

CENTRUM  
NAUKI  
KOPERNIK



Poland



## LOTY STRATOSFERYCZNE

Czyli jak wysłać kamerę w stratosferę?



90 minut (2 godziny lekcyjne)



szkoła podstawowa (klasy VII–VIII)



fizyka



balony stratosferyczne | gęstość | siła wyporu



[www.esero.kopernik.org.pl](http://www.esero.kopernik.org.pl)



# LOTY STRATOSFERYCZNE

Czyli jak wystać kamerę w stratosferę?

Autor Dominik Hamala

Opracowane dla ESERO-Polska

## Poruszane wątki

- balony i sondy stratosferyczne
- siła wyporu

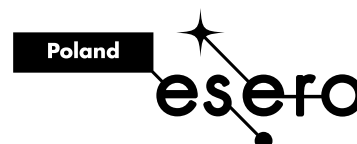
## Rozwijane umiejętności

- obserwacja i wnioskowanie
- odkrywanie zależności między zjawiskami
- wyrażanie i uzasadnianie własnego zdania
- współpraca w grupie

## Metody pracy

- burza mózgów
- praca w grupach
- elementy metody badawczej

CENTRUM  
NAUKI  
KOPERNIK





## Czas

90 minut (2 godziny lekcyjne)



## Miejsce

sala lekcyjna



## Niezbędne materiały

- arkusz do dyskusji – załącznik 1
- arkusz do dyskusji (jeden na grupę) – załącznik 2
- telefon komórkowy z dostępem do internetu lub laptop (1 na grupę)
- zestaw doświadczalny 1 (jeden dla każdej grupy)
  - duże przezroczyste naczynie / kubek plastikowy 0,5 l / przecięta na pół butelka lub duży stoik
  - 2 kawałki folii aluminiowej w formacie A5 (na grupę)
- woda do napełnienia naczynia
- zestaw doświadczalny 2 (jeden dla każdej grupy)
  - duże przezroczyste naczynie / kubek plastikowy 0,5 l / przecięta na pół butelka lub duży stoik
  - ciepła woda
  - 1 kg soli na wszystkich uczestników
  - 1 kurze jajo na grupę
  - tyżka stołowa (jedna na grupę)

## Przygotowanie zajęć

Podczas ćwiczenia **Balony stratosferyczne** przeprowadzisz z uczennicami/uczniemi dyskusję, w której wykorzystasz arkusze do dyskusji (załącznik 1 i 2).

Aby przeprowadzić ćwiczenie **Odszukaj balon z najwyższym pułapem** przygotuj komputery lub telefony z otwartą aplikacją [tracker.habhub.org](https://tracker.habhub.org). Podczas tej części zajęć będziecie pracować w grupach.

W ćwiczeniu **Czym jest gęstość?** przeprowadzicie eksperyment, wykorzystując zestaw doświadczalny 1.

Podczas aktywności **Pływające jajko** wykorzystasz zestaw doświadczalny 2.

W ćwiczeniu **Przyjrzyjmy się bliżej balonom stratosferycznym** wykorzystasz arkusz do dyskusji (załącznik 3). Przygotuj również opis konstrukcji stratosferycznej (załącznik 4).

W trakcie ćwiczenia **Siła wyporu w służbie misjom stratosferycznym** wykorzystasz arkusz do dyskusji (załącznik 5).



10  
min

## Balony stratosferyczne



Rozpocznij lekcję od pogadanki. Zapytaj uczennice/uczniów: *jakie rodzaje balonów znają?* Usłyszysz zapewne: balony na gorące powietrze, balony weselne, balony z helem. Jeżeli pojawi się określenie „balony z helem”, zapytaj uczennice/uczniów: *jak sądzą, jak wysoko mogą one polecieć?* Pomysły zapisz na tablicy. Nie odrzucaj na razie żadnej propozycji. Wyświetl arkusz do dyskusji (załącznik 1). Omów z uczennicami/uczniami grafikę, która przedstawia poszczególne warstwy atmosfery wraz z ich nazwami. Poproś, żeby spróbowali/spróbowały określić, *do której warstwy taki balon może dolecieć?* Po dyskusji młode osoby dowiedzą się, że taki balon przy odpowiednich warunkach może dolecieć aż do stratosfery. Powiedz, że podczas zajęć spróbujecie dowiedzieć się, jakie prawa fizyki stoją za tym zjawiskiem.

Zapytaj uczennice/uczniów: *czy słyszali/słyszeli o misjach lub balonach stratosferycznych?* W zależności od odpowiedzi możesz podpowiedzieć, że są to misje profesjonalne, jak i amatorskie, organizowane w celu pomiaru temperatury, ciśnienia czy promieniowania kosmicznego oraz testów niewielkich układów pomiarowych czy technologicznych. Takie misje stratosferyczne mogą odbywać się za pomocą dużych i małych balonów (pokazujemy załącznik 2).



15  
min

## Odszukaj balon z najwyższym pułapem



Zapytaj uczennice/uczniów: *czy ich zdaniem często wykonuje się misje balonami stratosferycznymi. Ile tygodniowo może takich misji startować?* Zapisz odpowiedzi na tablicy.

Podziel klasę na 3–4-osobowe zespoły i rozdaj im komputery z włączoną stroną: [tracker.habhub.org](https://tracker.habhub.org) (jeśli nie dysponujesz komputerami, możecie otworzyć aplikację na swoich telefonach). Jest to strona, na której można śledzić większe misje stratosferyczne, które odbyły się w ciągu ostatnich dni.

Poproś uczniów i uczennice, aby korzystając z komputera/komórki:

1. Zlokalizowały, ile balonów zostało wystanych w ciągu ostatnich 3 dni.
2. Znalazły balon, który osiągnął najwyższy pułap przelotu (trzeba kliknąć na linię pod balonem, by zobaczyć te dane).
3. Obliczyły, z jaką średnią prędkością (w km/h) względem Ziemi leciał balon. (Chodzi o prędkość horyzontalną, nie o prędkość wznoszenia. Wszystkie dane do obliczeń powinny być widoczne po kliknięciu na linię trasy balonu. Mamy tam takie informacje, jak Distance (dystans) oraz Duration (czas trwania misji).

Poproś uczennice/uczniów, by podzieliły/podzielili się swoimi spostrzeżeniami i wynikami z pozostałymi grupami.

Teraz, gdy już wiemy, że misje stratosferyczne nie są rzadkością, możemy zbadać, dlaczego balony się unoszą, i to tak wysoko.



## Czym jest gęstość?



Podziel uczennice i uczniów na 3–4-osobowe grupy i rozdaj materiały z zestawu doświadczalnego.

Każda grupa napętnia naczynie wodą.

Napisz wzór gęstości na tablicy  $\text{gęstość} = \frac{\text{masa}}{\text{objętość}}$  lub  $\rho = \frac{m}{V}$

wraz z jednostkami fizycznymi: gęstość = [kg/m<sup>3</sup>], m = [kg], V = [m<sup>3</sup>].

Wyjaśnij uczniom/uczennicom, że mają przed sobą wodę i aluminium. Według danych dostępnych w literaturze mają one różną gęstość. Aluminium ma gęstość 2733 kg/m<sup>3</sup>, a woda – 997 kg/m<sup>3</sup>.

*Ale co to znaczy? Zapytaj uczniów i uczennice: czy mają pomysł jak zobrazować tę różnicę w gęstościach? Jeśli nie pojawiają się pomysły zaproponuj porównanie dwóch kostek o wymiarach 1m x 1m x 1m, jedna składająca się z aluminium miałaby masę 2733 kg. Natomiast sześcian o tych samych wymiarach, ale składający się z wody, miałby masę już tylko 997 kg. Jakie to ma znaczenie? Przejdźmy do ćwiczenia.*

1. Powiedz uczennicom/uczniom, by z jednego arkusza aluminium oderwały/oderwali mały listek.
2. Następnie niech zanurzą cały listek w wodzie i puszczą.

Młode osoby zaobserwowały, jak listek z aluminium zatonął. *Zapytaj, jaki z tego wniosek?* Chodzi o to, by zrozumiały, że obiekt o większej gęstości zawsze tonie.

Przejdź do drugiej części zadania. Poproś, by uczennice/uczniowie wyciągnęły/wyciągnęli listek z wody. Powiedz, że mają przed sobą listek z aluminium oraz pozostały kawałek folii aluminiowej. *Czy patrząc na wzór, da się zbudować taki obiekt / taką konstrukcję, by po potączeniu listka aluminiowego z kolejnym kawałkiem aluminium konstrukcja nie zatonała?*

Poprawne rozwiązanie polega na zbudowaniu na tyle szerokiej platformy z folii aluminiowej, by utrzymała na powierzchni listek aluminiowy.

Zapytaj o wnioski. *Dlaczego teraz konstrukcja nie zatonała?* Odpowiedzią może być, że pomimo tego, że gęstość aluminium jest większa niż wody, zwiększając objętość („V” we wzorze), zmniejszyliśmy średnią gęstość całego obiektu. Właśnie zbudowaliśmy statek wodny. Zatem widzimy, że ciało tonie, gdy ma większą gęstość niż woda, natomiast unosi się, gdy jego gęstość jest mniejsza.



Zadaj pytanie, czy jesteśmy w stanie sprawić, by obiekt ani nie tonął, ani się nie wynurzał?

Przejdźmy do kolejnego ćwiczenia.



15  
min

## Pływające jajko



Poproś uczennice/uczniów, by nalały/nalali wody do wysokości połowy naczynia (jednak tak, by woda znacznie zakryła jajko), a następnie wrzucili tam jajko. Jajko opadło na dno. Zapytaj dla utrwalenia, *dlaczego jajko zatonało*. Oczywiście ze względu na większą średnią gęstość jajka od gęstości wody. Skoro wiemy, że większa średnia gęstość ciała od wody sprawia, że ciało tonie, a mniejsza powoduje wynurzenie, zapytaj młode osoby, jaką gęstość według nich musiałoby mieć jajko, by ani nie zatonało, ani nie wynurzało się. Dyskusja powinna nakierować je na odpowiedź, że średnia gęstość wody i jajka powinna być taka sama.

1. Poproś uczennice/uczniów, by wyciągnęły/wyciągnęli jajko z wody.
2. Następnie niech wsypują 2–3 duże łyżki soli do wody i ją rozpuszczają. Soli trzeba dodać na tyle dużo, by jajko wypłynęło.
3. Teraz wkładają ponownie jajko do zasolonej wody. Powinno ono wypłynąć ze względu na to, że średnia gęstość jajka jest teraz mniejsza niż średnia gęstość wody z solą.



4. Naszym celem jest jednak sprawić, by jajko ani nie tonęło, ani nie wypływało. Zatem trzeba obniżyć stopniowo średnią gęstość wody z solą. By zobaczyć efekt najlepiej, wlewamy powoli (np. po łyżeczce) wodę do naczynia. W pewnym momencie jajko zacznie pływać.





Wyposażeni w tę wiedzę możemy wrócić do tematu balonów stratosferycznych.



10  
min

## Przyjrzyjmy się bliżej balonom stratosferycznym



Zapytaj uczennice/uczniów: *czy już wiedzą, co sprawia, że balony stratosferyczne unoszą się w powietrzu? Zapisz odpowiedź w widocznym miejscu. Zastanówcie się co powoduje, że średnia gęstość takiego balonu jest mniejsza niż gęstość powietrza? Możemy zapytać, czy jak napompujemy sami zwykły balon, to on się unosi, czy może spada na ziemię. Dyskusja ma zmierzać do tego, że balony stratosferyczne wypełnione są gazem o niższej gęstości niż powietrze, np. hel, wodorem.*

Zaprezentuj wykres (załącznik 3). Przedstawia on pomiary różnych parametrów ziemskiej atmosfery, od poziomu morza aż po granicę kosmosu. Zapytaj, *czy na podstawie tego wykresu da się odgadnąć, na jaki maksymalny pułap latają balony stratosferyczne.*

Uczniowie/uczenice powinni zauważyć, że wraz ze wzrostem wysokości gęstość spada, a w okolicach 30–40 km jest już bardzo mała. Rozmowa doprowadzi was za pewne do wniosków, że na pewnej wysokości średnia gęstość powietrza zrówna się ze średnią gęstością balonu stratosferycznego, przez co będzie on unosił się mniej więcej na stałym pułapie.



Teraz możemy powiedzieć, że właśnie takie pomiary atmosfery (do 40 km n.p.m.) prowadzą balony stratosferyczne.

*Ale jak to robią?* Dowiedzmy się więcej o balonach i spróbujmy zrobić projekt własnej misji stratosferycznej.

Jak już wcześniej wspomnieliśmy, balony wypełnia się najczęściej helem, rzadziej wodorem. Pokazujemy ilustrację (załącznik 4) i przedstawiamy, z czego składa się taka konstrukcja:

Konstrukcja stratosferyczna składa się przede wszystkim z tzw. payloadu (ładunku), czyli wielu czujników, które mierzą parametry atmosfery i najczęściej wysyłają je drogą radiową od razu do stacji naziemnych. Poza czujnikami często umieszcza się w payloadzie kamery i aparaty fotograficzne, by uwiecznić spektakularny widok na Ziemię z takiej wysokości.

Kolejnym elementem misji stratosferycznej jest spadochron, z którym ostatecznie nasz ładunek będzie mógł wrócić nienaruszony na ziemię.

Ostatnią najważniejszą częścią naszej konstrukcji jest sam balon, wypełniony helem lub wodorem. Taki balon najczęściej po kilku godzinach lotu na maksymalnej wysokości, kiedy osiągnął już stan równowagi wyporu sił, pęka ze względu na surowe warunki panujące na zewnątrz i wewnątrz balonu.



#### Ciekawostka

Ciekawostka: Bardzo duże balony o specjalnej konstrukcji są jednak w stanie prowadzić pomiary nawet przez kilka tygodni.



## Siła wyporu w służbie misjom stratosferycznym



Misje stratosferyczne (projektowanie, budowa i wystanie ładunku w stratosferę) są coraz częściej wysyłane już nawet przez uczennice/uczniów szkół podstawowych. Zazwyczaj w asyście nauczycielki/nauczyciela budują i wyposażają swój payload, a następnie po odzyskaniu balonu analizują zebrane dane na lekcjach. Jest to świetna okazja do poznawania zagadnień z zakresu elektroniki, projektowania 3D, nauk ścisłych i ogólnie pojętej inżynierii kosmicznej.

Jeżeli chcemy wystać swój balon stratosferyczny, powinniśmy przede wszystkim zacząć od założeń, co chcemy wynieść w stratosferę i jaką masę będzie miał payload.

*Jak zatem obliczyć, czy taki balon uniesie nasz ładunek?*

Wyobraźmy sobie, że mamy wagę i na jednej szalce kładziemy balon wypełniony 1 m<sup>3</sup> powietrza, na drugiej zaś balon wypełniony 1 m<sup>3</sup> helu.

*W którą stronę przechyli się waga?*

Odpowiedź: Tam, gdzie jest powietrze. Ponieważ jak już wiemy, powietrze ma większą gęstość niż hel, więc tym samym ma większy ciężar (siłę uwzględniającą masę i przyciąganie grawitacyjne).

Jeden metr sześcienny powietrza ma masę 1300 gramów, natomiast metr sześcienny helu ma masę już tylko 200 gramów.

*Jak zatem obliczyć, ile taki balon uniesie dzięki tzw. sile wyporu?*

Siła wyporu pojawia się po zanurzeniu ciała w płynie (czyli w cieczy lub w gazie). Powoduje ona, że ciało zaczyna być wypychane ku górze. Siła tego wypychania pochodzi od płynu i jest związana ze zjawiskiem ciśnienia hydrostatycznego lub w naszym przypadku aerostatycznego. Powodem powstawania siły wyporu jest fakt, że ciśnienie w płynie zmienia się wraz z głębokością – im głębiej, tym większe ciśnienie. Ponieważ zanurzone ciało ma pewne rozmiary, a w szczególności pewną wysokość, to inne ciśnienie działa u góry ciała, a inne przy jego dolnej powierzchni. Większe ciśnienie na dole niż na górze powoduje, że od dołu do góry działa także większa siła parcia. W efekcie zsumowania wektorów większej siły do góry z mniejszą do dołu powstaje sumaryczna siła skierowana do góry. Nazywa się ona właśnie siłą wyporu (załącznik 5).

Balony unoszą się w powietrzu, ponieważ siła wyporu na nie działająca jest większa niż siła ciężkości.

Archimedes jako pierwszy doszedł do wniosku, że siła wyporu jest równa ciężarowi wypartego płynu. Ciało wypiera tyle płynu, ile wynosi objętość jego zanurzonej części. Gdy ciało jest zanurzone w całości, tak jak nasz balon zanurzony w powietrzu, wtedy siła wyporu jest równa ciężarowi płynu o objętości tego ciała.

By obliczyć siłę wyporu dla balonu, należy znać średnią gęstość wypartego powietrza (1,29 kg/m<sup>3</sup>), objętość balonu oraz wartość ziemskiego przyspieszenia grawitacyjnego (w przybliżeniu 10 m/s<sup>2</sup>).

Opisuje to wzór:

$$F_w = d_{\text{powietrza}} \times V_{\text{balonu}} \times g$$



10  
min

### Czy balon zabierze kamerę w stratosferę?

Uczen/nice/uczniowie zakupiły/zakupili balon, który po napetnieniu helem ma objętość  $14 \text{ m}^3$ . Masa poszycia balonu oraz helu w środku wynosi łącznie  $3,5 \text{ kg}$ . Zdecydowały/zdecydowali się wystąpić w stratosferę payload w postaci kamery oraz zestawu czujników wraz z modułem GPS celem późniejszego znalezienia ładunku. Masa payloadu wynosi  $1 \text{ kg}$ . Przyjmując, że średnia gęstość powietrza wynosi  $1,2 \text{ kg/m}^3$ :

- oblicz siłę wyporu samego balonu,
- sprawdź, czy balon udźwignie payload.

Ad a)

Mając dane, podstawiamy do wzoru  $F_w = d_{\text{powietrza}} \times V_{\text{balonu}} \times g$

$$F_w = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 14 \text{ m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F_w = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 14 \text{ m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 = \mathbf{168 \text{ N}}$$

Odpowiedź: Siła wyporu balonu ma wartość  $168 \text{ N}$ .

Ad b)

By sprawdzić, czy balon udźwignie payload, należy porównać obliczoną siłę wyporu z siłą ciężkości działającą na cały obiekt (ciężar payloadu, poszycia balonu oraz helu wewnątrz). Jeżeli siła wyporu będzie większa od siły ciężkości, balon się uniesie.

Siłę ciężkości obliczamy za pomocą wzoru  $F_g = m \times g$ , czyli w naszym przypadku:

$$F_g = (m_{\text{balonu z helem}} + m_{\text{payload}}) \times g.$$

Podstawiamy:

$$F_g = (3,5 \text{ kg} + 1 \text{ kg}) \times 10 \text{ m/s}^2 = \mathbf{45 \text{ N}}.$$

Teraz porównujemy. Z obliczeń wynika, że siła wyporu działająca na balon jest większa niż siła ciężkości, zatem balon się uniesie, a kamera dotrze do stratosfery.

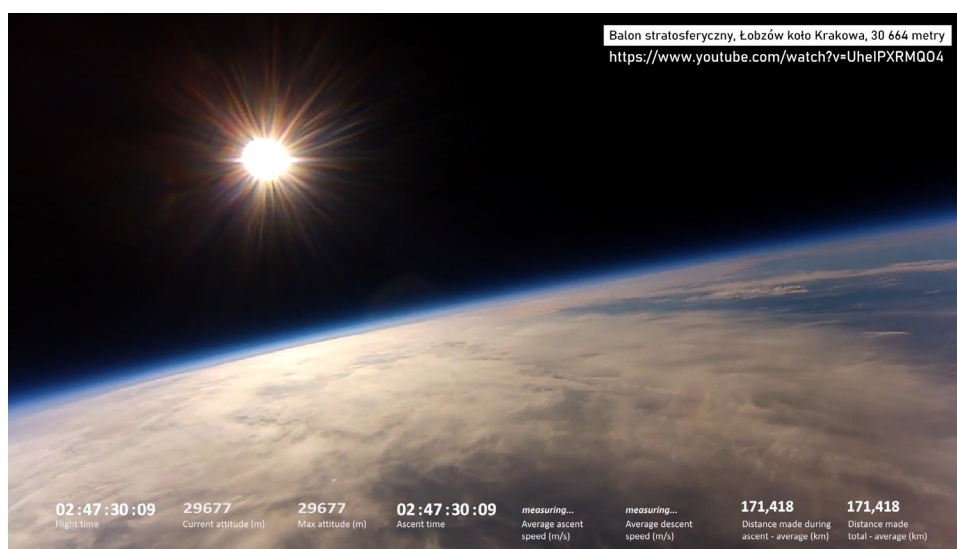


5  
min

### Prezentacja filmu oraz dyskusja

Na koniec wyświetl film prosto z balonu stratosferycznego. Film jest długi, więc najlepiej go przewijać, pokazując, też ile taki balon potrzebuje czasu, by się unieść na 30 km.

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=UheIPXRMQO4>



Poprowadź dyskusję z uczennicami/uczniami. Możesz zapytać, czy ich zdaniem trudne jest wystanie balonu stratosferycznego? Czy mają pomysł na zorganizowanie swojej misji stratosferycznej? Gdyby mogły/mogli ją zorganizować, co by wystąpił/wystąpi, zbadali/zbadali? Czy takim balonem da się sterować? Skąd wiemy, gdzie on poleciał (tutaj warto wspomnieć, że balon leci tam, gdzie poniosą go prądy powietrzne, jednak możemy wykonać przybliżoną symulację lotu na odpowiednich stronach internetowych)? Czy każdy może wypuścić misję stratosferyczną? Tutaj warto wspomnieć, że misję taką zgłasza się wcześniej odpowiednim służbom zajmującymi się przestrzenią powietrzną.

### Wykaz przydatnych linków:

- aplikacja do śledzenia aktualnych misji stratosferycznych na świecie:  
[https://tracker.habhub.org/#!mt=roadmap&mz=5&qm=1\\_day&f=LU-1ESY-16&q=!RS\\_\\*](https://tracker.habhub.org/#!mt=roadmap&mz=5&qm=1_day&f=LU-1ESY-16&q=!RS_*);
- film z przykładowej misji stratosferycznej:  
<https://www.youtube.com/watch?v=UhelPXRMQO4>
- Program ESA Rexus/Brexux, który wykorzystuje balony stratosferyczne:  
[https://www.esa.int/Education/Rexus\\_Bexus/About\\_REXUS\\_BEXUS](https://www.esa.int/Education/Rexus_Bexus/About_REXUS_BEXUS)

### Odniesienie do podstawy programowej

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

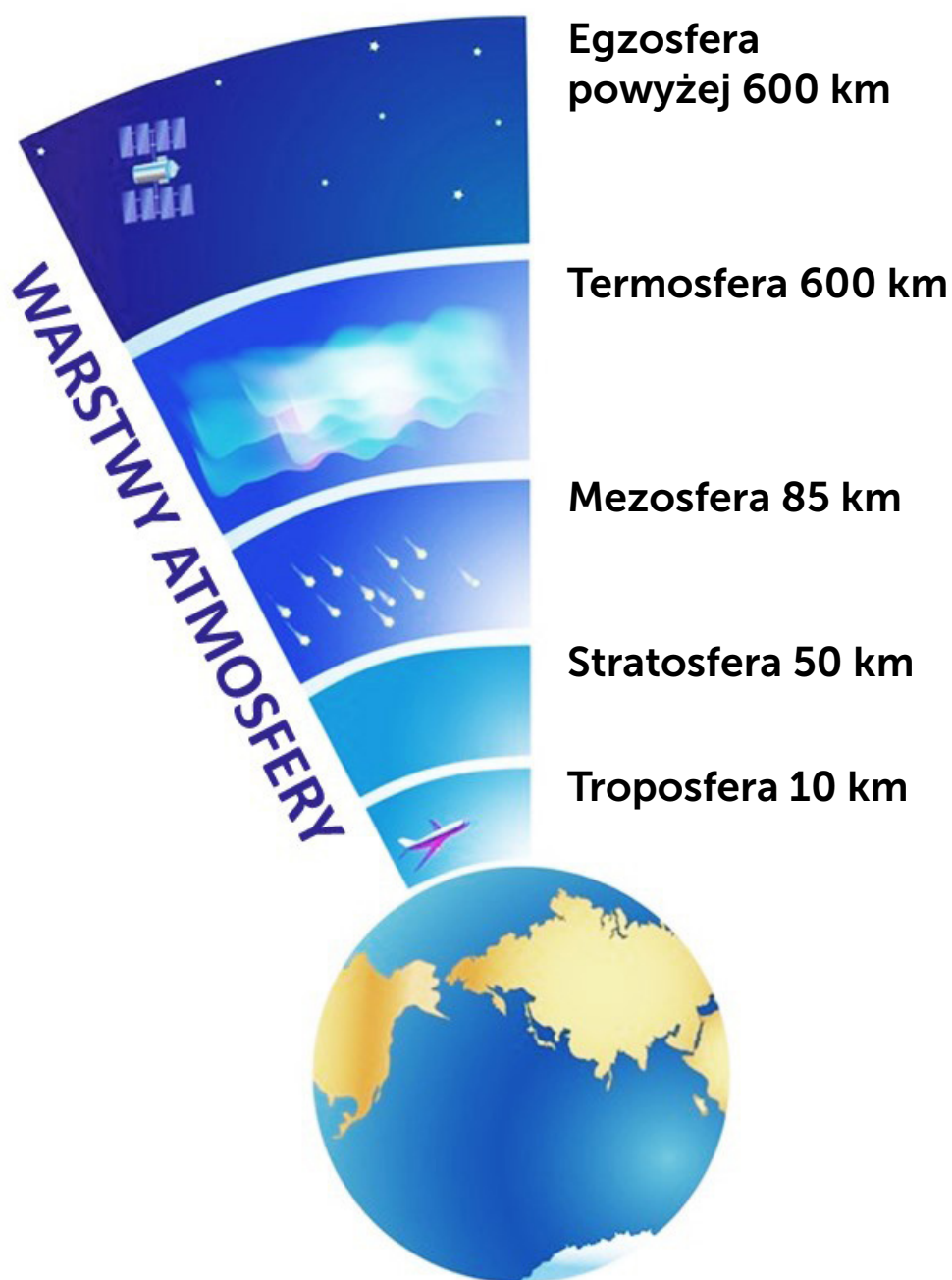
V. Właściwości materii. Uczeń:

- posługuje się pojęciami masy i gęstości oraz ich jednostkami; analizuje różnice gęstości substancji w różnych stanach skupienia wynikające z budowy mikroskopowej ciał stałych, cieczy i gazów
- posługuje się pojęciem ciśnienia atmosferycznego
- analizuje siły działające na ciała zanurzone w cieczach lub gazach, posługując się pojęciem siły wyporu i prawem Archimedesesa

# Załącznik 1

## Arkusz do dyskusji

### Warstwy atmosfery





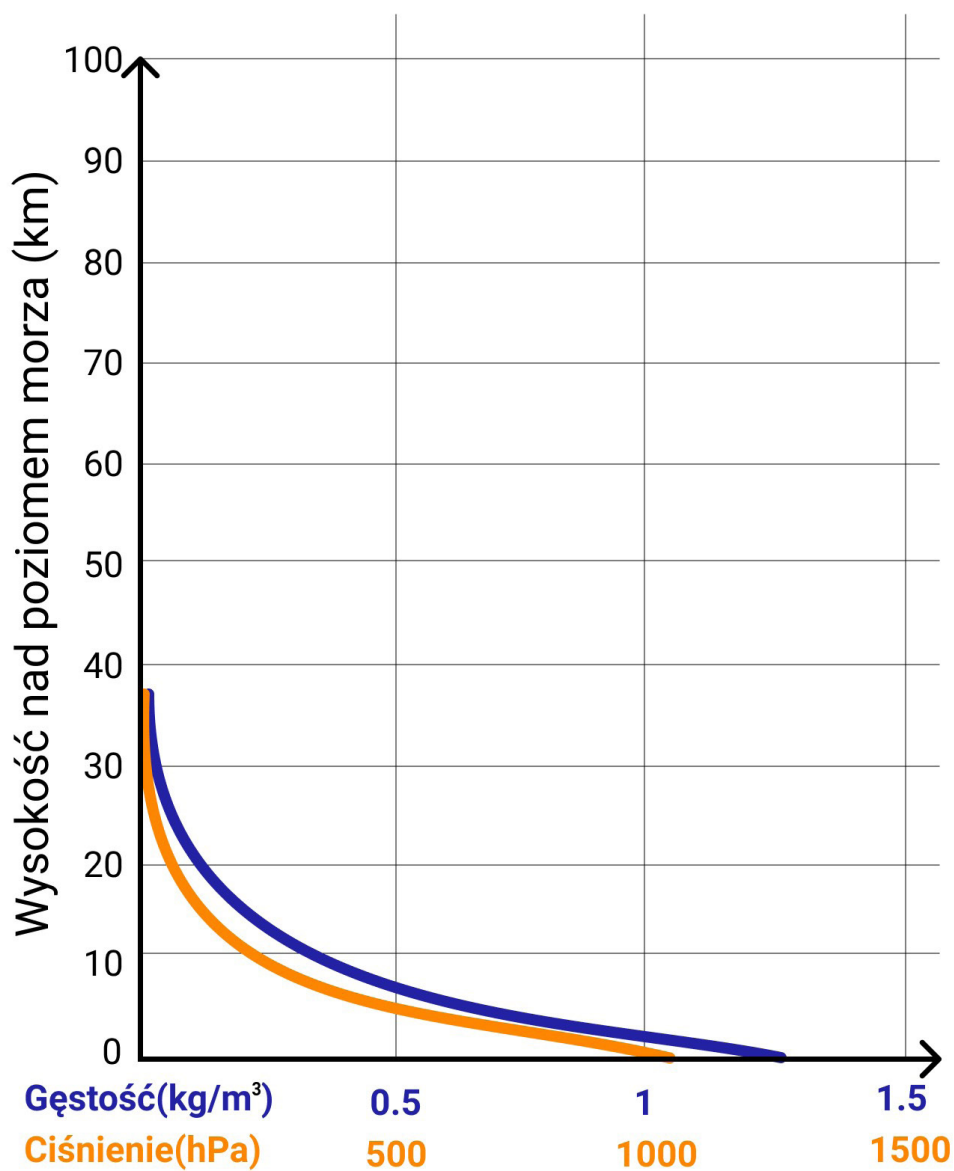
# Załącznik 2

## Rodzaje balonów stratosferycznych



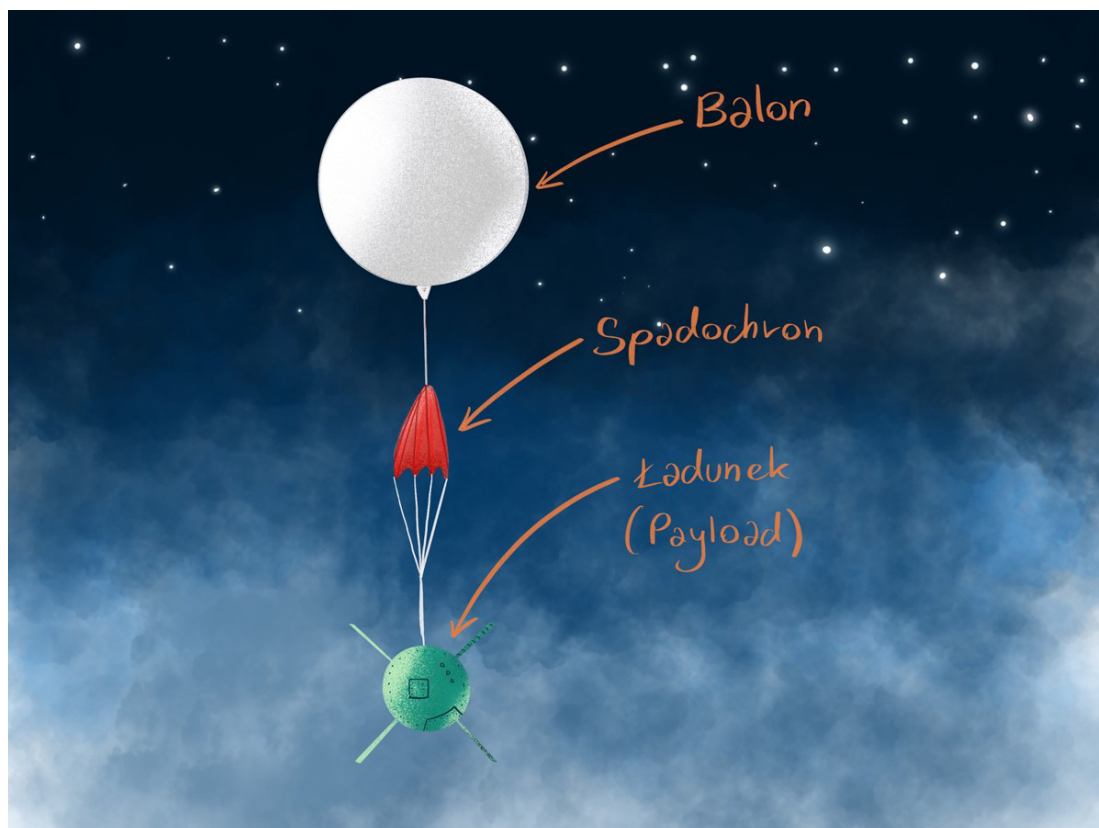
# Załącznik 3

## Wykres do omówienia



# Załącznik 4

## Opis konstrukcji stratosferycznej



# Załącznik 5

## Ilustracja siły wyporu

