

# Astrolabium

Konkurs astronomiczny

## Klimat na planetach



Szkoła Podstawowa Klasy VII-VIII  
Gimnazjum Klasa III  
Doświadczenie konkursowe 2

**Rok 2019**

## 1. Wstęp teoretyczny

Podstawowym źródłem ciepła na powierzchni planet Układu Słonecznego, w tym Ziemi, jest dochodzące do tejże powierzchni promieniowanie słoneczne. Aby jednak temperatura na powierzchni planety była w dłuższym okresie stała, potrzebne jest, by tyle samo ciepła - energii otrzymywanej ze Słońca - było emitowane przez planetę z powrotem w przestrzeń kosmiczną. Gdyby było inaczej, planeta stopniowo by się ocieplała lub oziębiała. Emisja energii z powierzchni planety ma miejsce głównie w podczerwieni.

Emisja promieniowania z powierzchni Słońca, jak i planet może być przybliżona przez model tzw. **ciała doskonale czarnego**. Jest to wyidealizowany przypadek ciała, które pochłania wszelkie padające nań promieniowanie, niezależnie od długości fali. Natomiast to, ile energii emituje, zależy tylko od jego temperatury. Rozkład tej emisji w zależności od długości fali emitowanego promieniowania opisany jest konkretnym wzorem, a kształtem przypomina asymetryczny dzwon. Całkowita moc emitowana na jednostkę powierzchni (czyli tak zwany **strumień energii  $\Phi$** ) przez ciało doskonale czarne opisywana jest **wzorem Stefana-Boltzmann**:

$$\Phi = \sigma T^4$$

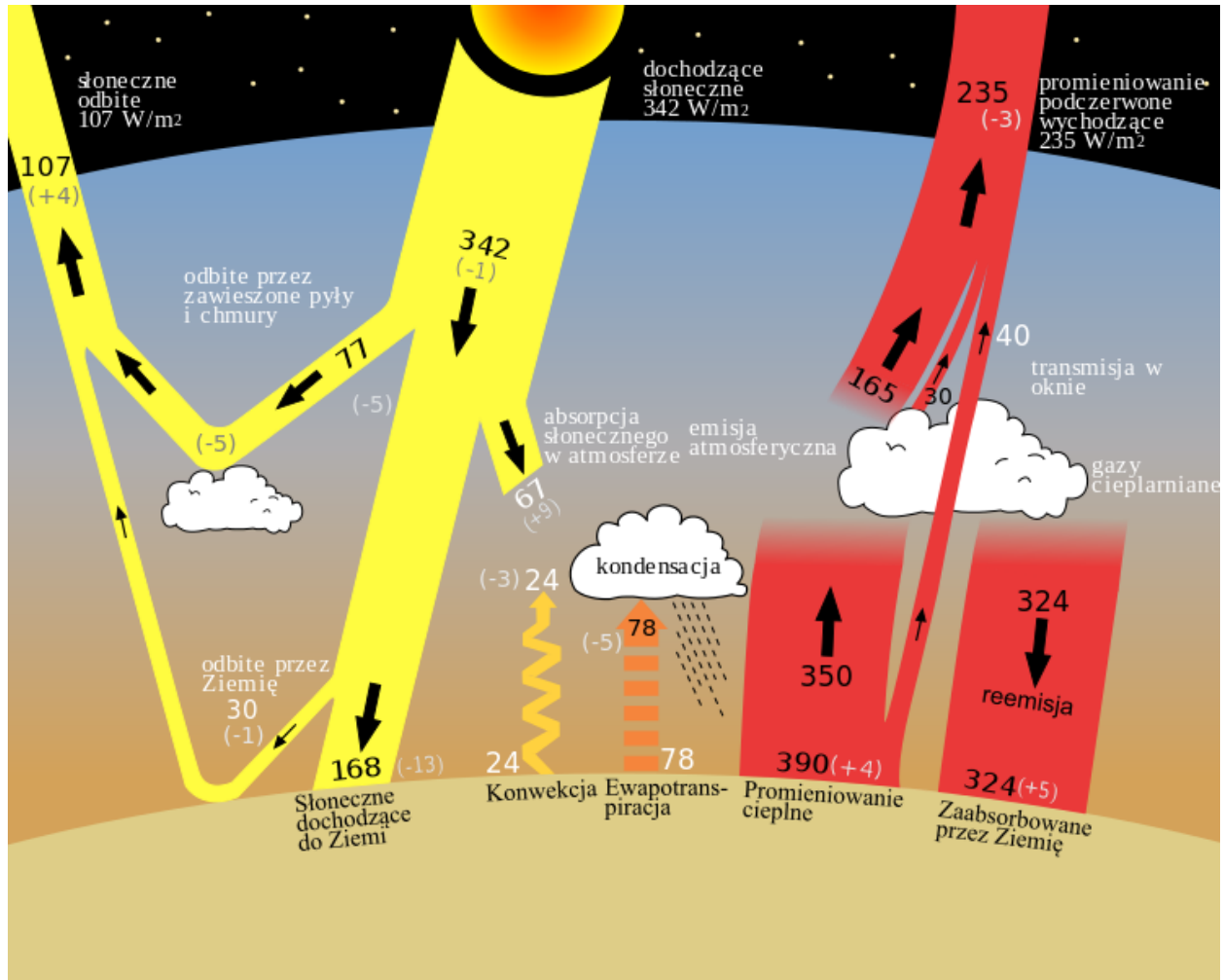
gdzie  $\sigma$  stanowi pewną stałą proporcjonalności, a temperatura  $T$  jest wyrażona w Kelwinach<sup>1</sup>.

W rzeczywistości jednak jedynie część promieniowania dochodzącego ze Słońca jest pochłaniana przez powierzchnię planety, część jest odbijana z powrotem w przestrzeń kosmiczną<sup>2</sup>. Procent światła, jaki odbija dana planeta, to **albedo**. Możemy oznaczyć je literą  $\alpha$ . Wielki wpływ na albedo ma obecność atmosfery, w szczególności chmur, które odbijają promieniowanie Słońca z powrotem w przestrzeń kosmiczną. Gdyby albedo planety wynosiło 1, to cała energia ze Słońca byłaby odbita przez atmosferę i nic nie dotarłoby do powierzchni planety. Analogicznie, gdy albedo wynosi 0, cała energia słoneczna jest pochłaniana przez planetę, bez efektu odbicia.

Atmosfera może też w mniejszym lub większym stopniu blokować emisję promieniowania z powierzchni planety, zatrzymując tym samym energię i ogrzewając planetę. W takim wypadku, aby zrównoważyć bilans otrzymywanej i emitowanej energii, powierzchnia planety musi być cieplejsza niż wynikałoby to z przeliczenia strumienia energii na temperaturę za pomocą wzoru Stefana-Boltzmann. Jest to tzw. **efekt cieplarniany** podwyższający temperaturę na danej planecie. Ilość blokowanego promieniowania zależy od składu i gęstości atmosfery. Para wodna i dwutlenek węgla są istotnymi gazami, które blokują promieniowanie podczerwone z powierzchni planety, a jednocześnie są stosunkowo przezroczystymi dla światła widzialnego dochodzącego ze Słońca.

<sup>1</sup> skala Kelvina liczona jest od zera bezwzględnego. Aby wyrazić temperaturę w Kelvinach, do temperatury w stopniach Celsjusza należy dodać 273,15 stopnia

<sup>2</sup> co sprawia, że planety świecą światłem odbitym



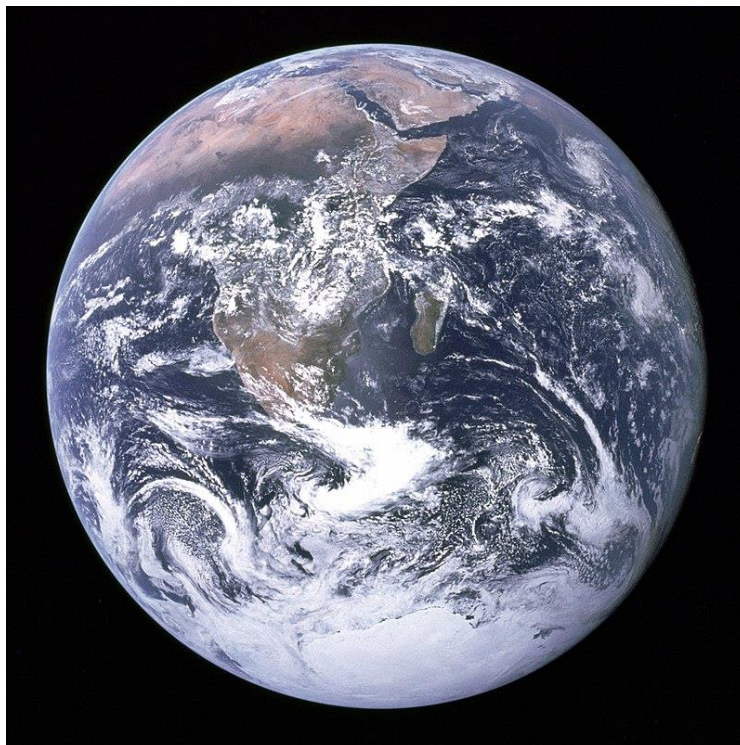
Rysunek 1. Schemat pokazujący bilans strumienia energii dochodzącego ze Słońca i oddawanego z powierzchni Ziemi.  
 Źródło: Wikipedia<sup>3</sup>

Rozpatrzmy przypadki trzech skalistych planet Układu Słonecznego, które posiadają atmosferę: Wenus, Ziemi i Marsa. Wenus, krążąca najbliżej Słońca, jest tylko niewiele mniejsza od Ziemi, jednak osłonięta jest grubą atmosferą. Masa atmosfery Wenus wynosi  $4,8 \cdot 10^{20}$  kg. Chmury zasłaniają całą jej powierzchnię, zapewniając planecie duże albedo (0,77), lecz atmosfera złożona w 96% z dwutlenku węgla powoduje olbrzymi efekt cieplarniany, przez co średnia temperatura na jej powierzchni wynosi ok.  $464^\circ \text{C}$ . Ziemia posiada atmosferę o masie  $5,1 \cdot 10^{18}$  kg złożoną głównie z azotu i tlenu z niewielką domieszką pary wodnej i dwutlenku węgla, mniejsze albedo (0,306) i średnią temperaturę na powierzchni ok.  $15^\circ \text{C}$ . Mars, znajdujący się najdalej od Słońca, ma o połowę mniejszą średnicę i ok. 10-krotnie mniejszą masę od Ziemi. Jego albedo wynosi 0,25, a atmosfera ważąca  $2,5 \cdot 10^{16}$  kg złożona jest w 96% z dwutlenku węgla. Średnia temperatura na powierzchni Marsa wynosi ok.  $-63^\circ \text{C}$ .

<sup>3</sup> pl.wikipedia.org/wiki/Efekt\_cieplarniany#/media/File:Sun\_climate\_polish3.svg



Rysunek 2. Wenus. Źródło: Wikipedia<sup>4</sup>.

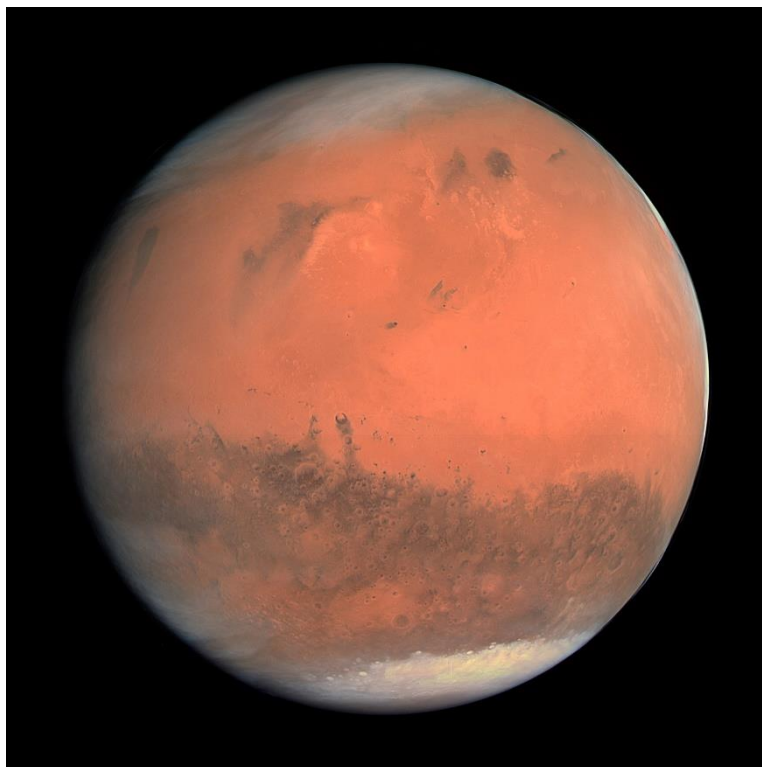


Rysunek 3. Ziemia. Źródło: Wikipedia<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> [en.wikipedia.org/wiki/Venus#/media/File:Venus-real\\_color.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Venus#/media/File:Venus-real_color.jpg)

<sup>5</sup> [en.wikipedia.org/wiki/Earth#/media/File:The\\_Earth\\_seen\\_from\\_Apollo\\_17.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Earth#/media/File:The_Earth_seen_from_Apollo_17.jpg)



Rysunek 4. Mars. Źródło: Wikipedia<sup>6</sup>.

Do każdej planety dociera strumień promieniowania słonecznego tym mniejszy, im dalej dana planeta krąży od Słońca. Aby uzyskać całkowitą moc emitowaną przez Słońce, należałoby pomnożyć strumień emitowany<sup>7</sup> przez powierzchnię Słońca. Słońce jest kulą o promieniu  $R_{\odot} = 696\,000$  km, więc powierzchnia Słońca jest sferą o promieniu  $4\pi R_{\odot}^2$ . Nas interesuje jednak, jak zmniejsza się strumień promieniowania dochodzący do danej planety. Wyobraźmy sobie sferę o promieniu równym odległości od środka Słońca do planety ( $d_{\text{Słońce-planeta}}$ ). Ta sama ilość energii rozłożona jest teraz na większą powierzchnię i absorbowana przez planetę o promieniu  $R_{\text{planeta}}$ . Strumień ten pada na powierzchnię planety, ale nie na całą powierzchnię, lecz jedynie na część oświetloną przez Słońce. Powierzchnia oświetlona stanowi zaś przekrój planety, a przekrój kuli ma po prostu kształt koła o powierzchni  $\pi R_{\text{planeta}}^2$ . Czyli strumień zmniejsza się jak:

$$\frac{\pi R_{\text{planeta}}^2}{4\pi d_{\text{Słońce-planeta}}^2}$$

Następnym krokiem jest policzenie, jaka część strumienia dociera do powierzchni planety. Pamiętajmy, że część energii jest odbijana, a wielkością, która nam o tym mówi jest albedo. Aby policzyć, jaką temperaturę powinna mieć planeta ogrzewana tylko przez Słońce, należy zbudować bilans energetyczny. Czyli jeszcze raz zapisać równanie Stefana-Bolzmann, ale już dla strumienia emitowanego przez planetę. Przyjmujemy, że planeta (podobnie jak Słońce) wypromieniowuje energię we wszystkich kierunkach, więc strumień należy pomnożyć przez powierzchnię sfery o

<sup>6</sup> en.wikipedia.org/wiki/Mars#/media/File:OSIRIS\_Mars\_true\_color.jpg

<sup>7</sup> w przybliżeniu jest to strumień ciała doskonale czarnego o temperaturze 5772 K

promieniu planety. Przyrównując całkowitą moc absorbowaną przez powierzchnię planety do całkowitej mocy przez nią wypromieniowanej, wyliczymy temperaturę, którą nazywamy **temperaturą równowagową**. Mówi nam ona o tym, jaką temperaturę powinna mieć planeta, gdyby nie było na niej efektu cieplarnianego.

## 2. Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest określenie wpływu efektu cieplarnianego na temperaturę na danej planecie.

## 3. Opis wykonania doświadczenia

Wszystkie obliczenia wykonaj dla trzech planet skalistych: Wenus, Ziemi i Marsa. Oblicz, ile strumienia emitowanego przez Słońce dociera do powierzchni planet. Jaki procent emisji z powierzchni ucieka w przestrzeń kosmiczną? Wykonaj bilans energetyczny i oblicz temperaturę równowagową. Porównaj ją z rzeczywistą temperaturą na planetach. Co wynika z tego porównania? Co można powiedzieć o efekcie cieplarnianym na poszczególnych planetach? Wszystkie potrzebne dane znajdziesz w tabeli poniżej.

Parametr	Słońce	Wenus	Ziemia	Mars
Promień [km]	696 000	6051,8	6371	3389,5
Temperatura [K]	5772	737	288	210
Albedo		0,77	0,306	0,25
Odległość od Słońca [km]		109 000 000	149 600 000	228 000 000

Tabela 1. Zestawienie wybranych parametrów Słońca i trzech planet skalistych.