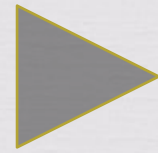


Плавление и отвердевание



Процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое называется **плавлением**.



(кристаллизация)

Процесс перехода вещества из жидкого состояния в твердое называется **отвердеванием**.

Отвердевание расплава кристаллического вещества называется **кристаллизацией**.

В обычных условиях в расплаве находится много центров кристаллизации. Поэтому в результате кристаллизации образуется множество мелких кристалликов, которые срастаются. При этом образуется поликристаллическое вещество.

Переход твердое тело – жидкость, также как и обратный переход – фазовые переходы I рода. Устойчивое динамическое равновесие двух фаз вещества возможно только в некотором интервале температур и давлений. Равновесию этих фаз соответствует *кривая плавления* $p = f(T)$. Каждая точка этой кривой соответствует равновесию твердой и жидкой фаз вещества при соответствующих давлениях и температурах.

Зависимость температуры фазового перехода от давления определяется уравнением Клапейрона-Клаузиуса, справедливого для всех фазовых переходов I рода:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\lambda}{T(v_2 - v_1)}$$

В случае плавления v_2 – удельный объем жидкой фазы, v_1 – удельный объем твердой фазы, λ – удельная теплота плавления. Для большинства веществ удельный объем жидкой фазы больше чем удельный объем твердой фазы ($v_2 > v_1$), поэтому $dp/dT > 0$, касательная к кривой плавления составляет острый угол с осью T (рис. 7):

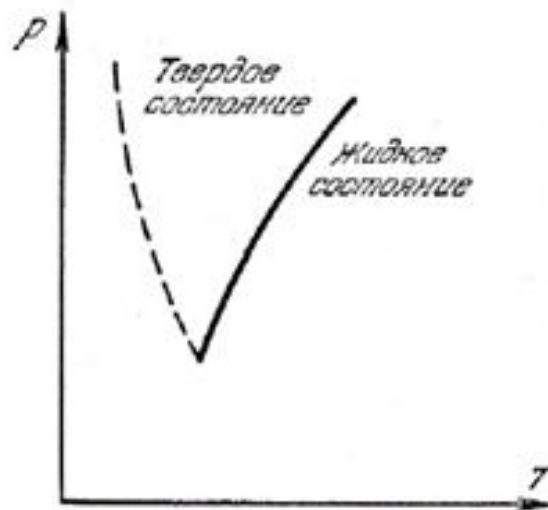


Рис. 7. Кривая плавления

Эта кривая делит плоскость на две части, соответствующие твердой и жидкой фазам вещества. *Повышение давления приводит к увеличению температуры плавления и наоборот.*

Для некоторых веществ (лед, чугун, висмут) $v_2 < v_1$. Для этих веществ $dp/dT < 0$, кривая плавления – пунктирная линия (рис.). Повышение давления приводит к уменьшению температуры плавления и наоборот.

Твердое тело может образовываться конденсацией пара в кристалл, минуя жидкую фазу. При этом также выделяется теплота конденсации. Обратный процесс испарения называется *сублимацией* или *возгонкой*. Благодаря сублимации ощущается запах нафталина, камфары, белье сохнет на морозе также благодаря сублимации.

При определенных значениях давления и температуры твердое тело и пар могут существовать в равновесии. Такой пар также называется насыщенным. Зависимость давления насыщенного пара от температуры подчиняется уравнению Клапейрона-Клаузиуса (1). Удельный объем пара всегда больше удельного объема твердого тела, поэтому $dp/dT > 0$, касательная к кривой сублимации составляет острый угол с осью T (рис. 1):

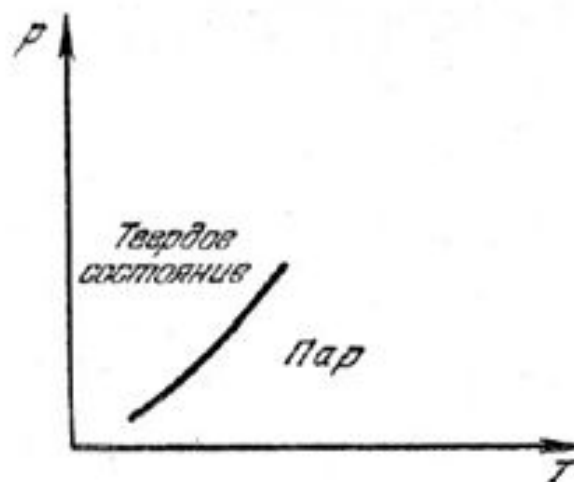


Рис. 1. Кривая сублимации

Сублимация, как и плавление, связана с разрушением кристаллической решетки. Для этого необходима энергия, которая называется теплотой сублимации.

Количество теплоты необходимое для испарения единицы массы твердого тела при постоянной температуре называется удельной теплотой сублимации.

Кристаллы некоторых веществ



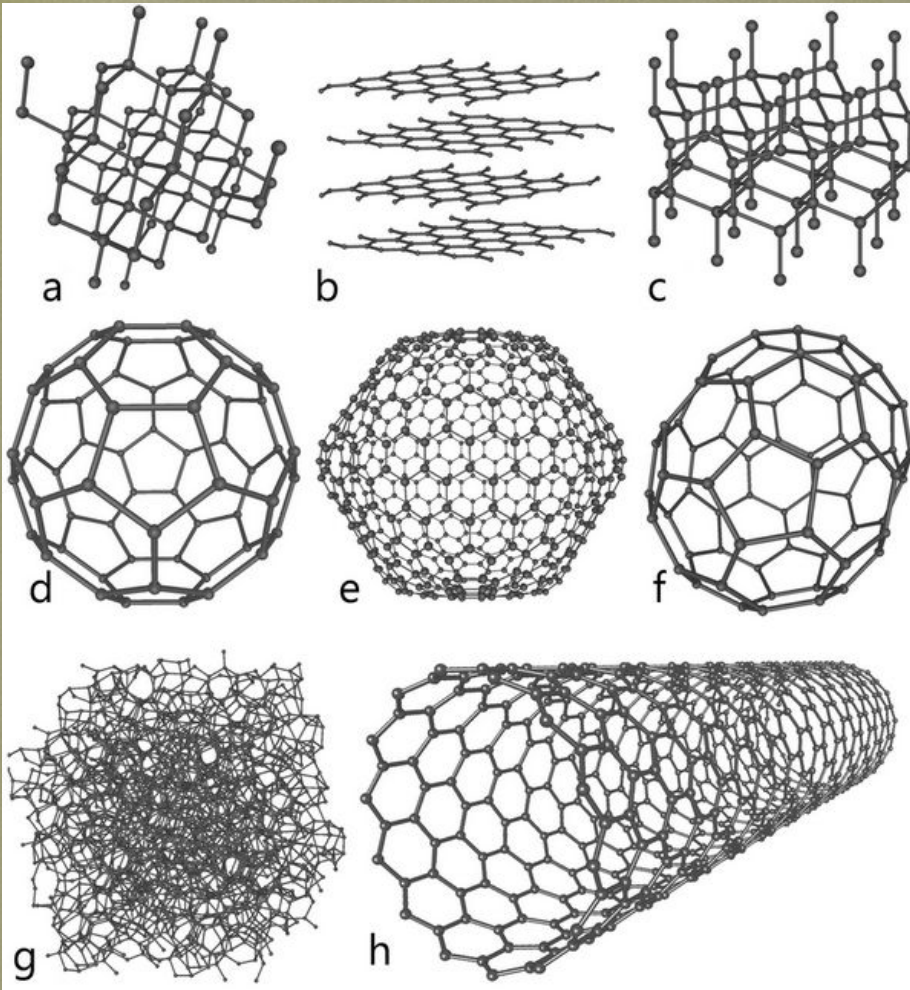
Кристаллы
золота

Примером кристаллического твердого тела может служить золото, которое в природе иногда встречается в виде кристаллов.



Кристаллы серы

Модель кристаллической решетки



Молекулы многих твердых тел образуют упорядоченную структуру, состоящую из повторяющихся элементов. Такая структура называется **кристаллической**

решеткой. Точки, вокруг которых колеблется молекулы, называются узлами кристаллической решетки. Линии, соединяющие молекулы на схеме, обозначают связи между ними. В реальном теле их не существует.

Модель плавления и кристаллизации

Процесс плавления кристаллического тела, это процесс разрушения его кристаллической решетки.

Плавление происходит с поглощением тепла, но температура тела при этом не изменяется.

Процесс кристаллизации - процесс обратный плавлению - происходит с выделением тепла.

Температура тела при этом также остается постоянной.

Температуры плавления некоторых веществ

Во время плавления (отвердевания) кристаллического вещества температура вещества остается постоянной.

Таблица 16

Температура плавления некоторых веществ, °С
(при нормальном атмосферном давлении)

Водород	-259	Алюминий	660
Кислород	-219	Серебро	962
Азот	-210	Золото	1064
Спирт	-114	Медь	1085
Ртуть	-39	Чугун	1200
Лед	0	Сталь	1500
Цезий	29	Железо	1539
Натрий	98	Платина	1772
Олово	232	Осмий	3045
Свинец	327	Вольфрам	3387
Цинк	420		



$$Q = \lambda \cdot m$$

Q – количество теплоты, необходимое для плавления кристал. тела, находящегося при температуре плавления и нормальном атмосферном давлении, Дж

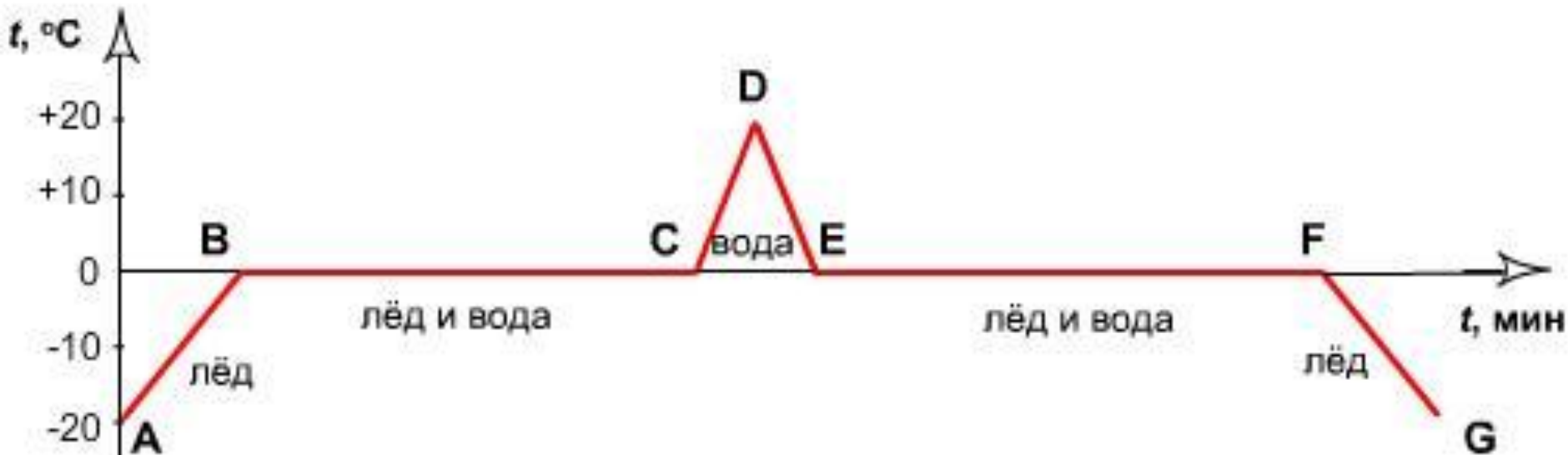
m – масса тела, кг

λ – удельная теплота плавления вещества, из которого состоит тело, Дж/кг

Количество
теплоты,
необходимое для
плавления
кристаллического
тела

В процессе плавления кристаллического тела его температура не меняется. Хотя этот процесс идет с поглощением теплоты.

Обратный процесс - кристаллизация - идет с выделением теплоты, количество которой определяется по такой же формуле.



ПРОЦЕСС	ФОРМУЛА
AB - нагревание льда	$Q = c_{\text{льда}} \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$
BC - плавление льда	$Q = \lambda_{\text{льда}} \cdot m$
CD - нагревание воды	$Q = c_{\text{воды}} \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$
DE - охлаждение (остывание) воды	$Q = -c_{\text{воды}} \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$
EF - отвердевание воды	$Q = -\lambda_{\text{льда}} \cdot m$
FG - охлаждение (остывание) льда	$Q = -c_{\text{льда}} \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$

Физический смысл удельной теплоты плавления

Удельная теплота плавления показывает, на сколько увеличивается (уменьшается) внутренняя энергия вещества массой 1 кг, взятого при температуре плавления при его плавлении (кристаллизации).

Таблица 17

Удельная теплота плавления некоторых веществ, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
(при температуре плавления и нормальном атмосферном давлении)

Алюминий	$3,9 \cdot 10^5$	Сталь	$0,84 \cdot 10^5$
Лед	$3,4 \cdot 10^5$	Золото	$0,67 \cdot 10^5$
Железо	$2,7 \cdot 10^5$	Водород	$0,59 \cdot 10^5$
Медь	$2,1 \cdot 10^5$	Олово	$0,59 \cdot 10^5$
Цинк	$1,12 \cdot 10^5$	Свинец	$0,25 \cdot 10^5$
Спирт	$1,1 \cdot 10^5$	Кислород	$0,14 \cdot 10^5$
Серебро	$0,87 \cdot 10^5$	Ртуть	$0,12 \cdot 10^5$

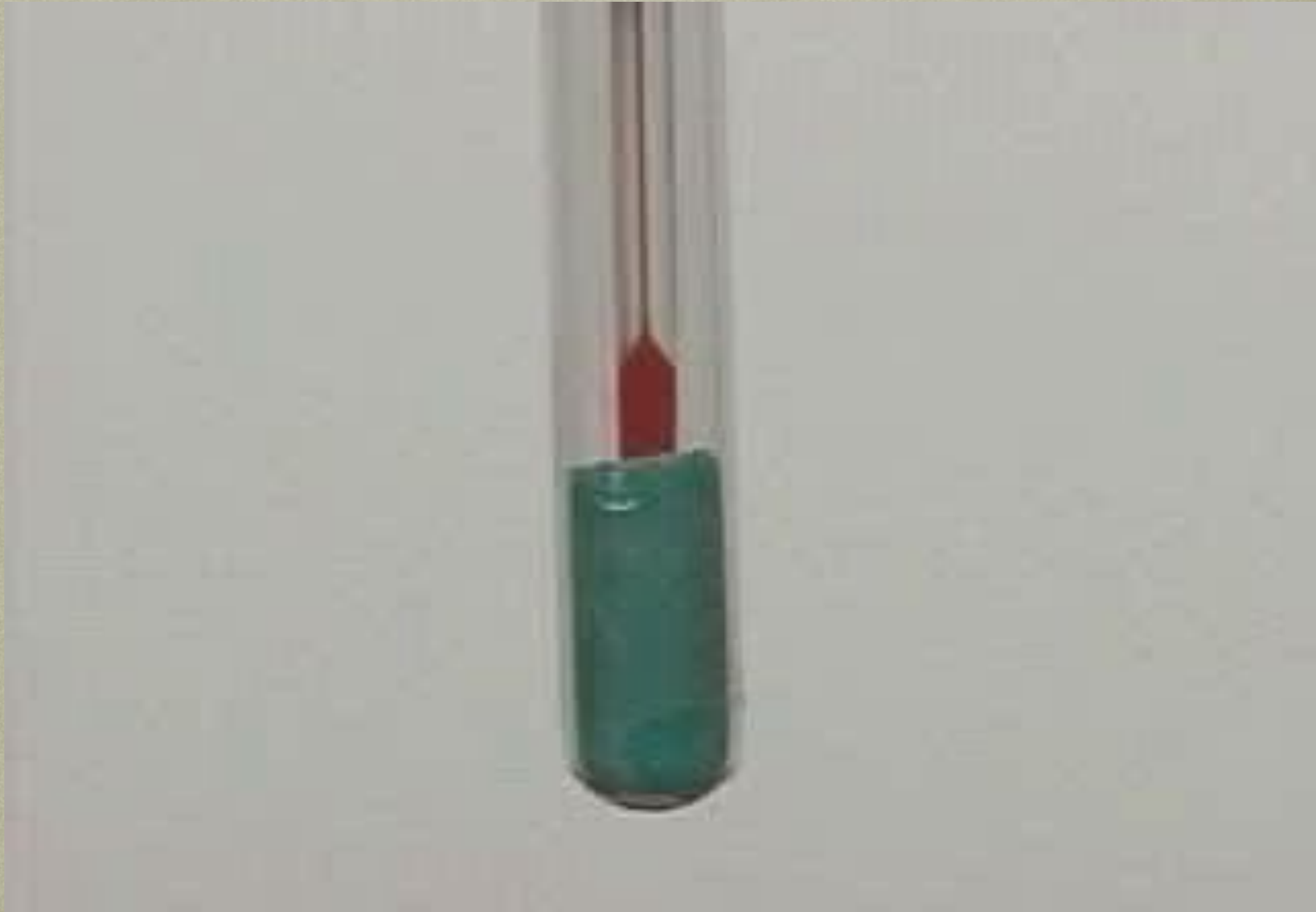


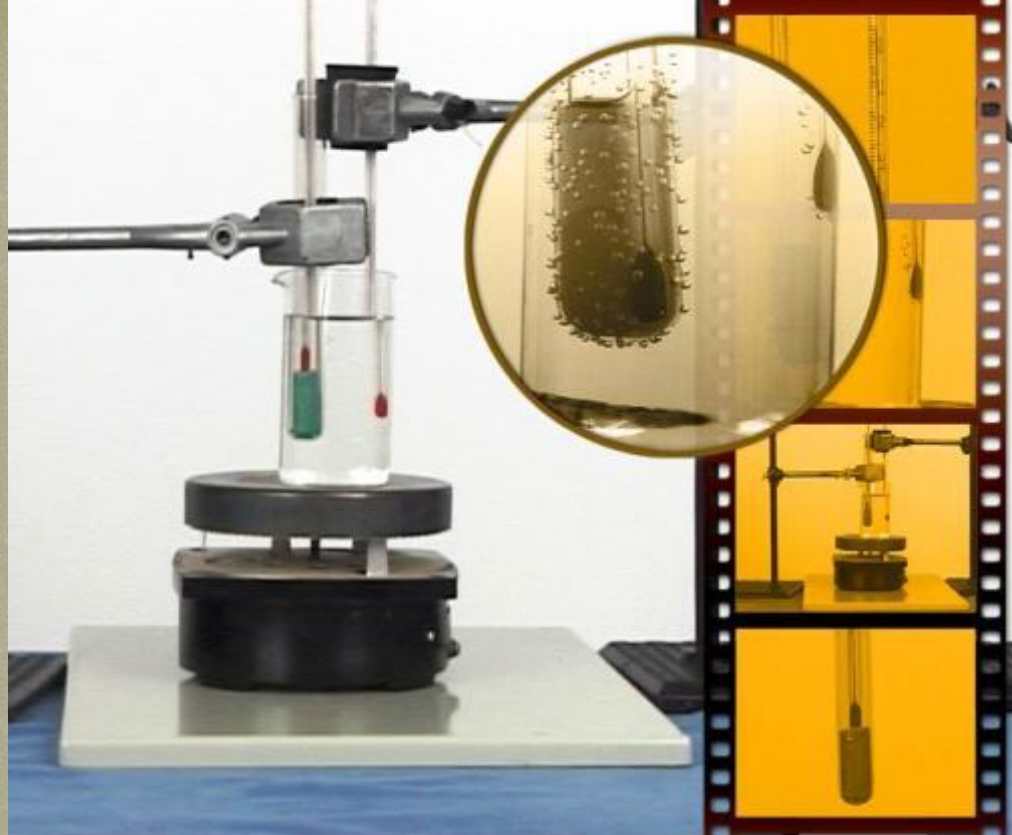


Плавление льда

В природе часто можно наблюдать такое физическое явление, как **плавление льда**. В России оно происходит каждую весну. Айсберги, плавающие в северных морях и недалеко от Антарктиды, тоже постепенно тают.

Плавление кристаллического вещества



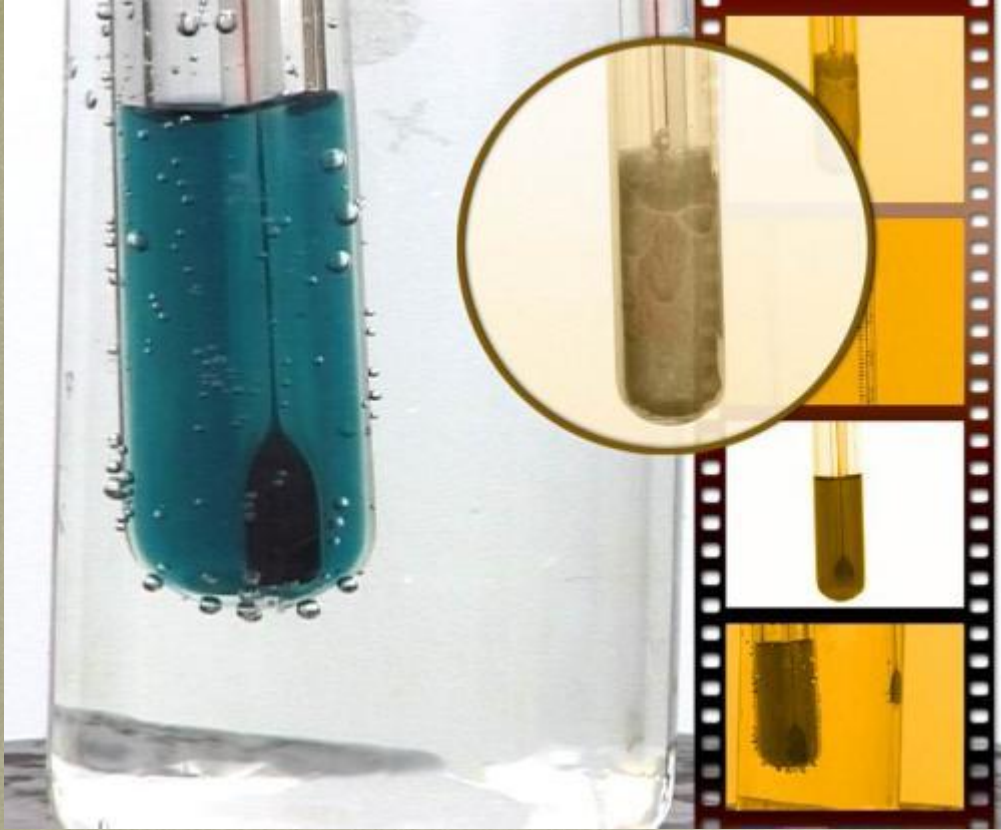


Плавление кристаллического вещества

В пробирке находится кристаллическое вещество и термометр. Нагреем пробирку в горячей воде. Появляется слой жидкости - происходит плавление вещества. Термометр все время находится в расплаве на границе с твердым веществом. Вещество продолжает плавиться. Все вещество расплавилось. Температура жидкости начинает расти.

Отвердевание расплава кристаллического вещества





Отвердевание расплава кристаллического вещества

В горячей воде находится пробирка с почти расплавившимся веществом. Извлечем пробирку из воды.

Температура падает.

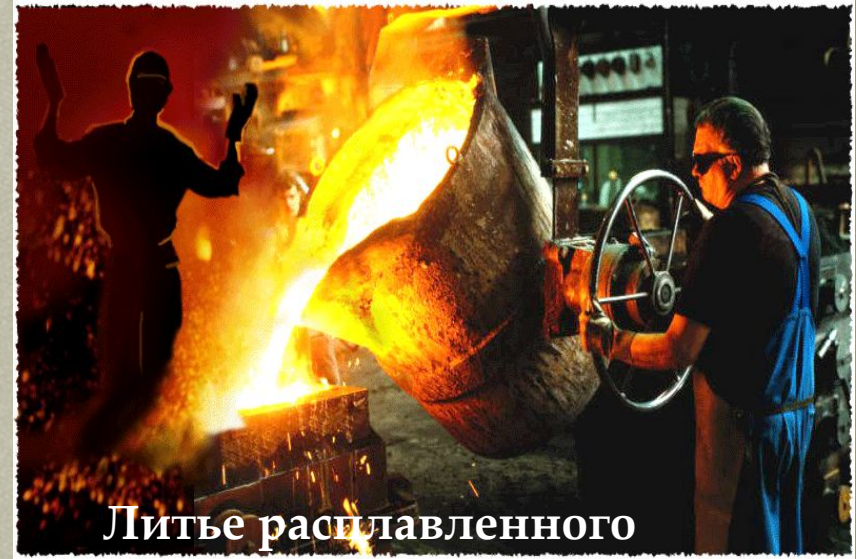
Наблюдается превращение жидкого вещества в твердое - кристаллизация.

Как и во время плавления, при кристаллизации вещества его температура остается постоянной.

Плавление металлов



Плавильный
цех



Литье расплавленного
металла

Литье - это способ придания нужной формы металлическим телам, используя жидкое агрегатное состояние металла.

Закрепление полученных знаний



*Решим задачу и ответим на
несколько вопросов*

Сколько требуется энергии для плавления куска свинца массой 0,5 кг взятой при температуре 27 °С?

Дан

Таблица 16

Температура плавления некоторых веществ, °С

Таблица 17

Удельная теплота плавления некоторых веществ, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
(при температуре плавления и нормальном атмосферном давлении)

Алюминий	$3,9 \cdot 10^5$	Сталь	$0,84 \cdot 10^5$
Лед	$3,4 \cdot 10^5$	Золото	$0,67 \cdot 10^5$
Железо	$2,7 \cdot 10^5$	Водород	$0,59 \cdot 10^5$
Медь	$2,1 \cdot 10^5$	Олово	$0,59 \cdot 10^5$
Цинк	$1,12 \cdot 10^5$	Свинец	$0,25 \cdot 10^5$
Спирт	$1,1 \cdot 10^5$	Кислород	$0,14 \cdot 10^5$
Серебро	$0,87 \cdot 10^5$	Ртуть	$0,12 \cdot 10^5$

Плавление и отвердевание

1. В теплое помещение внесли льдинку.
Выберите верное утверждение.

- 1 При таянии изменяется температура молекул
- 2 При таянии изменяется взаимное расположение молекул
- 3 При таянии изменяется состояние молекул

Плавление и отвердевание

2. Как изменяется температура плавления кристаллического тела от начала плавления до полного расплавления тела?

- 1 Повышается **НЕПРАВИЛЬН**
- 2 Понижается **НЕПРАВИЛЬН**
- 3 Остается неизменной **ПРАВИЛЬН**

О

Плавление и отвердевание

3. Во время отвердевания кристаллического вещества из жидкости происходит выделение теплоты в окружающее пространство. Как изменяется при этом температура кристаллизующего вещества?

1

Повышается

НЕПРАВИЛЬН

2

Понижается

НЕПРАВИЛЬН

3

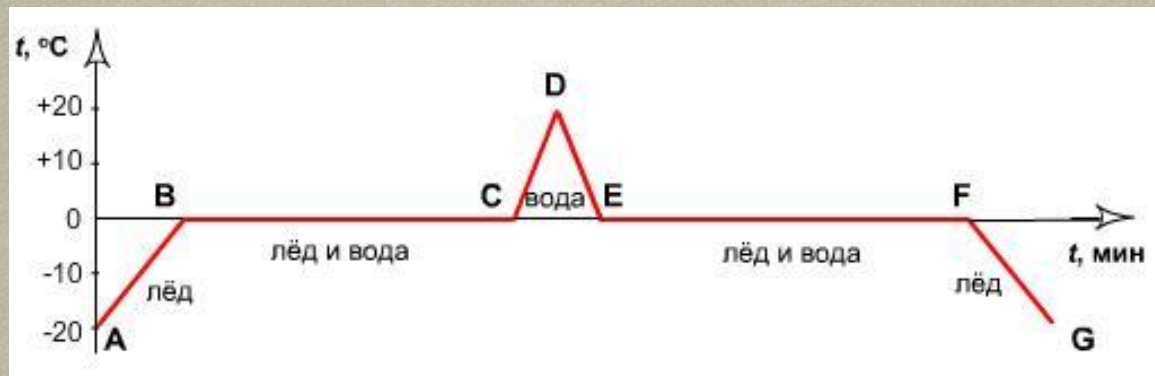
Остается неизменной

ПРАВИЛЬН

0

Плавление и отвердевание

4. На рисунке изображен график нагревания, плавления и отвердевания вещества. Какой участок графика соответствует нагреванию жидкости?



- 1
- 2
- 3

AB НЕПРАВИЛЬН
BC НЕПРАВИЛЬН
CD ПРАВИЛЬН

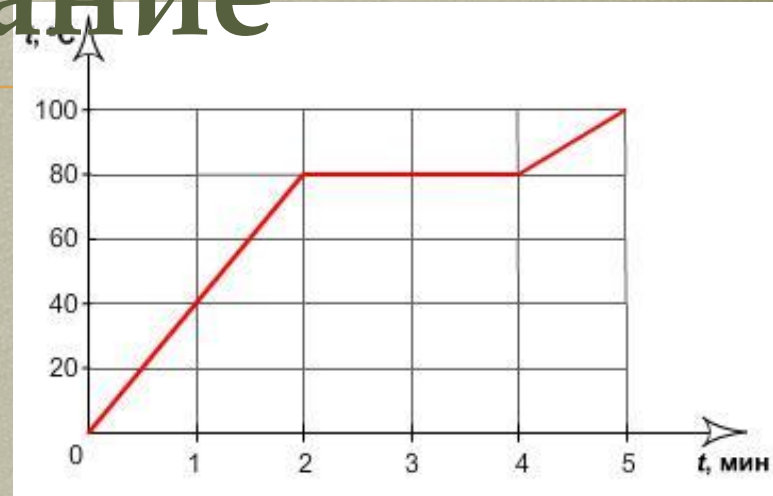
- 4
- 5
- 6

DE НЕПРАВИЛЬН
EF НЕПРАВИЛЬН
FG НЕПРАВИЛЬН

О

Плавление и отвердевание

5. На рисунке показан график нагревания и плавления твердого тела. Выберите правильное утверждение?



1

Тело плавилось в течение 2 минут

2

Тело отвердевало в течение 2 минут

3

Температура плавления равна 100 $^\circ\text{C}$

ПРАВИЛЬН

НЕПРАВИЛЬН

НЕПРАВИЛЬН