylenia. Napotkałyśmy jednak kolejny problem, którym była zbyt duża masa lasera w stosunku do masy słomki, a także potencjalne trudności przy włączaniu go, jeśli byłby przyczepiony do słomki.

Rozwiązaliśmy go umieszczając laser u podstawy wagi, natomiast do słomki przymocowaliśmy pod kątem (wyznaczonym doświadczalnie dla optymalnej odległości skali od wagi) lusterko, na które pada strumień światła lasera kierując go w wyznaczonym przez nas kierunku - na powierzchnię skali. Laser przymocowaliśmy do podstawy przyklejając do niej dwa drewniane klocki nachylając je w stosunku do siebie pod pewnym kątem, tworząc klin. W ten właśnie klin wsunęliśmy wskaźnik i zablokowaliśmy jego położenie za pomocą małego gwoźdźka (fot.1., fot.2.). Dzięki temu wskaźnik jest stabilny, co minimalizuje ryzyko zmiany kąta, pod którym światło lasera pada na lusterko.

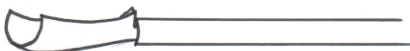


*Fot.1. Klin z klocków*

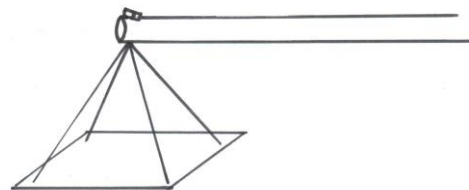


*Fot. 2. Laser w klinie*

Kolejnym problemem do rozwiązania było miejsce umieszczenia odważanych obiektów. W próbach testowych posłużyliśmy się "łyżeczką" (rys.2., fot.3.) jednak przy przybliżonych pomiarach uwidoczniły się różnice w odchyleniu zależne od odległości umieszczenia odważnika, ponieważ powodowało to wydłużenie ramienia do którego przyłożona była siła, a więc zwiększenie momentu siły. Postanowiliśmy zastąpić to czymś, co będzie niwelowało te różnice. Następnym pomysłem z tym związanym była papierowa szalka (rys.3., fot.4.). Dzięki niej przyłożenie siły występuje zawsze w tym samym punkcie słomki, lecz papier okazał się zbyt giętkim materiałem, więc zastąpiliśmy go folią aluminiową (fot.5.), jednocześnie formowalnym i lekkim tworzywem.



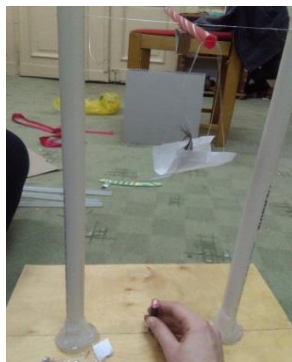
*rys. 2. „łyżeczka”*



*rys. 3. szalka*



Fot. 3. „tyżeczka”



Fot. 4. papierowa szalka



Fot. 5. aluminiowa szalka

Przy kolejnych próbach testowych, kiedy zaczęliśmy badać nie tylko występowanie wychylenia, ale także jego wartość okazało się, że ruchy powietrza uniemożliwiały ustabilizowanie się wagi. To zdeterminowało potrzebę utworzenia osłony. W tym celu użyliśmy folii kuchennej, ponieważ jest materiałem dobrze przylegającym do powierzchni, uszczelniającym, a także przezroczystym na czym nam bardzo zależało. Dodatkowo jest niedroga i nie potrzebowałyśmy żadnych specjalistycznych narzędzi. W miejscu, gdzie światło lasera wydostaje się na zewnątrz wagi zostawiłyśmy małe okienko. Do zabudowania tylnej ściany użyliśmy kartonowej powierzchni, która umożliwia nam dostęp do szalki.

Jako włącznik lasera, pomimo wielu pomysłów na różne mechanizmy, posłużyła nam spinka do włosów typu „żabka” (fot. 6.). Okazała się najprostszym, ale również najskuteczniejszym sposobem na utrzymanie lasera włączonego.

Podsumowując:

- Użycie słomki dla otrzymania jakiegokolwiek wychylenia przy małej masie piórka
- Używanie lekkich materiałów przy dodawaniu kolejnych elementów (tektura, plastikowe lustro, folia aluminiowa) aby nie zwiększać momentu bezwładności całego układu
- Zastosowanie lasera dla badania małych kątów odchylenia
- Ustalenie stałego miejsca przyłożenia siły przez zastosowanie szalki
- Zastosowanie obudowy dla zmniejszenia wpływu ruchów powietrza na pomiary



Fot. 6. włączony laser

## **Działanie wagi**

W celu zważenia piórka:

1. Włączamy laserowy wskaźnik

*Światło lasera padające na skalę wskazuje punkt zerowy, skala znajduje się w odległości 112 cm od krawędzi wagi*

2. Na szalce umieszczamy odważany przedmiot

*Na ramię działa moment siły powodujący zmianę w położeniu równowaznym słomki, następuje jej odchylenie od położenia pierwotnego, zmienia się kąt nachylenia powierzchni lusterka względem lasera, zmienia się kąt padania, więc o tę samą wartość zmienia się kąt odbicia, promień pada na punkt położony nad punktem zerowym.*

3. Zamykamy kartonowe drzwiczki

*Niwelujemy ruchy powietrza.*

4. Czekamy aż punkt światła lasera ustabilizuje się.

*Stabilizacja trwa około 20 sekund.*

5. Odcytujemy wynik na skali

*Wyniki możemy odczytać w kratkach papieru kancelaryjnego, lecz dokładniejszym sposobem na określenie wagi piórka jest odczytanie wysokości punktu lasera w milimetrach i późniejsze ich przeliczenie.*

6. Czynności zawarte w punktach 3., 4. i 5. powtarzamy dowolną ilość razy dla otrzymania określonej ilości wyników

*Im większa ilość pomiarów, tym wynik dokładniejszy*

7. Wyniki w milimetrach wpisujemy do programu (patrz: Pomiary), z którego dowiadujemy się jaka jest średnia arytmetyczna wyników, waga piórka w kratkach i miligramach oraz odchylenie standardowe.

Przykładowe dokonanie pojedynczego pomiaru przedstawione jest w załączniku o nazwie slu15a2.

## **Pomiary**

Doświadczalnie wyznaczyliśmy punkty na skali dla każdej masy, wykonując po 20 pomiarów dla każdej z nich. W celu zniwelowania błędu wynikającego ze źle dociętych kratek co cztery pomiary zmienialiśmy odważnik. Stosowaliśmy oddzielne odważniki dla każdej z mas, czyli dla zmierzenia masy

dwóch kraterk używaliśmy wyciętego odważnika dwukratkowego, a nie dwóch pojedynczych kraterk. Odrzucałyśmy także tzw. błędy grube, kiedy masa któregoś z odważników była widocznie inna od pozostałych. Tych wyników nie brałyśmy pod uwagę i wykonywałyśmy kolejne cztery pomiary dla nowego odważnika. Uzyskane wyniki przedstawiłyśmy w tabeli poniżej. Jednostką wyników są milimetry.

liczba kraterk numer pomiaru	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	piórko czarne	piórko białe
1	15	77	142	237	314	392	452	534	614	676	748	199	128
2	-4	73	150	242	318	404	458	539	607	675	753	200	130
3	0	84	160	244	311	410	463	535	603	672	744	210	123
4	-6	79	153	241	322	414	457	533	612	674	748	211	124
5	12	72	146	240	318	408	452	530	614	685	761	208	128
6	6	69	152	251	308	405	455	537	603	689	746	213	121
7	-15	78	147	250	314	407	453	546	609	691	744	204	133
8	3	74	149	246	307	406	452	545	611	692	745	211	126
9	7	76	163	248	316	379	455	530	605	679	749	212	128
10	9	73	166	243	319	369	472	547	606	689	745	212	127
11	11	60	159	245	322	383	475	557	614	684	749	206	123
12	18	89	153	250	318	395	476	545	608	681	756	207	124
13	-3	79	155	242	306	389	480	548	609	683	757	220	126
14	-13	78	164	241	318	398	484	546	606	687	753	211	129
15	-4	73	164	243	313	394	482	548	604	688	744	199	130
16	-1	77	166	245	317	395	483	545	619	682	751	209	126
17	10	74	156	242	327	392	479	538	610	671	745	208	123
18	7	79	161	246	318	392	475	543	601	675	749	217	127
19	-3	75	158	242	324	392	470	541	604	687	750	221	134
20	0	76	162	241	320	391	478	544	608	680	744	214	129
średnia wyników	2,45	75,68	156,30	243,95	316,50	395,75	468,37	541,55	608,35	682,00	749,05	209,60	126,95
różnica do poprzedniej	-	73,23	80,62	87,65	72,55	79,25	72,62	73,18	66,80	73,65	67,05	-	-
maksymalna	18,00	89,00	166,00	251,00	327,00	414,00	484,00	557,00	619,00	692,00	761,00	221,00	134,00
maksymalna od średniej	15,55	13,32	9,70	7,05	10,50	18,25	15,63	15,45	10,65	10,00	11,95	11,40	7,05
minimalna	-15,00	60,00	142,00	237,00	306,00	369,00	452,00	530,00	601,00	671,00	744,00	199,00	121,00
minimalna od średniej	17,45	15,68	14,30	6,95	10,50	26,75	16,37	11,55	7,35	11,00	5,05	10,60	5,95
średnia od zera	<b>0,00</b>	<b>73,23</b>	<b>153,85</b>	<b>241,50</b>	<b>314,05</b>	<b>393,30</b>	<b>465,92</b>	<b>539,10</b>	<b>605,90</b>	<b>679,55</b>	<b>746,60</b>	<b>207,15</b>	<b>124,50</b>
odchylenie standardowe		1,28	1,59	0,82	1,24	2,50	2,71	1,55	1,03	1,46	1,00	1,37	0,76

Dla pomiarów każdej z mas wyznaczyłyśmy średnią arytmetyczną. Wyznaczyłyśmy także punkt zerowy nie stosując żadnej masy. Od każdej średniej odjęłyśmy ten właśnie punkt, otrzymując właściwy wynik. Dla każdego z wyników obliczyłyśmy również odchylenie standardowe i naniosłyśmy je na wykres.

Dla otrzymanych wyników stworzyłyśmy wykres zaznaczając znane przez nas punkty. W arkuszu kalkulacyjnym dopasowałyśmy do nich prostą i otrzymałyśmy jej wzór  $y=76,16x$ . Po jego przekształceniu dla każdej wysokości na skali możemy obliczyć wagę piórka w kratkach.

Wzór na wagę piórka wyrażoną w kratkach:

$$x = \frac{y}{76,16}$$

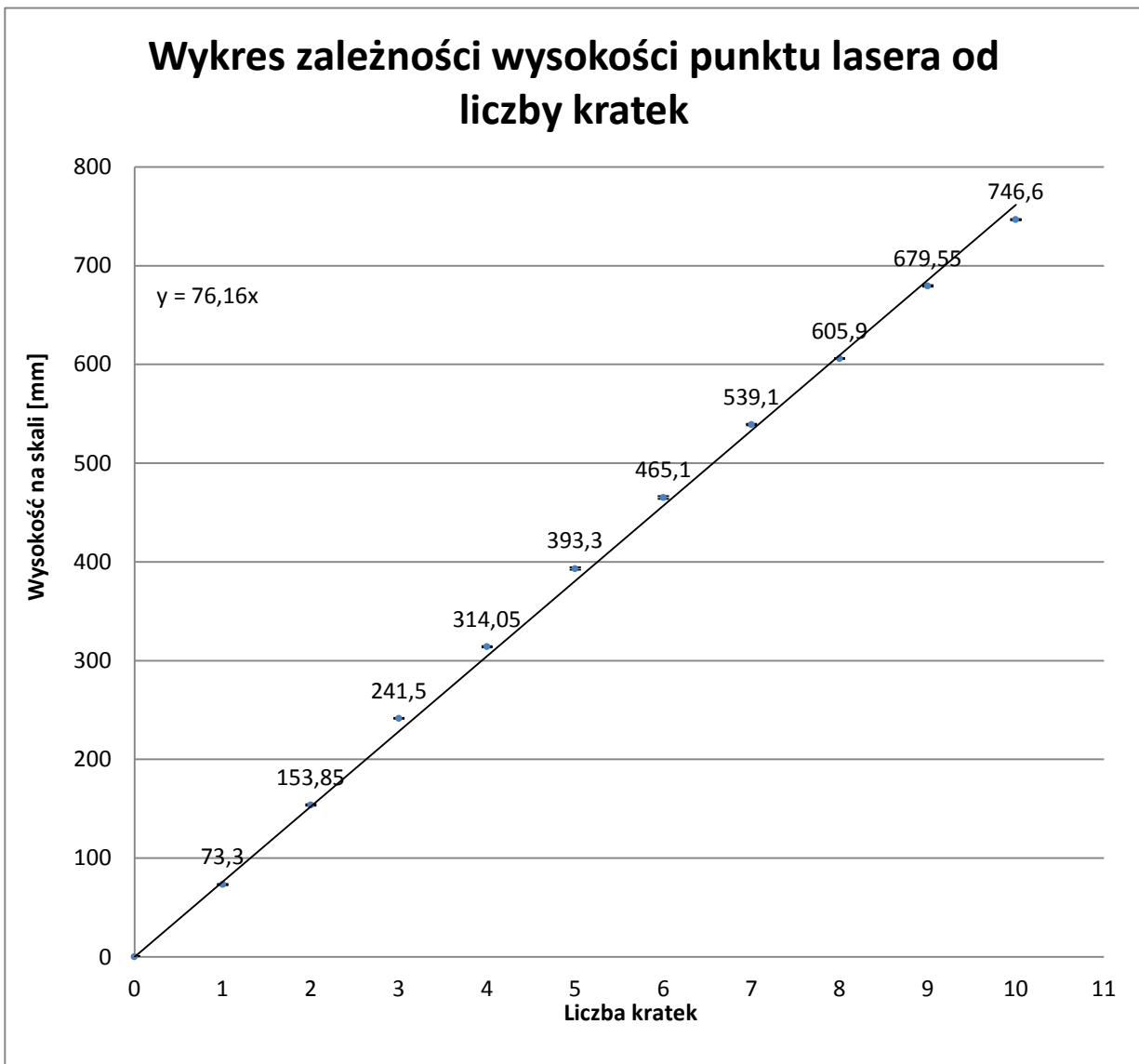
gdzie:

x – masa wyrażona w kratkach papieru kancelaryjnego

y – wysokość punktu lasera na skali wyrażona w milimetrach

Odchylenie standardowe liczyliśmy ze wzoru zawartego w podręczniku „Zrozumieć fizykę 1” wydawnictwa Nowa Era

$$\sigma = \sqrt{\frac{(t_1 - t_{sr})^2 + (t_2 - t_{sr})^2 + \dots + (t_n - t_{sr})^2}{n(n-1)}}$$



Współczynnik korelacji wynosi 0,99941

Stworzyliśmy również program w języku C++, przeliczający do 100 pomiarów piórka na wyniki przez nas oczekiwane, aby mógł je zważyć każdy, nawet ktoś mało obeznany w sposobie naszych obliczeń. Aplikację oraz kod programu przesyłamy odpowiednio jako załączniki slu15a3 i slu15a4.

### **Ile waży piórko?**

Średnia wysokości na jakich znajdował się punkt lasera przy ważeniu białego piórka wyniosła  $126,95 \pm 0,76$  mm, co po przeliczeniu przez nasz program jest równe masie  $1,64 \pm 0,01$  kratki i  $3,27 \pm 0,02$  mg.

W analogicznej sytuacji dla czarnego piórka wysokość to  $209,6 \pm 1,37$  mm, co daje  $2,72 \pm 0,02$  kratki i  $5,44 \pm 0,04$  mg.

### **Podsumowanie:**

Użyte materiały:

- rurki pvc	(6,60zł/3m)*
- drewniana podstawa	(trudno kupić, łatwiej znaleźć)
- słomka	(1 gr)
- fragment plastikowego lusterka	(10zł/sztuka)
- wskaźnik laserowy	(4zł)
- dwa drewniane klocki	(smutna młodsza siostra)
- silikon	(50gr/sztuka)
- folia spożywcza	(5zł/opakowanie)
- nitka	(2zł/szpulka)
- karton	(za darmo w każdym supermarkecie)
- linijka	(3zł)
- spinka do włosów typu „żabka”	(1zł)
- drut	(8zł/10m)
- mały gwóźdź	(1gr)
- taśma	(2zł)

Koszt poniesiony przy konstruowaniu wagi to 4 zł czyli cena wskaźnika laserowego w chińskim markecie. Pozostałe przedmioty zostały znalezione w domu lub szkole.

\*szacunkowa cena materiału

**Fotorelację z naszego projektu zamieściliśmy w załączniku o nazwie slu15a5.**