

## Doświadczenie 1.

### Jak daleko od Greenwich?



To doświadczenie należy wykonać w słoneczny dzień

#### Przygotuj:

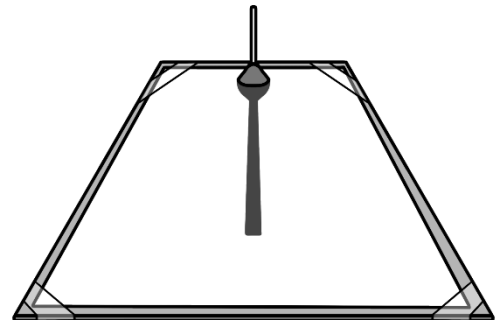
- wykałaczkę lub patyk do szaszłyków
- kartkę papieru A4
- ćwierć słupka plasteliny
- długopis lub ołówek
- zegarek
- linijkę
- sztywną podkładkę w formacie A4 lub większym (np. książkę, deskę)
- taśmę klejącą
- poziomice lub aplikację na smartfon, w której znajduje się pochylomierz (np. Poziomica, Physics Toolbox Sensor Suite; Simple Inclinometer itp.)

Po wykonaniu doświadczenia spróbuj odpowiedzieć na pytania dotyczące obserwacji.  
Koniecznie przeczytaj komentarz!

#### Zadanie.

**Uwaga.** Jeśli używasz patyczka do szaszłyków, przetnij go na połowę i wykorzystaj tylko jedną część.

1. Kartkę przymocuj do podkładki taśmą klejącą tak, aby kartka leżała na podkładce równo rozpostarta (niepofalowana).
2. Przyklej kawałek plasteliny do kartki tuż przy jej krótszej krawędzi. Wstaw wykałaczkę pionowo do plasteliny, aby ją w niej umocować.
3. Wystaw podkładkę na pełne Słońce, dbając o to, by nie padał na nią cień od żadnych innych obiektów. Wykałaczką powinna się znaleźć od strony Słońca, tak by jej cień padał na kartkę. Eksperyment można wykonać także w domu w odpowiednio nasłonecznionym miejscu.
4. Wypoziomuj podkładkę za pomocą poziomicy lub aplikacji na smartfon zawierającej pochylomierz.



#### Eksperyment.

**W tym eksperymencie wyznacysz długość geograficzną miejsca, w którym się znajdujesz.**

1. Rozpocznij eksperyment ok. godz. 11:20, jeśli wykonujesz go w okresie, gdy obowiązuje w Polsce czas zimowy lub ok. 12:20, gdy w Polsce obowiązuje czas letni. Zapisz z boku kartki czas rozpoczęcia pomiaru.
2. Co ok. 1 minutę zaznaczaj na kartce kropką położenie końca cienia wykałaczkę. Kontynuuj przez ok. 60 minut lub do chwili, gdy zauważysz, że cień przez ostatnie kilka minut wyraźnie się wydłuża.
3. Po zakończeniu pomiarów znajdź przy pomocy linijki kropkę, która znajduje się najbliżej wykałaczkę, a zatem odpowiada chwili, w której cień wykałaczkę był najkrótszy.
4. Odlicz, której kropce od początku pomiaru odpowiada kropka najkrótszego cienia. Następnie przelicz, o której godzinie cień był najkrótszy.
5. Aby obliczyć długość geograficzną na wschód od Londynu (czyli m.in. w Polsce), należy się dowiedzieć, **ile czasu (minut) upłynie** pomiędzy górowaniem Słońca w miejscu naszej obserwacji, a godziną 12:00 na południku 0° w Greenwich (dzielnica Londynu). Aktualny czas w Greenwich można znaleźć w Internecie. **Na przykład, jeśli obserwujesz najkrótszy cień o godz. 11:30 (czas zimowy), to w Greenwich jest wówczas godzina 10:30, a do górowania Słońca dojdzie o 12:00 czasu Greenwich, czyli za 90 minut.** Do obliczeń weź wówczas 90 minut.

6. Oblicz długość geograficzną (bez korekty) ze wzoru:

$$\text{długość geograficzna (bez korekty)} = \text{liczba minut} * \frac{15^\circ}{60 \text{ minut}}$$

**Uwaga. W czasie letnim liczbę minut należy pomniejszyć o 60 min.**

Wynik wymaga jeszcze korekty związanej z tym, że aktualny czas w Greenwich (GMT) jest jedynie czasem średnim. Dlatego w miejscu tym jedynie kilka razy w roku Słońce widoczne jest na nieboskłonie w najwyższym miejscu dokładnie o godz. 12:00. Korekta zależy od dnia i została zamieszczona w tabelce na następnej stronie. **Znajdź w tabelce pod komentarzem** do tego doświadczenia dzień, w którym przeprowadziłaś/eś pomiar i dodaj do swojego wyniku liczbę stopni stanowiącą korektę w stopniach.

Ostatecznie długość geograficzną obliczysz zatem ze wzoru:

$$\text{długość geograficzna} = \text{liczba minut} * \frac{15^\circ}{60 \text{ minut}} + \text{korekta}$$

7. Sprawdź, jaka jest rzeczywista długość geograficzna miejscowości, w której się znajdujesz i porównaj z wynikiem swoich obliczeń z eksperymentu.

### **Komentarz:**

Słońce oświetla w danej chwili tylko część kuli ziemskiej. Ponieważ Ziemia obraca się dookoła swojej osi, plama światła słonecznego nieustannie przesuwa się po powierzchni Ziemi. Patrząc na Ziemię od strony Słońca widzielibyśmy, że kula ziemska obraca się w prawo. Oznacza to, że np. w Polsce o poranku najpierw oświetlane są obszary znajdujące się na wschodzie, następnie te w centrum kraju, a na końcu – obszary na zachodzie. Zatem w różnych miejscach Polski wschód Słońca i jego zachód następują w nieco innych chwilach. Dzieje się tak dlatego, że w całej Polsce obowiązuje jedna strefa czasowa, która niedokładnie odpowiada czasowi słonecznemu. Z tej samej przyczyny Słońce jest widoczne najwyżej na nieboskłonie niedokładnie w południe.

Kulę ziemską podzielono umownie liniami biegnącymi z północy na południe, zwanymi południkami. **Południkiem zerowym** jest ten przechodzący przez Greenwich – jedną z dzielnic Londynu. Pozostałe południki są oznaczane stopniami na wschód (E) i na zachód (W) od Greenwich. Pełna kula ma 360°, dlatego dowolne miejsce na Ziemi jest oznaczane od 0° do niemal 180°E lub niemal 180°W. Południk 180° jest oczywiście jeden, podobnie jak południk 0°.

Na całej kuli ziemskiej wprowadzono strefy czasowe. Umownie przyjęto oznaczać strefy czasowe również względem Greenwich, w którym Słońce widziane jest na nieboskłonie w najwyższym punkcie przez cały rok średnio o godz. 12:00 w południe (dlatego mówi się raczej o średnim czasie Greenwich, *Greenwich Mean Time*, oznaczanym jako GMT). **Czas ten jednak wymaga korekty**, gdyż w rzeczywistości tylko kilka razy w roku Słońce w Greenwich góruje na nieboskłonie dokładnie o 12:00. Korektę dla danego dnia w roku można znaleźć w tablicach. W okresie obowiązującego w Polsce czasu zimowego, nasze zegary są przesunięte dokładnie o 1 godzinę do przodu w stosunku do GMT. Oznacza to, że gdy w Greenwich jest godzina 8 rano, w Polsce jest godzina 9 rano. W okresie letnim w samym Greenwich zegary nie są przestawiane, ale w Polsce obowiązuje czas o dwie godziny późniejszy. Czyli, gdy w Greenwich jest 8 rano, to w Polsce jest godz. 10 rano.

Kulę ziemską podzielono na strefy czasowe dla wygody komunikacji i transportu oraz uporządkowania naszego życia w rytmie zegara. Skoro kula ziemska obraca się o 360° w ciągu doby, a doba trwa niemal 24 godziny (dokładnie 23 godziny, 56 min 4,091 s), to naturalne było podzielenie kuli ziemskiej na strefy godzinne, które odpowiadają odległościom 15° pomiędzy południkami. Ponieważ granice państw nie przebiegają wzdłuż południków, sprawa się komplikuje. Każde państwo zwykle wybiera sobie strefę czasową związaną z najbliższym leżącym południkiem będącym wielokrotnością 15° (czyli 15°, 30°, 45° itd.). Nie jest to jednak ścisłą regułą. W szczególności wiele państw (np. Stany Zjednoczone, Australia) musi stosować u siebie kilka stref czasowych ze względu na rozległość swoich terytoriów.

Polska leży w jednej strefie czasowej, przypisanej południkowi 15°, jednak terytorium Polski rozciąga się pomiędzy południkami 14° a 24°, dlatego na większości obszaru Polski górowanie Słońca w czasie zimowym następuje wcześniej niż o 12:00 i tylko na wąskim paśmie terytorium na linii południka 15° o godz. 12:00 lub tuż po 12:00 (w paśmie południków poniżej 15°).

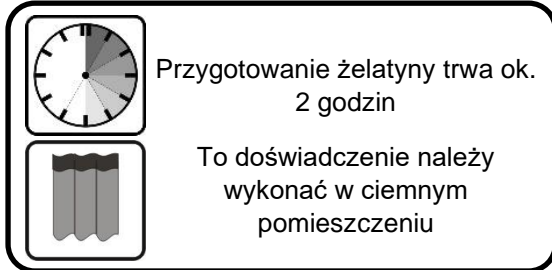
Tabela różnicy średniego czasu GMT względem aktualnego czasu słonecznego. Podano korektę czasu oraz obliczoną z niej niezbędną korektę obliczeń długości geograficznej E (w stopniach).

korekta [min]	dzień		korekta [°]
-8,81	15	stycznia	2,20
-9,16	16	stycznia	2,29
-9,50	17	stycznia	2,38
-9,83	18	stycznia	2,46
-10,16	19	stycznia	2,54
-10,47	20	stycznia	2,62
-10,77	21	stycznia	2,69
-11,06	22	stycznia	2,77
-11,34	23	stycznia	2,84
-11,61	24	stycznia	2,90
-11,87	25	stycznia	2,97
-12,11	26	stycznia	3,03
-12,35	27	stycznia	3,09
-12,57	28	stycznia	3,14
-12,78	29	stycznia	3,19
-12,98	30	stycznia	3,24
-13,16	31	stycznia	3,29
-13,33	1	lutego	3,33
-13,49	2	lutego	3,37
-13,64	3	lutego	3,41
-13,78	4	lutego	3,44
-13,90	5	lutego	3,47
-14,01	6	lutego	3,50
-14,10	7	lutego	3,53
-14,18	8	lutego	3,55
-14,25	9	lutego	3,56
-14,31	10	lutego	3,58
-14,36	11	lutego	3,59
-14,39	12	lutego	3,60
-14,41	13	lutego	3,60
-14,41	14	lutego	3,60
-14,41	15	lutego	3,60
-14,39	16	lutego	3,60
-14,36	17	lutego	3,59
-14,31	18	lutego	3,58
-14,26	19	lutego	3,56
-14,19	20	lutego	3,55
-14,11	21	lutego	3,53
-14,02	22	lutego	3,50
-13,91	23	lutego	3,48
-13,80	24	lutego	3,45

korekta [min]	dzień		korekta [°]
-13,67	25	lutego	3,42
-13,54	26	lutego	3,38
-13,39	27	lutego	3,35
-13,23	28	lutego	3,31
-13,06	1	marca	3,27
-12,89	2	marca	3,22
-12,70	3	marca	3,18
-12,50	4	marca	3,13
-12,30	5	marca	3,07
-12,08	6	marca	3,02
-11,86	7	marca	2,97
-11,63	8	marca	2,91
-11,39	9	marca	2,85
-11,15	10	marca	2,79

## Doświadczenie 2.

### Ogniskowa



#### Przygotuj:

- opakowanie żelatyny na 0,5 litra wody
- jedno płaskie pudełko plastikowe (np. po serkach lub plastikowe, kuchenne) o średnicy lub długości co najmniej 12 cm
- latarkę
- tekturkę ciemnego koloru w formacie A4
- nóż stołowy (obiadowy)
- czajnik
- kuchenną deskę do krojenia
- głęboki talerz
- wodę z kranu
- kawałek plasteliny

Po wykonaniu doświadczenia spróbuj odpowiedzieć na pytania dotyczące obserwacji.  
Koniecznie przeczytaj komentarz!

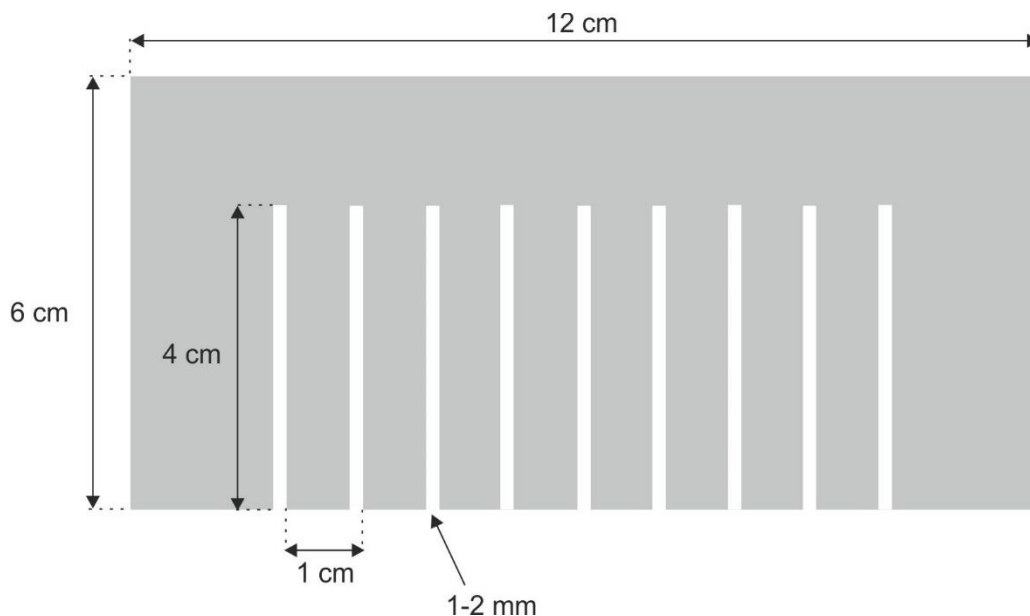
#### Zadanie 1. Przygotuj żelatynę



1. Przeczytaj przepis na opakowaniu żelatyny.
2. Przygotuj roztwór żelatyny, używając w nim tylko połowę wody zalecanej na opakowaniu.
3. Gdy żelatyna nieco ostygnie, przelej ją do płaskiego pudełka i odstaw w chłodne miejsce. Po ok. 20 minutach wstaw pudełko do lodówki. Pozostaw żelatynę w lodówce przez ok. 90 minut.

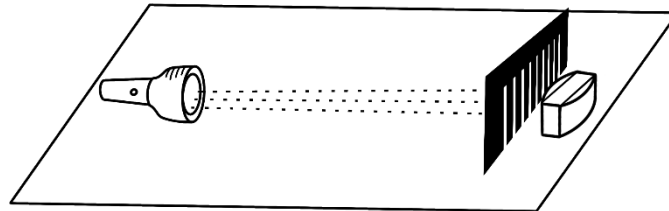
#### Zadanie 2. Przygotuj siatkę grzebienia

1. Wytnij z tekturki pasek o szerokości 6 cm i długości 12 cm, a następnie zrób na tekturce 9 równoległych nacięć. Kolejne nacięcia powinny być oddalone od siebie o ok. 1 cm. Każde powinno mieć szerokość 1-2 mm (patrz szablon poniżej). Grzebień powinien być sztywny (możesz go wykonać np. z dwóch sklejonych tekturek).



## Eksperyment.

1. Zagotuj wodę w czajniku.
2. Wyciągnij pudełko z żelatyną z lodówki.
3. Ostrożnie oddziel nożem brzegi żelatyny od ścianek pudełka. Wlej gorącą wodę z czajnika do głębokiego talerza (lub na blachę z piekarnika) na wysokość ok. 2 cm. Włóż na 10 sekund pudełko do naczynia z gorącą wodą, aby żelatyna oddzieliła się od dna pudełka. Wyciągnij pudełko z gorącej wody.
4. Pudełko obróć do góry dnem nad deską kuchenną i energicznie stuknij w denko, tak aby żelatyna w całości wysunęła się z pojemnika na deskę.
5. Z żelatyny wytnij kształt podobny do tego na rysunku obok (widok z góry). Będzie to **soczewka dwuwypukła, ponieważ ma dwie wypukłe powierzchnie**.
6. Przenieś deskę z soczewką do zaciemnionego pokoju.
7. Włącz latarkę. Umocuj ją tak, aby jej światło padało na ściankę soczewki prostopadłą do deski.
8. Ustaw grzebień prostopadle do deski pomiędzy soczewką dwuwklęsłą, a latarką, tak jak na rysunku. Wszystkie ząbki grzebienia powinny stykać się z deską. Grzebień powinien znajdować się bardzo blisko soczewki, a latarka - w odległości około 40 cm od grzebienia. Grzebień możesz zablokować kawałkiem plasteliny lub trzymać w dłoni.



9. Skieruj światło latarki prostopadle do grzebienia. Promienie wychodzące z grzebienia (jeszcze przed soczewką) powinny być jak najbardziej równoległe. Obserwuj układ promieni przechodzących przez soczewkę.
10. Zaobserwuj odległość od soczewki do miejsca, w którym skupiają się promienie. Jeśli punkt skupienia nie jest wyraźny, spróbuj wyznaczyć go w przybliżeniu z biegu promieni oraz faktu, że wszystkie one powinny się przeciąć w jednym miejscu. Zaznacz to miejsce.
11. Przetnij soczewkę na pół, tworząc soczewkę płasko-wypukłą i wykonaj punkty 9-10 raz jeszcze.



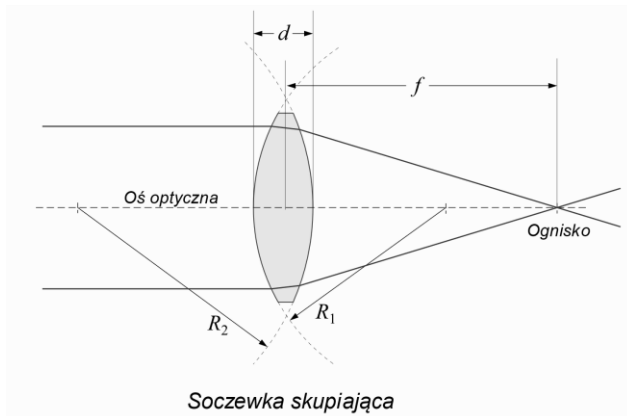
## Obserwacje.

1. W jaki sposób układają się linie światła (**promienie światła**) po przejściu przez grzebień?
2. W jaki sposób promienie światła są **załamywane** przez soczewkę **dwuwypukłą**?
3. W jaki sposób promienie światła są załamywane przez soczewkę **płasko-wypukłą**?
4. Dla której soczewki (dwuwypukłej, czy płasko-wypukłej będącej jej połową) promienie skupiają się dalej od soczewki, a dla której bliżej?

## Komentarz:

Światło wychodzi z latarki w różne strony, tworząc rozszerzającą się wiązkę promieni. Nie można w niej jednak oddzielić pojedynczych promieni światła. Po przejściu światła przez grzebień, otrzymamy oddzielone od siebie wąskie wiązki światła, których bieg łatwiej jest nam śledzić.

Kiedy światło dochodzi do granicy dwóch substancji (np. powietrza i żelatyny), najczęściej ulega **załamaniu**. Gdy powierzchnia żelatyny jest zakrzywiona, promienie po przejściu przez nią albo dodatkowo będą się od siebie oddalać (**rozpraszać**), albo do siebie przybliżać (**skupiać**). W doświadczeniu wykonaliśmy soczewki z żelatyny, które działają bardzo podobnie do soczewek ze szkła. **Dwuwypukła oraz płasko-wypukła soczewka ze szkła umieszczona w powietrzu są soczewkami skupiającymi**. Tak samo jest z wykonanymi w tym doświadczeniu soczewkami z żelatyny.



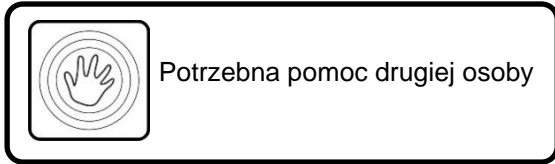
Po przejściu równoległych promieni przez taką soczewkę, skupiają się one w jednym punkcie zwanym **ogniskiem**. Odległość tego punktu od środka soczewki nazywamy **ogniskową** i oznaczamy  $f$ .

**Ogniskowa soczewki dwuwypukłej jest dwa razy większa niż ogniskowa soczewki płasko-wypukłej powstałej z tej pierwszej poprzez przecięcie wzdłuż na pół.**

(autor: PanzerMaus~commonswiki, źródło: Wikimedia commons, CC BY-SA 3.0)

### Doświadczenie 3.

### Krzywe Lissajous



#### Przygotuj:

- mały papierowy kubeczek
- szklankę soli lub piasku (materiał musi być suchy; jeśli jest wilgotny, to wypraż go na blasze w piekarniku w 50°C przez 15 min)
- cienki, miękki sznurek (np. kawałek bawełnianej włóczki) o długości ok. 1 m
- płaską blachę z piekarnika (najlepiej w czarnym kolorze)
- kawałek plasteliny
- nożyczki do paznokci lub grubą igłę
- stabilną poprzeczkę mniej więcej na wysokości twojej głowy - do zamocowania wahadła

Po wykonaniu doświadczenia spróbuj odpowiedzieć na pytania dotyczące obserwacji.  
Koniecznie przeczytaj komentarz!

#### Zadanie. Przygotuj wahadło.

1. W dnie kubka zrób niewielki otwór. Trzymając kubek nad blachą położoną na stole, nasyp do kubka trochę piasku lub soli i sprawdź, czy wysypują się one przez ten otwór bez potrząsania kubkiem. Jeśli tak nie jest, to nieco poszerz otwór. **Im mniejszy otwór, tym wyraźniejsze krzywe będziesz obserwować, jednak materiał syпки musi się wysypywać z kubka bez przerw.**
2. Wysyp sól lub piasek z powrotem do szklanki.
3. Zaklej otwór w dnie kawałkiem plasteliny od zewnętrznej strony kubka.
4. Tuż przy górnej krawędzi kubka zrób w jego ściance dwa otwory usytuowane **dokładnie naprzeciwko siebie.**
5. Przymocuj jeden koniec sznurka w jednym z tych otworów. Przerzuć sznurek przez poprzeczkę i przywiąż drugi koniec do drugiego otworu, znajdującego się dokładnie naprzeciwko.

**Uwaga. Jeśli nie masz w domu odpowiedniej poprzeczki, to możesz wykorzystać górną część framugi drzwi, jednak wówczas sznurek musi być dłuższy. Przetnij sznurek na pół i doklej tak powstałe końce do framugi.**

#### Eksperyment 1.

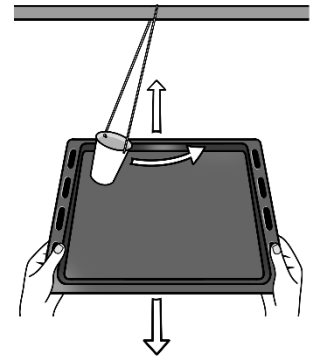
1. Wsyp piasek do kubka. Na razie nie odklejaj plasteliny z dna kubka. Wychyl wahadło o niewielki kąt i przez chwilę obserwuj jego ruch, aby się przyzwyczaić do jego rytmu.
2. Podstaw blachę pod wahadło i sprawdź, czy przy takim wychyleniu piasek lub sól nie będzie wysypywał się poza blachę. Jeśli tak się stanie, wahadło należy wychylać o mniejszy kąt.
3. Zatrzymaj wahadło.
4. Podstaw blachę pod kubek, trzymając ją płasko w odległości 20-25 cm od dna kubka.
5. Poproś osobę, która ci pomaga, aby wychyliła wahadło jak poprzednio i przytrzymała je przez chwilę.
6. Na umówiony znak wahadło powinno zostać zwolnione, a ty zacznij powoli przesuwając blachę jednostajnie w jedną stronę, prostopadłe do linii piasku kreślonej na blasze.



#### Obserwacje

1. Jaki kształt został wykreślony na blasze?

**Uwaga.** Eksperymenty 2-5 będą polegać na tym, żeby wahadło drgało na przykład z lewa na prawo, a w tym samym czasie blacha pod wahadłem była przesuwana w przód i w tył, tam i z powrotem.

**Eksperyment 2.**

1. Zsyp materiał sypki z blachy do szklanki.
2. Podstaw blachę pod kubek, trzymając ją płasko w odległości 20-25 cm od dna kubka.
3. Poproś osobę, która ci pomaga, aby wychyliła wahadło jak poprzednio i przytrzymała je przez chwilę.
4. Cofnij blachę prostopadle do linii, którą będzie kreślić wysypujący się materiał. W tym ustawieniu blacha i wahadło są maksymalnie przesunięte, ale wahadło wciąż znajduje się nad blachą.
5. Na umówiony znak osoba, która ci pomaga powinna odkleić plastelinę oraz puścić wahadło, a ty zacznij przesuwac blachę tam i z powrotem w rytm drgań wahadła. Chodzi o to, aby blacha była wychylona maksymalnie w przód w tej samej chwili, gdy wahadło dotrze do drugiego krańca oraz, żeby blacha wróciła na miejsce startu, gdy wahadło wróci na miejsce startu.
6. Pilnuj rytmu, aż cały materiał sypki wysypie się z kubka lub wahadło wykona przynajmniej trzy pełne wahnięcia (tam i z powrotem).

**Obserwacje:**

1. Jaką krzywą tworzy wysypujący się materiał?
2. Czy jeśli utrzymujesz rytm krzywa ta pokrywa się z kolejną tworzoną przez wysypujący się materiał?

**Eksperyment 3.**

1. Zsyp materiał sypki z blachy do szklanki.
2. Eksperyment 3. wykonaj tak, jak Eksperyment 2 (punkty 1-10), z jedną zmianą. W chwili puszczenia wahadła przez osobę ci pomagającą, blacha powinna znajdować się centralnie pod zawieszeniem wahadła. Zatem należy utrzymać taki rytm, żeby w chwilach najwyższych wychyleń wahadła, blacha lokalizowała się centralnie na środku.
3. Pilnuj rytmu, aż cały materiał sypki wysypie się z kubka lub wahadło wykona przynajmniej trzy pełne wahnięcia (tam i z powrotem).

**Obserwacje:**

1. Jaką krzywą tworzy wysypujący się materiał?
2. Czy jeśli utrzymujesz rytm krzywa ta pokrywa się z kolejną tworzoną przez wysypujący się materiał?

**Eksperyment 4.**

1. Zsyp materiał sypki z blachy do szklanki.
2. Eksperyment 4. wykonaj tak, jak Eksperyment 2 (punkty 1-10), z jedną zmianą. Postaraj się przesuwac blachę z częstotliwością dwa razy większą, niż częstotliwość drgania wahadła. Oznacza to, że na wahnięcie wahadła z lewej na prawo, powinnaś/powinieneś przesunąć blachę tam i z powrotem.
3. Pilnuj rytmu, aż cały materiał sypki wysypie się z kubka lub wahadło wykona przynajmniej trzy pełne wahnięcia (tam i z powrotem).

**Obserwacje:**

1. Jaką krzywą tworzy wysypujący się materiał?
2. Czy jeśli utrzymujesz rytm krzywa ta pokrywa się z kolejną tworzoną przez wysypujący się materiał?



**Eksperyment 5.**

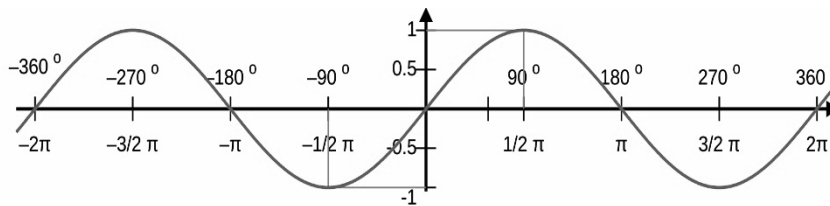
1. Zsyj materiał sypki z blachy do szklanki.
2. Eksperyment wykonaj tak, jak Eksperyment 3 z jedną zmianą. Postaraj się przesunąć blachę z częstotliwością dwa razy większą, niż częstotliwość drgania wahadła. Oznacza to, że na wahnięcie wahadła z lewej na prawo, powinnaś/powinieneś przesunąć blachę tam i z powrotem.
3. Pilnuj rytmu, aż cały materiał sypki wysypie się z kubka lub wahadło wykona przynajmniej trzy pełne wahnięcia (tam i z powrotem).

**Obserwacje:**

1. Jaką krzywą tworzy wysypujący się materiał?
2. Czy jeśli utrzymujesz rytm krzywa ta pokrywa się z kolejną tworzoną przez wysypujący się materiał?

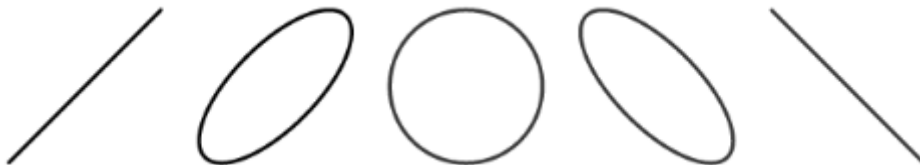
**Komentarz:**

Wahadło wprawione w ruch wykonuje drgania, czyli ruch tam i z powrotem. Gdy po raz pierwszy wróci ono do punktu startu, kończy jedno pełne wahnięcie (pełne drganie). Wahnięcia te powtarzają się przez dłuższy czas. Gdyby nie było oporów powietrza, to wahadło drgałoby w nieskończoność. Każde pełne drganie wykonywane jest w tym samym czasie. **Częstotliwość** drgań to liczba pełnych drgań podzielona przez sumaryczny czas ich trwania. Krzywą, którą zakreśla w ten sposób wahadło w funkcji czasu jest **sinusoidea**. Jej kształt można było zaobserwować w Eksperymencie 1 (rysunek poniżej), w którym jednostajny ruch blachy w jedną stronę symulował upływ czasu.



Jeśli wahadło z materiałem sypkim wykonuje drgania wzdłuż jednej linii, a podłoże (blacha) jest przesuwana tam i z powrotem w kierunku prostopadłym do tej linii, to na blasze powstaje obraz złożenia **dwóch drgań wykonywanych pod kątem prostym do siebie, czyli jedną z krzywych Lissajous (czytaj. lisażu)**. Kształt krzywej zależy od ilorazu częstotliwości obu drgań. Zależy także od tego, czy oba rozpoczęły się w tym samym momencie w maksymalnym wychyleniu, czy też nie.

W przypadku, gdy częstotliwości drgania wahadła i ruchu blachy są takie same, z sypiącego się materiału można otrzymać poniższe krzywe Lissajous.



Odcinki powstają, gdy drgania wahadła rozpoczynają się w tej samej chwili z maksymalnych wychyleń (Eksperyment 2), a obraz koła (lub pionowo ustawionej elipsy) - w Eksperymencie 3. Elipsy powstają, gdy start ruchu blachy jest nieco spóźniony w stosunku do startu ruchu wahadła.

W przypadku, gdy częstotliwość ruchu blachy jest dwa razy większa od częstotliwości drgania wahadła, z sypiącego się materiału można otrzymać poniższe krzywe Lissajous.



Otwarte krzywe powstają, gdy drgania wahadła rozpoczynają się w tej samej chwili z maksymalnych wychyleń (Eksperyment 4), a obraz podobny do klepsydry - w Eksperymencie 5. Obrazy pośrednie powstają, gdy start ruchu blachy jest nieco spóźniony w stosunku do startu ruchu wahadła.

## Doświadczenie 4.

### Męty w oku



To doświadczenie należy  
wykonać przy świetle  
słonecznym

**Po wykonaniu doświadczenia spróbuj odpowiedzieć na pytania dotyczące obserwacji.  
Koniecznie przeczytaj komentarz!**

**Uwaga.** Aby wykonać to doświadczenie wystarczy jasny dzień, nie musi to być jednak dzień bezchmurny.

#### Eksperyment 1.

1. Wyjdź na zewnątrz.
2. Skieruj swój wzrok na błękitne niebo lub na jasną chmurę.

**Uwaga. Nigdy nie patrz bezpośrednio na Słońce!**

3. Rozejrzyj się po niebie, nie skupiając wzroku na żadnym konkretnym obiekcie.

#### Obserwacje:

1. Czy udało ci się zauważyć na tle pola widzenia nieregularne kształty? Do czego są one podobne?
2. Co się z nimi dzieje, gdy przesuwasz nieco wzrok po niebie – czy znikają, czy zmieniają kształt?
3. Co się dzieje, gdy starasz się popatrzeć wprost na te kształty?

#### Eksperyment 2.

1. Nadal kierując twarz w stronę jasnej części nieba, zamknij oczy i spróbuj stwierdzić, czy widzisz te same nieregularne kształty, co poprzednio.

#### Komentarz:

Tylna, wewnętrzna część gałki ocznej oka jest wypełniona galaretowatą substancją (tak zwanym **ciałem szklistym**), która chroni siatkówkę. Siatkówka to miejsce po wewnętrznej części oka, w którym znajdują się m.in. światłoczułe receptory (**czopki i pręciki**) odpowiedzialne za widzenie. Siatkówka odbiera bodźce wzrokowe i poprzez nerw wzrokowy łączy się z mózgiem, by przekazać w ten sposób do niego obrazy.

Wewnątrz ciała szklanego pojawiają się martwe komórki oraz włókniste kawałki (np. białek), które rzucają cienie na siatkówkę. Mogą one przyjmować kształty nici, zmarszczek, robaczków, siatki pajęczej itp. W jasne dni męty są widziane nawet przy zamkniętych oczach.

Kiedy zauważysz męt, możesz przesunąć wzrok w jego stronę, jednak wówczas wydaje się on odskakiwać od twojego wzroku. Dzieje się tak dlatego, że męty pozostają długo mniej więcej w tym samym miejscu przed siatkówką, więc poruszanie okiem, aby na nie spojrzeć powoduje, że męty podążają za ruchami gałki ocznej.

Męty mogą powstawać już nawet na etapie rozwoju płodowego. Często jednak pojawiają się dopiero wraz z upływem lat. Najczęściej nie przeszkadzają one jednak w normalnym widzeniu i tworzeniu obrazów. Zauważamy je dopiero na bardzo dobrze oświetlonym tle.