



Wprowadzenie teoretyczne

Doświadczenie „EFECT CIEPLARNIANY”

Promieniowanie ciepłe jest jednym ze sposobów przekazywania energii i polega na emisji fal elektromagnetycznych, głównie w zakresie podczerwieni. Każde ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględnej emituje promieniowanie ciepłe, którego intensywność zależy od temperatury oraz właściwości powierzchni.

Gazy obecne w atmosferze różnią się zdolnością do pochłaniania promieniowania ciepłego. W szczególności dwutlenek węgla (CO_2) wykazuje zdolność absorpcji promieniowania podczerwonego, podczas gdy główne składniki powietrza, takie jak azot (N_2) i tlen (O_2), absorbują je w znacznie mniejszym stopniu. Wynika to z budowy cząsteczek – tylko niektóre z nich mogą zmieniać swój moment dipolowy podczas drgań, co umożliwia oddziaływanie z promieniowaniem podczerwonym.

Promieniowanie słoneczne docierające do Ziemi składa się głównie z promieniowania krótkofalowego (światło widzialne oraz bliska podczerwień), które w dużej części przenika przez atmosferę i jest absorbowane przez powierzchnię Ziemi. W wyniku tego powierzchnia nagrzewa się i zaczyna emitować promieniowanie ciepłe o dłuższej długości fali (podczerwień daleka). Zdolność gazów do pochłaniania i emisji promieniowania ciepłego stanowi podstawę zjawiska zwanego jako efekt cieplarniany. Polega ono na tym, że promieniowanie podczerwone emitowane przez powierzchnię Ziemi jest częściowo pochłaniane przez gazy cieplarniane, a następnie ponownie emitowane we wszystkich kierunkach. Część tej energii wraca w kierunku powierzchni, co prowadzi do dodatkowego ogrzewania dolnych warstw atmosfery.

W efekcie bilans energetyczny Ziemi ulega zmianie – mniej energii jest wypromieniowane do przestrzeni kosmicznej, a temperatura powierzchni wzrasta. Zjawisko to jest naturalne i niezbędne do utrzymania warunków umożliwiających życie, jednak jego intensyfikacja, wynikająca ze wzrostu stężenia gazów cieplarnianych, prowadzi do obserwowanych zmian klimatycznych.

Dla kontrastu warto rozważyć warunki panujące na Księżycu, który znajduje się w przybliżeniu w tej samej odległości od Słońca co Ziemia, lecz praktycznie nie posiada atmosfery. W konsekwencji brak jest tam efektu cieplarnianego oraz mechanizmów magazynowania i redystrybucji ciepła. Powierzchnia Księżyca nagrzewa się w ciągu dnia do temperatur rzędu około $120\text{ }^\circ\text{C}$, natomiast w czasie nocy spadają one do około $-170\text{ }^\circ\text{C}$. Tak duże amplitudy temperatur wynikają z bezpośredniego bilansu promieniowania – energia dostarczana w ciągu dnia jest niemal natychmiast wypromieniowywana w przestrzeń kosmiczną po zachodzie Słońca. Przykład ten pokazuje, że obecność atmosfery i gazów cieplarnianych na Ziemi nie tylko podnosi średnią temperaturę, ale także znacząco ogranicza dobowe wahania temperatury.

Warto podkreślić, że efekt cieplarniany nie polega wyłącznie na „zatrzymaniu ciepła”, lecz na złożonym procesie obejmującym:

- absorpcję promieniowania o określonych długościach fal,
- reemisję energii przez cząsteczki gazów,
- wielokrotne oddziaływanie promieniowania z atmosferą.

W warunkach laboratoryjnych możliwe jest jedynie uproszczone odwzorowanie tego zjawiska, polegające na porównaniu zdolności różnych gazów do pochłaniania promieniowania ciepłego. W tym doświadczeniu porównywana będzie zmiana temperatury dwóch zamkniętych objętości gazu:

- powietrza atmosferycznego,
- CO_2 .

Zakłada się, że przy jednakowych warunkach oświetlenia i geometrii układu, gaz o większej zdolności absorpcji promieniowania ciepłego powinien osiągnąć wyższą temperaturę. Zmiana temperatury gazu opisywana jest równaniem bilansu energii:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

gdzie:

Q – dostarczone ciepło [J],

m – masa gazu [kg],

c – ciepło właściwe [J/(kg·K)],

ΔT – zmiana temperatury [K].

W praktyce na wynik wpływają również:

- przewodzenie ciepła przez ścianki naczynia,
- konwekcja wewnątrz gazu,
- straty ciepła do otoczenia.

Szybkość nagrzewania v będzie opisana zależnością

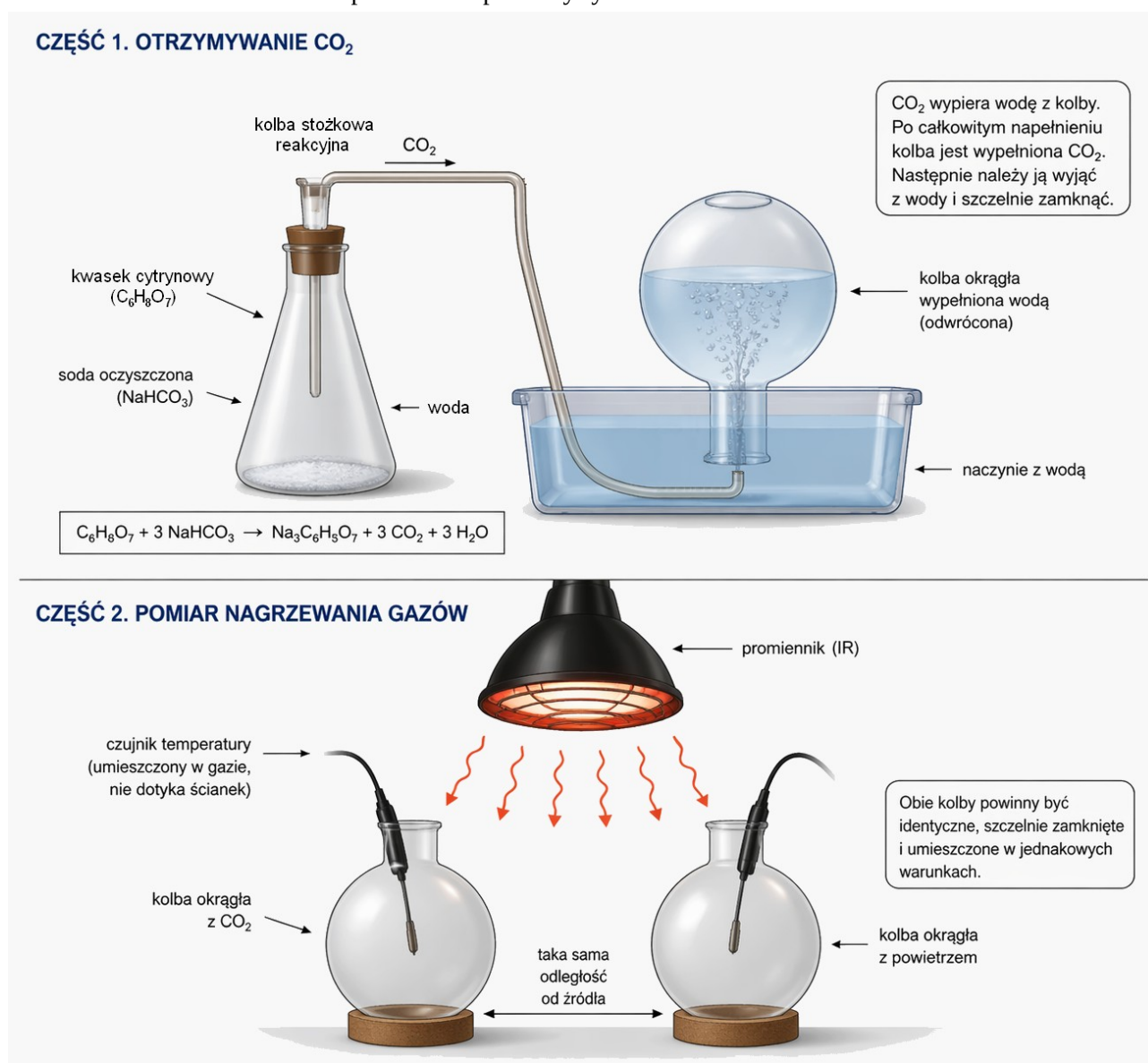
$$v = \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (2)$$

gdzie:

ΔT – zmiana temperatury [K].

Δt – przyrost czasu [min].

Schemat doświadczenia przedstawia poniższy rysunek.



Do wytworzenia CO₂, potrzebnego w doświadczeniu posłuży reakcja kwasu cytrynowego (C₆H₈O₇) z sodą oczyszczoną (NaHCO₃) nazwa chemiczna – wodorowęglan sodu. W reakcji chemicznej:



każdy 1 mol kwasu cytrynowego reaguje z 3 molami wodorowęglanu sodu. Powstają 3 mole CO₂, 3 mole wody i 1 mol cytrynianu sodu. Cytrynian sodu jest substancją dobrze rozpuszczalną w wodzie, jest powszechnie stosowany jako dodatek do żywności (E331) np. jako regulator kwasowości w napojach.

Roztwór wody i cytrynianu sodu, który pozostaje w kolbie reakcyjnej, po wykonanym doświadczeniu może być wylany do kanalizacji.

Objętość 1 mola gazu w temperaturze pokojowej to około 24 litry. Do przeprowadzenia doświadczenia potrzebujemy więc około 0,1 mola CO_2 . Potrzebujemy do tego co najmniej 0,03(3) mola kwasu cytrynowego ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) o masie molowej 192 g/mol, oraz 0,1 mola sody oczyszczonej (NaHCO_3) o masie molowej 84 g/mol. Niezbędne masy to:

- kwas cytrynowy $m = 0,03(3) \text{ mol} \cdot 192 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 6,4 \text{ g}$
- soda oczyszczona $m = 0,1 \text{ mol} \cdot 84 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 8,4 \text{ g}$

Woda nie wchodzi w reakcję, ale umożliwia rozpuszczenie składników i zajście reakcji. Użyjemy tu około $m \approx 100 \text{ g}$ wody.

Pytania do przygotowania:

„EFEKT CIEPLARNIANY”

1. Czym jest promieniowanie cieplne?
2. W jakim zakresie widma elektromagnetycznego występuje promieniowanie cieplne?
3. Na czym polega absorpcja promieniowania przez gaz?
4. Dlaczego CO₂ pochłania promieniowanie podczerwone, a N₂ i O₂ nie?
5. Na czym polega efekt cieplarniany?
6. Jakie znasz gazy cieplarniane?
7. Jak zmienia się koncentracja CO₂ w ostatnich dziesięcioleciach?
8. Jakie czynniki wpływają na zmianę temperatury gazu?
9. Podaj równanie bilansu cieplnego i omów jego składniki.
10. Jakie mogą być źródła błędów w tym doświadczeniu?
11. Dlaczego ważne jest, aby CO₂ miał temperaturę otoczenia przed pomiarem?
12. Jakie znaczenie ma szczelność układu pomiarowego?

Wskazówki do wykonania pomiarów

1. Przygotować:
 - małą kolbę stożkową (reakcyjną),
 - okrągłą kolbę odbiorczą (do CO₂),
 - korek z wężykiem,
 - duże naczynie z wodą.
2. Napełnić kolbę odbiorczą wodą do pełna.
3. Odwrócić kolbę odbiorczą i umieścić jej wylot pod powierzchnią wody w naczyniu.
4. Przygotować układ reakcyjny:
 - do kolby reakcyjnej wsypać 8-9 g sody oczyszczonej,
 - dodać kwasek cytrynowy 6-7 g,
 - wlać 100-200 ml wody
 - natychmiast zamknąć kolbę korkiem z rurką odprowadzającą gaz.
5. Wprowadzić końcówkę rurki pod wylot odwróconej kolby odbiorczej
6. Powstający gaz kierować do kolby odbiorczej, powodując wypieranie wody przez CO₂.
7. Kontynuować proces do całkowitego wypełnienia kolby gazem (brak widocznej wody).
8. Pierwszą porcję gazu (kilka-kilkanaście sekund reakcji) odprowadzić do atmosfery: zawiera powietrze z układu, może zafałszować wynik.
9. Po zakończeniu napełniania ostrożnie wyjąć kolbę z wody, natychmiast zamknąć korkiem.
10. Pozostawić kolbę na kilka minut w temperaturze otoczenia: umożliwia to wyrównanie temperatury gazu.
11. Umieścić w każdym naczyniu czujnik temperatury.
12. Ustawić oba naczynia w identycznych warunkach otoczenia, w tej samej odległości od źródła promieniowania (lampy)
13. Zanotować temperaturę początkową w obu naczyniach.
14. Włączyć źródło promieniowania cieplnego.
15. Prowadzić pomiar temperatury w odstępach czasowych (np. co 30 s lub 1 min).
16. Kontynuować pomiar przez określony czas (np. 10–15 min).
17. Po zakończeniu pomiaru wyłączyć źródło ciepła.
18. Zanotować temperaturę końcową.
19. Opcjonalnie: prowadzić pomiar chłodzenia po wyłączeniu lampy.
20. Uporządkować stanowisko.

„EFEKT CIEPLARNIANY”

Tabela 1. Parametry stanowiska

Parametr	Symbol	Wartość	Jednostka
Objętość naczynia	V		[m ³]
Odległość kolby od lampy	d		[cm]
Moc lampy	P		[W]
Temperatura początkowa (powietrze)	T _{0,p}		[°C]
Temperatura początkowa (CO ₂)	T _{0,CO₂}		[°C]

Tabela 2. Wyniki pomiarów temperatury

Czas t [min]										
T _{powietrze} [°C]										
T _{CO₂} [°C]										

Opracowanie wyników

1. Sporządzić wykres temperatury T w funkcji czasu t dla obu gazów.
2. Obliczyć $\Delta T = T_{\text{końcowa}} - T_{\text{początkowa}}$ i porównać wartości ΔT dla obu gazów.
3. Określić maksymalną szybkość nagrzewania (nachylenie wykresu) CO₂ oraz szybkość nagrzewania powietrza w tym samym odcinku czasowym.

Wyniki końcowe:

Zmiana temperatury dla powietrza =

Zmiana temperatury dla CO₂ =

Średnia (lub maksymalna) szybkość nagrzewania powietrza =

Średnia (lub maksymalna) szybkość nagrzewania CO₂ =

Wnioski i spostrzeżenia

(Należy uwzględnić:)

- który gaz nagrzewa się szybciej,
- czy wyniki są zgodne z teorią efektu cieplarnianego,
- możliwe źródła błędów (np. szczelność, różnice w oświetleniu, konwekcja),
- wpływ konstrukcji stanowiska na wynik.