**9.3.** Внутри большой теплоизолированной емкости с водой при температуре *T*0 = 0 °C находится маленькая тонкостенная ёмкость с водой и кусочками льда массой *m*0 = 100 г при той же температуре. Воду в большой ёмкости начинают нагревать так, что её температура увеличивается с постоянной скоростью. Часть тепла в результате теплообмена попадает внутрь маленькой ёмкости, и идет на плавление льда. Мощность теплопередачи пропорциональна разности температур в большой и маленькой ёмкостях (закон Фурье). Известно, что когда температура в большой ёмкости достигла *T*1 = 50 °C, внутри маленькой ёмкости расплавилось *m*1 = 10 г льда. Оцените, какая масса льда *m* расплавится от начала нагрева до того момента, когда температура воды в большой ёмкости достигнет *T*2 = 100 °C? Внутри каждой емкости содержимое активно перемешивается, так что температура во всех точках каждой емкости одинаковая.

*Решение.*

Предположим, что за всё время нагрева лёд в маленькой емкости весь не растает. Тогда температура маленькой емкости в течение всего процесса будет *T*0 = 0 °C, а все получаемое тепло пойдет на плавление льда.

Поскольку мощность теплопередачи пропорциональна разности температур в большой и маленькой ёмкостях (), а температура *T* растет линейно, то для первой части нагрева до *T*1 = 50 °C это эквивалентно, как если бы температура равнялась среднему значению

. (1)

Запишем уравнение теплового баланса:

, (2)

где *τ* – время нагрева воды в большой емкости от *T*0 до *T*1.

Заметим, что

, (3)

и, следовательно, время нагрева от *T*1 до *T*2 также будет равно *τ*.

Тогда для второго участка нагрева:

. (4)

, (5)

где *m*2 – масса льда, растаявшего на втором участке нагрева.

Разделим уравнение (5) на уравнение (2):

;

; (6)

Полная масса растаявшего льда:

. (7)

Подставляя числовые значения, получим *m* = 40 г, что меньше *m*0 = 100 г.

*Примечание*. Школьник может, пользуясь равномерностью нагрева и , рассматривать сразу нагрев от *T*0 до *T*2. В этом случае

. (4)

 (5)

г. (7)

*Разбалловка.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Критерий** | **Баллы** |
| 1 | Указано, что температура маленькой емкости в течение всего процесса будет *T*0 = 0 °C. | 1 |
| 2 | Указано, что вследствие линейности нарастания температуры на первом участке ее можно заменить средним значением в виде уравнения (1) (или выполнено графическое интегрирование). | 2 |
| 3 | Записано уравнение теплового баланса (2) для процесса нагрева от *T*0 до *T*1. | 1 |
| 4 | Указано, что времена нагрева воды в большой емкости от *T*0 до *T*1 и от *T*1 до *T*2 одинаковы. | 1 |
| 5 | Указано, что вследствие линейности нарастания температуры на втором участке (или для всего процесса) ее можно заменить средним значением в виде уравнения (4) (или выполнено графическое интегрирование). | 2 |
| 6 | Записано уравнение теплового баланса (5) для процесса нагрева от *T*1 до *T*2 (или для всего процесса нагрева от *T*0 до *T*2). | 1 |
| 7 | Получено выражение (7) для массы растаявшего льда (подстановка  не является ошибкой). | 1 |
| 8 | Получено числовое значение *m* = 40 г. | 1 |
|  | **Итого** | **10** |