

# ZMIANY STANU SKUPIENIA

Powszechnie wiadomo, że woda, ciecz najczęściej występująca w przyrodzie, może zmieniać swój stan skupienia na stały lub gazowy podczas obniżania czy podwyższania temperatury. Poniżej 0 °C woda występuje jako lód, a w temperaturze powyżej 100 °C (przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym) jako para wodna. Przemianom fazowym towarzyszy przepływ energii; zamarzająca woda oddaje ciepło, zaś zamiana wody w parę wodną wymaga dostarczenia energii. Kinetyczna teoria materii ułatwia zrozumienie tych zjawisk. Pomaga też budować modele, które pozwalają przewidywać zachowanie substancji podczas zmiany stanu skupienia.



# PORADNIK NAUCZYCIELSKI

## I. Wstęp

### 1. Krótkie wprowadzenie do modułu

Moduł ten zawiera ćwiczenia dotyczące zjawisk fizycznych towarzyszących stygnięciu substancji aż do zmiany stanu skupienia z ciekłego na stały. Zaproponowano cztery typy ćwiczeń:

- 1. Pomiary wspomagane komputerowo:** Doświadczenie laboratoryjne, w czasie którego prowadzona jest obserwacja i pomiary temperatury cieczy w czasie stygnięcia i przejścia w stan stały.
- 2. Symulacja:** Wizualizacja wspomagająca zrozumienie zjawiska zmiany stanu skupienia z uwzględnieniem kinetycznej teorii materii.
- 3. Modelowanie:** Model matematyczny przewidujący zmiany temperatury cieczy o temperaturze wyższej od otoczenia.
- 4. Film:** Nagranie wideo przedstawiające doświadczenie laboratoryjne zmiany stanu skupienia substancji (pomagające powiązać obserwacje z pomiarami temperatury oraz teorią wyjaśniającą zjawisko).

### 2. Podstawy teoretyczne

Większość substancji istnieje w przyrodzie w trzech stanach skupienia, każdy stan skupienia posiada inne własności:

- **Gaz:** Substancja zajmująca całą możliwą przestrzeń dzięki zjawisku dyfuzji. Gazy mają małą gęstość, są ściśliwe, wywierają jednakowe ciśnienie w każdym kierunku, często są niewidoczne.
- **Ciecz:** Substancja łatwo zmieniająca swój kształt i zwykle wymagająca pojemnika do ograniczenia jej w poziomie. Grawitacja wymusza jej poziome ułożenie. Gęstość cieczy jest około 1000 razy większa niż gazów.
- **Ciało stałe:** Substancja utrzymująca trwały kształt, chyba że jest ściskana lub rozciągana przez działanie sił zewnętrznych. Gęstość większości ciał stałych jest większa niż gęstość cieczy.

#### TEMPERATURA TOPNIENIA/KRZEPNIĘCIA

Stan skupienia danej substancji zależy od jej temperatury. Temperatura przejścia cieczy do stanu stałego nazywana jest temperaturą krzepnięcia (jest równa temperaturze topnienia). Substancja powyżej swojej temperatury topnienia jest cieczą, natomiast poniżej tej temperatury jest ciałem stałym. W temperaturze pokojowej, wszystkie ciecze mają temperaturę topnienia niższą od temperatury pokojowej, natomiast ciała stałe mają temperaturę topnienia wyższą od temperatury pokojowej. Znając temperatury topnienia różnych substancji można określić ich stan skupienia w dowolnej temperaturze.

Woda występuje w stanie ciekłym w zakresie temperatur od 0 do 100°C. W laboratorium najwygodniej jest obserwować zmiany stanu skupienia substancji, których temperatury topnienia mieszczą się w tym zakresie.

### **KINETYCZNA TEORIA MATERII; WIĄZANIA, CIEPŁO PRZEMIANY, ENERGIA**

Kinetyczna teoria materii zakłada, że wszystkie substancje zbudowane są z wielu identycznych cząstek (atomów lub cząsteczek), będących w stanie ciągłego ruchu. Oddziaływania międzycząsteczkowe zależą od odległości między cząstkami. W cieczech i ciałach stałych przeważają siły przyciągania, które utrzymują substancję w całości. W ciałach stałych cząsteczki są ułożone bardzo blisko siebie tworząc sztywną sieć. Wykonują drgania wokół położenia równowagi (węzłów sieci), ale nie przemieszczają się względem siebie. W stanie ciekłym, odległości między cząsteczkami są większe niż w ciałach stałych, cząsteczki poruszają się szybciej, chaotycznie i często zmieniają wzajemne położenie. [W stanie gazowym cząsteczki poruszają się chaotycznie, z dużo większą prędkością niż w cieczech i zazwyczaj średnie odległości między cząsteczkami są większe niż w cieczech.] Naturalny ruch cząsteczek jest związany z temperaturą substancji. W gazach i cieczech wyższa temperatura odpowiada wyższej średniej prędkości cząsteczek, a w ciałach stałych większej częstotliwości i amplitudzie drgań. Temperatura substancji jest ściśle związana z energią kinetyczną ruchu cząsteczek. Energia cieplna pobierana przez ciało stałe powoduje wzrost średniej energii kinetycznej drgań cząsteczek.

W ujęciu makroskopowym, ciepło dostarczane do ciała ( $\Delta H$ ) jest związane ze wzrostem jego temperatury ( $\Delta T$ ):

$$\Delta H = m C \Delta T$$

- gdzie 'm' jest masą ciała, a 'C' ciepłem właściwym substancji.

Kiedy ciało oddaje lub pobiera ciepło z otoczenia, *szybkość* przepływu ciepła ( $\Delta H/\Delta t$ ) jest proporcjonalna do różnicy temperatur między ciałem a otoczeniem:

$$\Delta H / \Delta t = - K * (T - T_s)$$

- gdzie 'T' i 'Ts' są odpowiednio temperaturami ciała i otoczenia, a 'K' współczynnikiem proporcjonalności.

Podczas ogrzewania substancji, po osiągnięciu temperatury topnienia, część dostarczanej energii jest wykorzystana na przerwanie wiązań między cząsteczkami. Zanika kształt substancji i następuje przejście w stan ciekły. Ta dodatkowa energia, która jest potrzebna na przerwanie wiązań, nazywana jest ciepłem przemiany fazowej. W czasie topnienia ciał krystalicznych temperatura pozostaje stała. Dopiero, gdy cała substancja zmieni się w ciecz, dalsze dostarczanie ciepła powoduje wzrost temperatury. W czasie stygnięcia cieczy występuje proces odwrotny. Krzepnięcie substancji powoduje wydzielanie ciepła do otoczenia. Ilość ciepła oddawanego do otoczenia zależy od masy ( $\Delta m$ ) krzepnącej substancji:

$$\Delta H = L \Delta m$$

- gdzie 'L' (zwane ciepłem topnienia) jest ilością ciepła wydzielanego podczas krzepnięcia 1 kg substancji.

W czasie krzepnięcia ciał krystalicznych temperatura pozostaje stała.

### 3. Wymagana wiedza wstępna

- Cechy fizyczne odróżniające ciała stałe, ciecze i gazy
- Pomiar temperatury
- Skala temperatury Celsjusza
- Skutki ogrzewania i stygnięcia substancji
- Różnica temperatur przyczyną przepływu ciepła

### 4. Wprowadzane lub rozwijane pojęcia

- Kinetyczna teoria materii; temperatura i ruch cząsteczek
- Ciepło przemiany fazowej
- Temperatura topnienia
- Normalny stan skupienia substancji zależy od relacji między temperaturą topnienia a temperaturą pokojową
- Szybkość stygnięcia substancji zależy od różnicy temperatur substancji i jej otoczenia

### 5. Inne użyteczne informacje

Zmiana stanu skupienia cieczy i ciała stałego jest zwykle omawiana na różnorodnych przykładach z życia codziennego. Na przykład:

- przechowywanie żywności w lodówce; zmiana objętości wody podczas zamarzania,
- topnienie lodów,
- dodawanie kostek lodu do napoju,
- mróz i oszronione drogi w zimie,
- masło lub tabliczka czekolady topniejąca w nasłonecznionym miejscu.

Temperatura przejścia między stanem ciekłym i stałym, *temperatura topnienia* lub *temperatura krzepnięcia*, charakterystyczna dla substancji, często nie jest możliwa do zaobserwowania w mieszaninach substancji, takich jak czekolada lub masło, które topią się w pewnym przedziale temperatur.

# II. Podejście dydaktyczne

## 1. Kontekst pedagogiczny

Tematyka tego modułu może być wprowadzona w kontekście:

- Rozpuszczanie się lodów w ustach
- Kostki lodu dodane do napojów
- Topienie metali przy wykonywaniu odlewów
- Rozmrażanie żywności przechowywanej w zamrażarce
- Topnienie śniegu i lodu w słońcu

[Pomyśl o innych przykładach związanych z tematem.]

## 2. Trudności ucznia

Mylenie pojęć: przewodnictwo cieplne, przewodnictwo właściwe (elektryczne), pojemność cieplna i konwekcja.

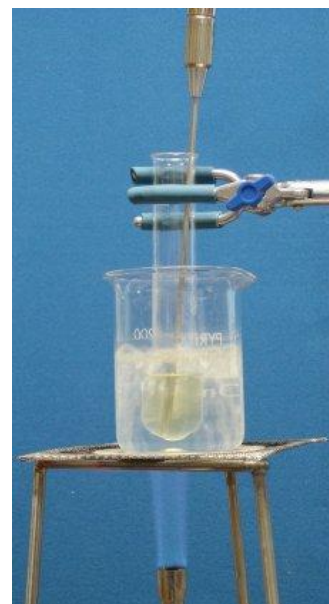
## 3. Ewaluacja wykorzystania TI

W tej części rozważane jest zastosowanie narzędzi TI tak, by uzyskać możliwie najlepsze efekty. Dyskutowane są metody, które dają specjalny wkład w proces uczenia się.

### POMIARY WSPOMAGANE KOMPUTEROWO

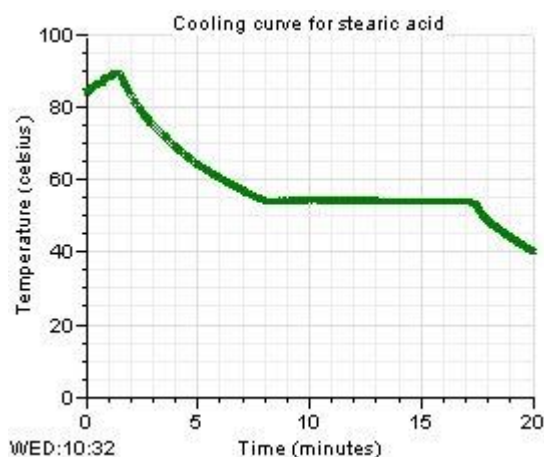
Czujniki temperatury są bardzo przydatne do przeprowadzenia wielu prostych doświadczeń z ogrzewaniem i ochładzaniem substancji. Do wykonywania eksperymentów w czasie rzeczywistym wystarczająco dokładne są nawet tanie czujniki. W tym module badamy ochładzanie substancji przechodzącej ze stanu ciekłego w stały. Proste doświadczenie wymaga użycia jednego czujnika temperatury podłączonego do interfejsu pomiarowego. Obserwujemy przebieg zmian temperatury w czasie całego procesu. Możemy badać szybkość zmian temperatury i porównywać wyniki pomiarów z przewidywaniami teoretycznymi.

Przed użyciem czujników do właściwego doświadczenia warto przeprowadzić prosty pomiar, by pokazać jak czujnik reaguje na zmiany temperatury. Ogrzanie czubka sondy dłonią, pocieranie powodujące powstanie tarcia czy zanurzenie, a następnie wyjęcie czujnika z musującego napoju oraz wiele innych przykładów, pomaga sprawdzić cechy czujnika. W każdym przypadku natychmiastowe wyświetlenie wykresu na ekranie daje prawdziwie interaktywne doświadczenie. Pomiary w czasie rzeczywistym wspomagają wzajemne oddziaływanie myślenia i działania.



We właściwym doświadczeniu substancja w próbówce podgrzewana jest w kąpeli wodnej dopóki nie stopi się całkowicie. Dobrze jest mieć przygotowane ustawienia pomiaru tak, by temperatura cieczy mogła się ustalić po włożeniu czujnika do próbówki. Wprowadzenie czujnika zazwyczaj obniża temperaturę, gdyż ma on swoją pojemność cieplną. Należy kontynuować podgrzewanie substancji do temperatury jak najbardziej zbliżonej do punktu wrzenia wody. Zapewni to dobrą obserwację chłodzenia w stanie ciekłym.

Aby rozpocząć doświadczenie, wyjmij próbówkę z cieczą z kąpeli wodnej i ponownie rozpocznij nabór danych. Konieczne jest ciągłe mieszanie płynu czujnikiem, aby zapewnić jednakowe ogrzanie całej substancji. Staje się to utrudnione, gdy zacznie się formować ciało stałe, ale poruszanie należy kontynuować jak najdłużej. Powód tego działania można przedyskutować z uczniami. Jeśli doświadczenie jest powtarzane bez mieszania cieczy, można porównać wyniki pomiarów na wykresie.



Główną zaletą pomiarów wspomaganych komputerowo w tym doświadczeniu jest jednocześnie obserwowanie wyników pomiaru, zadawanie pytań, szukanie powiązań z innymi informacjami, porównywanie, przewidywanie, szukanie trendów i wiele innych. Przykładowe pytania zamieszczone w karcie ucznia szybko przyzwyczajają do tego typu myślenia. Obejmują one obserwacje oraz pomiary zmian i szybkości zmian temperatury. Narzędzia dostępne w programie ułatwiają pomiary tych wielkości, ale należy pamiętać, że ich zrozumienie i interpretacja to więcej niż rutynowe gromadzenie danych. Korzyści płynące ze stosowania pomiarów wspomaganych komputerowo zależą od sposobu analizy wyników. Nauczyciele umieją pobudzać uczniów do myślenia. Pomiary wspomagane komputerowo, powstające przejrzyste wykresy, których możemy używać interaktywnie, prowadzą do ćwiczenia tych ważnych umiejętności. Zostało to podkreślone w pracach Bartona na temat interpretacji wykresów przez uczniów (Barton, 1997).

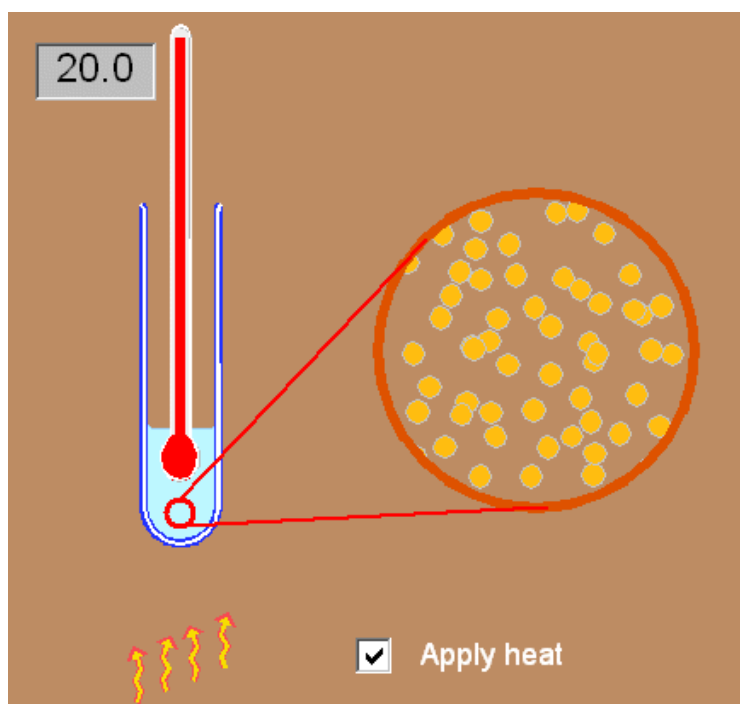
### SYMULACJE

Symulacja graficzna jest zaprojektowana do wizualizacji zmian zachodzących podczas ochładzania cieczy, zgodnych z kinetyczną teorią materii. Przedstawia ona zachowanie cząsteczek w stanie ciekłym i stałym. Cząsteczki poruszają się coraz szybciej, gdy dostarczane jest ciepło. W ciele stałym ruch jest ograniczony do drgań wokół ustalonych punktów. W czasie chłodzenia, gdy ciepło jest oddawane do otoczenia, obserwowane jest zjawisko odwrotne, cząsteczki

poruszają się coraz wolniej. Symulacja pozwala na wybór dowolnego momentu w czasie stygnięcia, pokazuje temperaturę i ruch cząsteczek w tej temperaturze. Uczniowie mogą obserwować zmiany stanu skupienia pod kątem ruchu cząsteczek. Może to być bezpośrednio związane z wykresem zmian temperatury w czasie.

Szczegółowo zajmiemy się poziomą częścią krzywej. Odpowiada ona krzepnięciu cieczy. Podczas przesuwania się po poziomym fragmencie wykresu, ilość cieczy zmniejsza się, w prawym końcu poziomej części krzywej cała ciecz zmieniła się w ciało stałe. W czasie tego przejścia utrzymuje się stała temperatura, gdyż uwalniana jest energia cieplna podczas powstania silnych wiązań międzycząsteczkowych typowych dla ciał stałych. Ciepło jest oddawane do otoczenia, ale uwolniona energia cząsteczek (ciepło przemiany fazowej) zapobiega spadkowi temperatury w tej części krzywej.

Ruch cząsteczek w stanie stałym jest ograniczony do drgań wokół ustalonych położeń równowagi, podczas gdy cząsteczki cieczy mogą ciągle zmieniać swoje położenia.



## MODELOWANIE

W tym ćwiczeniu proponujemy zastosowanie wzorów i praw, aby wygenerować zestaw danych, które są zbliżone do wyników pomiarów wspomaganych komputerowo. Model przedstawia sekwencję obliczeń pozwalającą na obliczanie małych zmian *temperatury* i *masy* cieczy w krótkich odstępach czasu. Wyniki są zbiorem danych pokazujących zmiany temperatury i masy w czasie.

Założenia fizyczne modelu:

1. Szybkość zmian temperatury spowodowana oddawaniem ciepła do otoczenia jest proporcjonalna do różnicy temperatur między cieplą substancją a jej otoczeniem.
2. W temperaturze topnienia występuje równowaga między ciepłem oddawanym do otoczenia i ciepłem przemiany oddawanym przez ciecz w czasie jej krzepnięcia.
3. W temperaturze topnienia masa krzepnącej cieczy zmienia się w jednakowym tempie, zależnym od szybkości strat ciepła i ciepła topnienia substancji.
4. W czasie topnienia temperatura cieczy nie ulega zmianie dopóki cała masa cieczy nie zmieni się w ciało stałe.

Pierwsze założenie zawarte jest we wzorze obliczającym zmiany temperatury  $\Delta T$  w jednakowych odstępach czasu  $\Delta t$ :

$$\Delta T = - a / M * (T - T_s) * \Delta t,$$

gdzie 'Ts' jest temperaturą otoczenia,

'a' jest współczynnikiem proporcjonalności,

'M' jest całkowitą masą substancji (cieczy i ciała stałego).

[W bardziej zaawansowanym modelu rozważa się zmiany energii cieplnej ( $\Delta H$ ), a nie zmiany temperatury ( $\Delta T$ ). Przykładem jest model zbudowany w Modellusie (solid.mdl). Zaproponowane uproszczenia mają na celu uniknięcie dodatkowych obliczeń, które mogą odwrócić uwagę uczniów.

Zgodnie ze wzorem  $\Delta H = M C \Delta T$ , gdzie M jest masą, a C jest ciepłem właściwym substancji, można zauważyć, że gdy M i C są stałe, zmiany temperatury T są proporcjonalne do zmian H.]

Powyżej temperatury topnienia (w stanie ciekłym), masa cieczy 'm' jest równoważna z masą substancji 'M':

$$\text{Jeśli } T > T_m, \text{ to } m = M,$$

gdzie T jest temperaturą substancji,

T<sub>m</sub> jest temperaturą obliczoną przez model,

m jest masą substancji w stanie ciekłym,

M jest całkowitą masą substancji (ciecz i ciało stałe).



Drugie i trzecie założenie jest spełnione przez obliczenie zmian 'm', masy pozostałej cieczy. Gdy temperatura pozostaje stała w punkcie topnienia, szybkość strat ciepła jest stała, co z kolei wpływa na stałe tempo przejścia z cieczy w ciało stałe. Druga reguła stopniowo zmniejsza 'm' o stałą wartość 'b/L':

**Jeśli  $T = T_m$ , to  $\Delta m = -b/L$ ,**

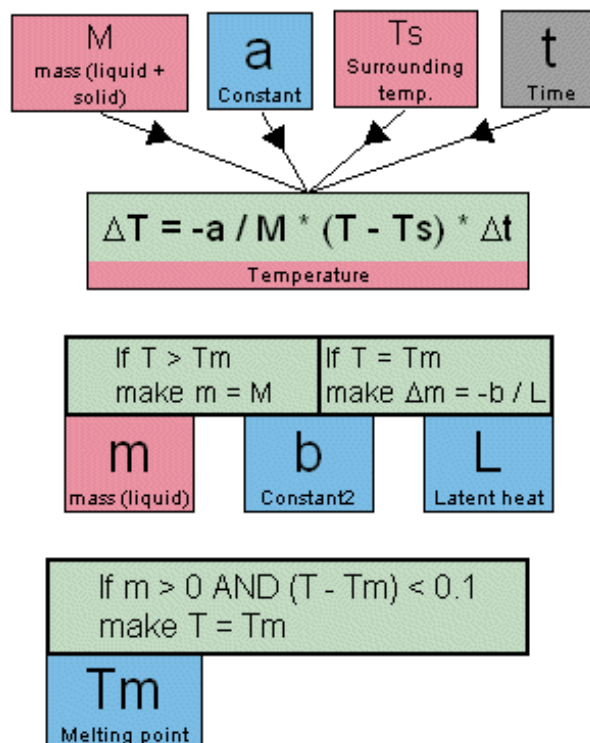
gdzie T jest temperaturą substancji,  
 $T_m$  jest temperaturą obliczoną przez model,  
 m jest masą substancji w stanie ciekłym,  
 b jest stałą,  
 L jest ciepłem topnienia substancji.

Czwarte założenie jest realizowane przez trzecie, które wprowadza zatrzymanie się temperatury w temperaturze topnienia aż do całkowitego zaniku masy cieczy.

**Jeśli  $m > 0$  i  $(T - T_m) < 0.1$ , to  $T = T_m$ ,**

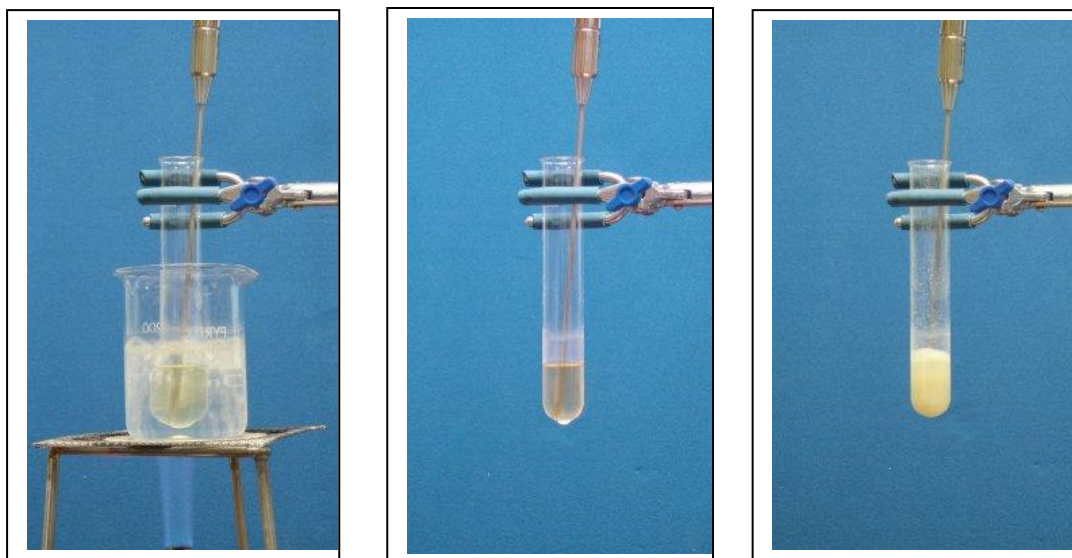
Druga część warunku  $(T - T_m) < 0.1$  sprawdza, czy temperatura spadła do wartości poniżej temperatury topnienia (z dokładnością do  $0,1^\circ\text{C}$ ).

Analiza wzorów i praw, eksperymentowanie z różnymi wartościami masy początkowej oraz temperaturą otoczenia, może spowodować zmianę założeń fizycznych i modyfikację modelu.



## FILM

Nagranie wideo przedstawia doświadczenie wspomagane komputerowo pozwalające na bezpośrednie obserwacje. Porównywanie nagrania „klatka po klatce”, z jednoczesnym wyświetlaniem wykresu zmian temperatury w czasie, umożliwi zaobserwowanie wyglądu cieczy lub ciała stałego w odpowiednim miejscu wykresu. Najbardziej interesująca jest płaska część wykresu, gdyż przedstawia ona przebieg procesu przejścia ze stanu ciekłego w stały. Mieszanie cieczy czujnikiem staje się coraz trudniejsze pod koniec płaskiej części wykresu, gdy ilość substancji w stanie stałym zmierza do maksimum.



## 4. Podejście dydaktyczne

Cztery rodzaje ćwiczeń prezentowane w module stanowią wyróżniające się, ale jednocześnie uzupełniające metody podejścia do tematu. Aby ćwiczenia były efektywnie wykorzystane do nauczania i uczenia się, nauczyciel powinien posiadać dwa rodzaje umiejętności niezbędne w czasie używania narzędzi programów komputerowych:

- **Umiejętności informatyczne**, które koncentrują się na umiejętności posługiwania się sprzętem komputerowym oraz narzędziami zawartymi w oprogramowaniu.
- **Umiejętności metodyczne**, które koncentrują się na sposobie wykorzystania narzędzi programowych używanych w czasie lekcji do osiągnięcia założonych celów nauczania. Dominującym aspektem tych umiejętności jest dążenie do analizy i interpretacji danych oraz powiązanie ich z dotychczasową wiedzą.

Wszystkie te umiejętności są bardzo istotne w przygotowaniu uczniów do wykonywania ćwiczeń. Dołączone karty pracy zawierają wskazówki dotyczące niezbędnych umiejętności w poszczególnych ćwiczeniach.

Nauczyciel powinien również posiadać *umiejętności pedagogiczne*, które przyczyniają się do większej efektywności wykonywanych ćwiczeń:

1. Poglądowe przedstawianie każdego tematu.
2. Rozumienie dodatkowych wartości płynących z zastosowanych metod TI oraz ich pełne wykorzystanie w odpowiedni sposób.
3. Prowadzenie ćwiczeń w sposób promujący raczej konstruktywistyczne niż informacyjne wykorzystanie TI.
4. Integrowanie wiedzy zdobytej w każdym ćwiczeniu tak, by pogłębić rozumienie tematu przez uczniów.

Rozwój ostatniej umiejętności jest szczególnym celem Projektu IT for US, a ćwiczenia prezentowane poniżej zostały specjalnie wybrane by ilustrować, w jaki sposób można osiągnąć integrację wiedzy. Porównywanie obserwacji oraz wyników w każdym ćwiczeniu odgrywa główną rolę w procesie integracji. Na przykład:

- porównanie wykresu z pomiarów wspomaganym komputerowo z nagraniem wideo, powiązanie obserwacji z wykresem,
- porównanie wyników pomiarów doświadczalnych z wynikami modelowania,
- porównanie każdego wykresu zmian temperatury w czasie z symulacją ruchu cząsteczek.

W każdym przypadku, narzędzia do analizy wykresu ułatwiają porównanie i interpretację danych, a czynności wykonywane na wykresach prowadzą do odpowiedniego wykorzystania ćwiczeń projektu IT for US.

Odpowiednie pokierowanie uczniami ma ogromny wpływ na integrację wiedzy zawartej w ćwiczeniach. Kiedy dostęp do komputera jest utrudniony, nauczyciel może przeprowadzić pokaz. Powinien wtedy dać dokładne wskazówki uczniom pracującym nad porównaniem ćwiczeń. Alternatywnie, uczniowie mogą pracować nad różnymi ćwiczeniami w małych, trzy lub czteroosobowych grupach. Integrację wiedzy osiągniemy poprzez prezentację całej klasie wyników pracy każdej grupy. Biorąc udział w tej prezentacji, nauczyciel może ukierunkować dyskusję na znaczące „odkrycia” każdej grupy.

Warto zwrócić uwagę, że wszystkie ćwiczenia mogą być zastosowane przy omawianiu różnych zagadnień; nie jest konieczne rozpoczynanie od doświadczenia. Równie dobrze można użyć symulacji lub filmu wideo jako przygotowanie do przeprowadzenia prawdziwego doświadczenia. Mogą być również użyte do rozszerzenia badań czy do podsumowania ćwiczenia lub nauczania na odległość. Jednak ćwiczenia zaprojektowano tak, by uzupełniały się. Nie jest konieczne wykorzystanie wszystkich; można wybrać dwa, trzy lub cztery ćwiczenia, tak by jak najlepiej zaspokajały potrzeby nauczyciela i uczniów w omawianiu określonego zagadnienia. W związku z różnicami w realizacji programu nauczania między szkołami oraz różnicami w obrębie danej szkoły, możliwość zastosowania ćwiczeń jest różnorodna. Na przykład, interfejsy pomiarowe mogą nie być dostępne w odpowiednim czasie, niektórzy uczniowie będą wymagać indywidualnego powtórzenia lub rozszerzenia wiadomości, więc

wzbogacenie ćwiczeń może być wymagane w czasie wolnym. Istnieje również możliwość skrócenia ćwiczenia w przypadku braku wystarczającej ilości czasu. Tabela poniżej podsumowuje potencjalne korzyści każdego z ćwiczeń. Jest to praktyczny przewodnik zalet zastosowania TI.

<b>Ćwiczenie</b>	<b>Korzyści płynące ze stosowania TI</b>
Pomiary wspomagane komputerowo	Cały proces ochładzania może być obserwowany bez zakłóceń. Wykres zmian temperatury jest wyświetlany podczas trwania doświadczenia. Wyniki pomiarów mogą być odniesione do obserwacji. Narzędzia do analizy wykresu ułatwiają szczegółową analizę wyników pomiaru.
Symulacja	Animacja pozwala połączyć teoretyczne wyjaśnienie zmian stanu skupienia oparte na kinetycznej teorii budowy materii z obserwacjami i wynikami pomiaru. Można zbadać wpływ temperatury otoczenia i izolacji próbki. Sterowanie tymi zmiennymi pozwala na rozszerzenie prostych eksperymentów.
Modelowanie	Model pokazuje jak istotne prawa fizyczne mogą być wyrażone w prostych krokach przy użyciu wzorów matematycznych. Model oblicza wartości temperatury, które można porównać z wynikami doświadczeń (pomiary wspomagane komputerowo). Można śledzić efekt zmiany wybranych parametrów, np.: temperatury otoczenia, masy substancji, izolacji i ciepła właściwego.
Film	Nagranie wideo skoncentrowane jest na powiązaniu obserwacji ochładzania substancji z wynikami pomiarów. Obrazy potwierdzają fizyczny stan substancji w różnych miejscach wykresu temperatury.

#### **LITERATURA:**

Barton, R. (1997), „Computer – aided graphing: a comparative study”, Journal of Information Technology for Teacher Education, (6) 1, 59-72.

## 5. Zestaw środków dydaktycznych do ćwiczeń uczniowskich

Wykaz plików źródłowych, niezbędnych do wykonania ćwiczeń

### 1. OPROGRAMOWANIE INSIGHT

Rodzaj ćwiczenia	Nazwa programu	Dostępne pliki
1. Pomiary wspomagane komputerowo	Insight-pomiary	Plik ustawień: <i>'Cooling logging set up'</i> Otwarcie tego plików spowoduje, że program jest przygotowany do wykonywania eksperymentu.  Plik danych: <i>'Cooling logging data.ism'</i> Zawiera przykładowe wyniki pomiarów.
2. Symulacja	Simulation Insight	<i>'cooling simulation.iss'</i>
3. Modelowanie	Simulation Insight	<i>'cooling model.iss'</i>
4. Film wideo	Simulation Insight	<i>'cooling video.iss'</i>

### 2. OPROGRAMOWANIE COACH 5 PL / COACH 6

Rodzaj ćwiczenia	Nazwa programu	Dostępne pliki
1. Pomiary wspomagane komputerowo	Coach 5 PL	<b>Projekt:</b> <i>Pomiary temperatury (II)</i> <b>Ćwiczenie:</b> <i>Zmiany temperatury w czasie</i>

### 3. PROGRAM MODELLUS

Rodzaj ćwiczenia	Nazwa programu	Dostępne pliki
1. Symulacje	Modellus	<i>solid.mdl</i>
2. Modelowanie	Modellus	<i>solid.mdl</i>

**WYPOSAŻENIE I MATERIAŁY DO ĆWICZENIA 1 (POMIARY WSPOMAGANE KOMPUTEROWO):**

- Komputer i oprogramowanie – patrz tabela powyżej
- Interfejs pomiarowy np. CoachLab II/II+ lub LogIT
- Czujnik temperatury
- Statyw i łapa
- Probówka ze szkła żaroodpornego ( $\varnothing$  20 mm lub większa)
- Zlewka 250 ml
- Palnik, trójnóg, siatka ze spieku ceramicznego lub maszynka elektryczna
- Kwas stearynowy cz.
- Woda

# III. ĆWICZENIA UCZNIOWSKIE

## ĆWICZENIE 1. POMIARY TEMPERATURY W CZASIE STYGNIĘCIA KWASU STEARYNOWEGO

### Cele nauczania:

- Obserwacja zmian temperatury w czasie stygnięcia i krzepnięcia kwasu stearynowego
- Odpowiednie przyporządkowanie obszarów wykresu do stanu ciekłego, stałego i przejścia między nimi
- Przyporządkowanie płaskiej części wykresu zmianie stanu skupienia

Zastosowana TI:  
pomiary wspomagane komputerowo  
Poziom nauczania:  
14 – 17 lat  
Zalecany sposób prowadzenia ćwiczeń:  
ćwiczenia uczniowskie lub pokaz przeprowadzony przez nauczyciela

### Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Przyłączanie czujników i interfejsu
- Wybór mierzonych wartości
- Rejestracja wyników pomiaru
- Analiza wykresów za pomocą narzędzi dostępnych w programie

### Umiejętności związane ze stosowaniem programu:

- Obserwacja pomiaru
- Ocena jakości pomiaru
- Analizowanie danych z użyciem wykresów
- Odczytywanie wartości/nachylenia

### Materiały:

- Interfejs pomiarowy np. CoachLab II/II+ lub LogIT
- Czujnik temperatury
- Statyw i łapa
- Probówka ze szkła żaroodpornego ( $\varnothing$  20 mm lub większa)
- Zlewka 250 ml
- Palnik, trójnóg, siatka ze spieku ceramicznego lub maszynka elektryczna
- Kwas stearynowy cz.
- Woda do kąpieli wodnej

## Przebieg ćwiczenia:

1. Do żaroodpornej probówki nasyp ok. 3 g kwasu stearynowego.
2. Umieść probówkę z kwasem w zlewce wypełnionej do połowy wodą. Probówkę umocuj za pomocą łapy do statywu w taki sposób, aby można ją było usunąć bezpiecznie ze zlewki.
3. Ogrzewaj wodę w zlewce za pomocą palnika gazowego lub ogrzewacza elektrycznego do momentu stopienia całego kwasu stearynowego.
4. Ostrożnie wprowadź sondę temperatury do probówki z wrzącym kwasem stearynowym i ogrzewaj jeszcze przez pół minuty.
5. Nastaw czas pomiaru na 20 minut.
  - a. Jeżeli korzystamy z programu *Coach5 PL* pomiar nastawiamy wybierając z menu Narzędzia | Ustawienie pomiaru....
  - b. W programie *Insight - pomiary* robimy to samo wybierając z menu Ustawienia | Czas Pomiaru.
6. Przerwij ogrzewanie wody i ostrożnie wyjmij probówkę z kwasem i sondą ze zlewki przesuwając łapę w statywie.
7. Uruchom pomiar temperatury w czasie stygnięcia kwasu stearynowego.
8. Mieszaj zawartość probówki delikatnie poruszając sondą temperatury
9. Obserwuj równocześnie zawartość probówki oraz przebieg wykresu zmian temperatury w czasie.

## Pytania:

- Która część wykresu pokazuje stan ciekły?
- A która stan stały?
- W jakiej temperaturze ciecz zaczęła krzepnąć?
- Jak długo trwało krzepnięcie?
- W jaki sposób kształt wykresu informuje o stratach ciepła przez substancję?

## Analiza wyników:

### 1. Przegląd wyników

Po wykonaniu doświadczenia można odtworzyć przebieg pomiaru używając kursorów i wykresów słupkowych. Włącz opcję Analiza/Odczyty i ciągnij powoli kursor wzdłuż osi X. Zauważ, że słupki rosną i maleją podobnie jak zmiany temperatury podczas doświadczenia.

### 2. Dodawanie opisów do wykresów

Opisz, która część wykresu odpowiada fazie ciekłej, która stałej, a gdzie zachodzi zmiana stanu skupienia.

### 3. Odczyt wyników z wykresu

Odczytaj najwyższą i najniższą wartość temperatury.

Znajdź punkt topnienia na płaskiej części wykresu.

Odczytaj przedział temperatur odpowiadający substancji w stanie ciekłym.



Odczytaj przedział temperatur odpowiadający substancji w stanie stałym.

#### 4. *Pomiary czasu*

Znajdź czas potrzebny na przejście ze stanu ciekłego w stały; zmierz przedział czasu.

#### 5. *Pomiar szybkości zmian*

Użyj opcji Zmiana, Przedział, Szybkość i Gradient do pomiaru i porównania szybkości ochładzania na różnych etapach przebiegu doświadczenia. W której części doświadczenia wystąpiła największa zmiana temperatury?

#### 6. *Porównanie wykresów*

Przy powtarzaniu doświadczenia w różnych warunkach (np. przy zmianie rodzaju czy ilości substancji), zapisz wyniki i porównaj je z poprzednimi.

### **Dalsza praca:**

- Badanie wpływu mieszania cieczy na jej stygnięcie
- Użycie różnych ilości substancji i porównanie czasów stygnięcia
- Chłodzenie cieczy w zimnej kąpeli wodnej (zamiast w powietrzu)
- Umieszczenie próbki w płaszczu wodnym w celu pomiaru strat ciepła podczas ochładzania
- Porównanie ochładzania różnych substancji np. bifenyłu

## ĆWICZENIE 2. ZASTOSOWANIE KINETYCZNEJ TEORII MATERII DO WYJAŚNIENIA STYGNIĘCIA I ZMIANY STANU SKUPIENIA KWASU STEARYNOWEGO

### Cele nauczania:

- Zrozumienie cząsteczkowego opisu cieczy i ciał stałych
- Łączenie temperatury z szybkością ruchu cząsteczek w cieczach i ciałach stałych
- Rozumienie, że w czasie krzepnięcia cieczy wydziela się ciepło przemiany fazowej
- Zmiana stanu skupienia z ciekłego na stały zachodzi w stałej temperaturze<sup>1</sup> zwanej temperaturą topnienia
- Normalny stan skupienia substancji zależy od relacji między temperaturą topnienia i temperaturą otoczenia
- Szybkość stygnięcia substancji zależy od różnicy temperatur substancji i otoczenia

Zastosowana TI:  
symulacja  
Poziom nauczania:  
15 – 17 lat  
Zalecany sposób  
prowadzenia ćwiczeń:  
ćwiczenia uczniowskie  
lub symulacja  
prezentowana przez  
nauczyciela

### Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Użycie przycisków sterowania do uruchomienia i zatrzymania symulacji
- Używanie narzędzi do odczytywania wartości z wykresów

### Umiejętności związane ze stosowaniem programu:

- Wnioskowanie dotyczące temperatury i jej zmian na podstawie wykresów
- Rozróżnienie ruchu postępowego i drgającego cząsteczek
- Opisanie obserwacji i powiązanie ich z wyjaśnieniami teoretycznymi

### Przebieg ćwiczenia:

1. Otwórz plik 'cooling simulation', uruchom symulację.
2. Obejrzyj uważnie symulację, zwróć uwagę na substancję w probówce i mikroskopowy obraz cząsteczek.
3. Zauważ, że wykres przedstawia zależność temperatury substancji od czasu.
4. Zaznacz pole 'Apply heat' w celu ogrzewania substancji. Obserwuj zachowanie cząsteczek podczas wzrostu temperatury.

---

<sup>1</sup>ciał krystalicznych

5. Gdy temperatura wzrośnie do  $100^{\circ}\text{C}$  wyłącz dopływ ciepła i pozwól na stygnięcie substancji.
6. Obserwuj zachowanie cząsteczek i kształt wykresu w czasie stygnięcia substancji.

### Pytania:

- Odczytaj z wykresu temperaturę przejścia ze stanu ciekłego w stały.
- Opisz zachowanie cząsteczek w stanie ciekłym. Jak wpływa na to temperatura?
- Co się dzieje z cząsteczkami w czasie krzepnięcia?
- Opisz zachowanie cząsteczek, gdy cała ciecz przejdzie w stan stały. Czym się różni ten ruch cząsteczek od ruchu cząsteczek w stanie ciekłym?
- Zauważ, że substancja ciągle oddaje ciepło podczas gdy temperatura jest stała. Skąd pochodzi to ciepło?

### Analiza wyników:

#### 1. Przegląd wyników

Po uruchomieniu modelu i obserwacji stygnięcia, można odtworzyć przebieg symulacji używając kursorów i wykresów słupkowych. Włącz opcję Analiza/Odczyty i ciągnij powoli kursor wzdłuż osi X. Zauważ, że słupki rosną i maleją podobnie jak zmiany temperatury podczas doświadczenia. Obserwuj odpowiadające im zmiany ruchu cząsteczek.

#### 2. Dodawanie opisów do wykresów

Opisz każdy wykres, aby wskazać która część wykresu odpowiada fazie ciekłej, która stałej, a gdzie zachodzi zmiana stanu skupienia.

#### 3. Odczyt wyników z wykresu

Znajdź punkt topnienia na płaskiej części wykresu.

Odczytaj przedział temperatur odpowiadający substancji w stanie ciekłym.

Odczytaj przedział temperatur odpowiadający substancji w stanie stałym.

#### 4. Pomiar czasu

Znajdź czas potrzebny na przejście ze stanu ciekłego w stały; zmierz przedział czasu.

### Dalsza praca:

- Zbadaj wpływ temperatury początkowej na ogrzewanie substancji.

## ĆWICZENIE 3. BADANIE MODELU STYGNIĘCIA KWASU STEARYNOWEGO

### Cele nauczania:

Zrozumienie, że:

- szybkość stygnięcia zależy od różnicy temperatur substancji i otoczenia
- w temperaturze topnienia, gdy zachodzi krzepnięcie cieczy, wydzielane jest ciepło przemiany
- w czasie krzepnięcia temperatura pozostaje stała

Zastosowana TI:  
modelowanie

Poziom nauczania: 15 – 17 lat

Zalecany sposób prowadzenia ćwiczeń:  
ćwiczenia uczniowskie lub dyskusja kierowana przez nauczyciela

### Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Użycie przycisków do uruchamiania i analizy modelu
- Dobór wartości stałych i zmiennych w modelu
- Używanie narzędzi do odczytywania wartości z wykresów

### Umiejętności związane ze stosowaniem programu:

- Wnioskowanie dotyczące temperatury i jej zmian na podstawie wykresów

### Przebieg ćwiczenia:

1. Otwórz plik 'cooling model'
2. Uruchom symulację zielonym przyciskiem START.
3. Porównaj wykres zmian temperatury w czasie powstały w wyniku modelowania z wynikami pomiarów laboratoryjnych. Omów podobieństwa i różnice.
4. Zauważ, jak wzór opisujący stygnięcie wpływa na kształt wykresu.
5. Zauważ jak pierwsze założenie ogranicza masę cieczy, a drugie powoduje, że w czasie krzepnięcia jest utrzymywana stała temperatura.
6. Zbadaj wpływ masy początkowej na wykres. Zmniejsz wartość masy 'M', uruchom model i obserwuj, czy wykres się zmienia. Wyjaśnij swoje obserwacje.
7. Zbadaj wpływ temperatury otoczenia na stygnięcie substancji. Ustaw temperaturę otoczenia, uruchom model i obserwuj zmiany wykresu. Popatrz na wzór, który oblicza zmiany temperatury i spróbuj wyjaśnić nowy kształt wykresu.
8. Zbadaj wpływ materiału izolacyjnego, otaczającego próbkę, na stygnięcie cieczy (przewodnictwo cieplne).
9. Zbadaj wpływ zmiany temperatury topnienia. Oznacza to zmianę stygnącej substancji.
10. Zbadaj wpływ zmiany wartości ciepła topnienia.

# ĆWICZENIE 4. ANALIZA SFILMOWANEGO DOŚWIADCZENIA – STYgniĘCIE KWASU STEARYNOWEGO

## Cele nauczania:

- Zrozumienie, jak obserwacja stygnięcia kwasu stearynowego może być połączona z odpowiednim wykresem zmian temperatury w czasie
- Odpowiednie przyporządkowanie obszarów wykresu do stanu ciekłego, stałego i przejścia między nimi

Zastosowana TI: film  
Poziom nauczania:  
15 – 17 lat  
Zalecany sposób  
prowadzenia ćwiczeń:  
ćwiczenia uczniowskie  
lub prezentacja  
prowadzona przez  
nauczyciela

## Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Używanie narzędzi do odczytywania wartości z wykresów

## Umiejętności związane ze stosowaniem filmu:

- Odniesienie wyglądu substancji do odpowiedniego obszaru wykresu

## Przebieg ćwiczenia (z *Simulation Insight*):

Otwórz plik 'cooling video'

### 1. Przegląd wyników

Włącz opcję Analiza/Odczyty, aby być przygotowanym do odczytu wartości. Ciągnij powoli kursor wzdłuż osi X i obserwuj zdjęcia stygnącej substancji. W szczególności zwróć uwagę na wygląd substancji w różnych częściach krzywej.

### 2. Dodawanie opisów do wykresów

Opisz każdą część wykresu, aby wskazać, która część wykresu odpowiada fazie ciekłej, która stałej, a gdzie zachodziła zmiana stanu skupienia.

### 3. Odczyt wyników z wykresu

Gdy przesuwasz kursor wzdłuż wykresu, zauważ że słupki rosną i maleją w ten sam sposób jak zmiany temperatury w czasie doświadczenia. To przypomina powtórkę. Zanotuj temperaturę płaskiej części wykresu (temperatura topnienia).

### 4. Porównanie szybkości zmian

Użyj kursorów, aby wyznaczyć średnią szybkość zmian temperatury gdy substancja jest w stanie ciekłym. Powtórz odczyty dla stanu stałego. Porównaj te dwie wartości.