

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева»
(РХТУ им. Д.И. Менделеева)

ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ВАРИАНТ

Московского конкурса межпредметных навыков и знаний

«Интеллектуальный мегаполис. Потенциал»

в номинации «Академический класс»
по физико-химическому направлению

Москва, 2022

Спецификация
конкурсных материалов
для проведения практического этапа
Московского конкурса межпредметных навыков и знаний
«Интеллектуальный мегаполис. Потенциал»
в номинации «Академический класс»
по физико-химическому направлению

1. Назначение конкурсных материалов. Материалы практического этапа конкурса «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал» (далее – Конкурс) предназначены для оценки уровня практической подготовки участников конкурса.

2. Условия проведения практического этапа Конкурса. Практический этап Конкурса проводится в очном формате на базе вуза. При выполнении работы обеспечивается строгое соблюдение порядка организации и проведения конкурса «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал».

3. Продолжительность выполнения практического этапа Конкурса. На выполнение заданий практического этапа Конкурса отводится 90 минут.

4. Содержание и структура практического этапа Конкурса. Задания практического этапа Конкурса разработаны преподавателями кафедры физической химии РХТУ им. Д.И.Менделеева. Индивидуальный вариант участника выдается во время проведения практического этапа Конкурса из базы конкурсных заданий. Индивидуальный вариант участника включает шесть заданий, базирующихся на содержании элективного курса “Практикум по физической химии”

5. Система оценивания отдельных заданий и работы в целом. Задание считается выполненным, если ответ участника совпал с эталоном. Каждое задание оценивается от 0 до 10 баллов (кроме задания 4, которое оценивается 20 баллами). Максимальная суммарная оценка за выполнение заданий: 60 баллов. Для получения максимального балла на практическом этапе необходимо правильно выполнить все шесть заданий.

Приложение 1. Обобщённый план конкурсных заданий практического этапа конкурса «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал».

Приложение 2. Демонстрационный вариант конкурсных заданий практического этапа конкурса «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал».

Приложение 3. Форма протокола выполнения работы.

Приложение 4. Критерии оценивания.

Обобщённый план
конкурсных материалов для проведения практического этапа конкурса
«Интеллектуальный мегаполис. Потенциал»
(Практический этап. Физико-химическое направление подготовки)

№ задания	Уровень сложности	Уникальные ко- дификаторы Конкурса	Контролируемые тре- бования к проверяе- мым умениям	Балл
1	Исследовательский практикум по физической химии. Химическая термодинамика (базовый)	1.2; 1.3	- умение искать и находить обобщенные способы решения задач	10
2	Исследовательский практикум по физической химии. Химическая термодинамика: Теплоемкость веществ (базовый)	2.18; 2.19	- понимание принципа определения теплоёмкости (молярной, удельной)	10
3	Исследовательский практикум по физической химии. Химическая термодинамика: Температура (повышенный)	2.6; 2.7	- умение извлекать числовые данные из графически представленных результатов опыта	10
4	Исследовательский практикум по физической химии. Химическая термодинамика. Термохимия (повышенный)	2.20; 2.21; 2.22	–понимание теплового баланса. - умение использовать данные о тепловом эффекте, полученные в результате проведения физико-химического эксперимента.	20
5	Исследовательский практикум по физической химии. Химическая термодинамика: Теплоемкость веществ (повышенный).	2.18; 2.19	- умение использовать экспериментальные данные по теплоемкости для определения молярной массы металла. Погрешность (ошибка) в измерении физико-химических величин.	10
Сумма баллов				60

Демонстрационный вариант
конкурсных заданий практического этапа конкурса
«Интеллектуальный мегаполис. Потенциал»
(Практический этап. Физико-химическое направление подготовки)

Теоретическая часть

Теплоёмкость – важное свойство вещества, характеризующее его способность отдавать или принимать тепло. Численно она равна тому количеству теплоты (*в джоулях или калориях*), которое нужно отдать определенному количеству вещества (или какому-нибудь телу), чтобы нагреть его на один градус. Если же вещество (тело) *охлаждается*, то теплоёмкость – это то количество теплоты, которое оно, вещество (тело), должно *отдать* вовне (другому телу или веществу), чтобы его температура *понижилась* ровно на один градус.

Конечно же, здесь всё зависит от количества вещества. Чем его больше, тем большее количество теплоты ему нужно передать, чтобы нагреть его на тот же один градус. Поэтому для удобства пользуются понятиями *удельной* и *молярной* теплоёмкости: т.е., определяют количество теплоты, которое необходимо передать *одному грамму* или *одному молю* вещества.

Если количество вещества выражают в граммах, то такая теплоёмкость называется *удельной* и выражается в Дж/(г · градус). То есть, удельной теплоёмкостью называют такое количество теплоты, которое нужно передать *одному грамму* вещества, чтобы его температура повысилась ровно на один градус. Если же количество вещества выражают в молях, то такая теплоёмкость называется *молярной* (*мольной*) и выражается она аналогично в Дж/(моль · градус).

Конечно же, зная чему равны *удельная* теплоёмкость вещества и его *молярная* масса, можно рассчитать и его *молярную* теплоёмкость, ведь для того, чтобы нагреть на один градус, скажем, 1 моль меди (молярная масса равна 64 г/моль) необходимо передать ему ровно в 64 раза больше тепла, чем его хватило бы для нагревания одного грамма меди.

Задание: дан образец неизвестного металл. Определите, что это за металл, найдя опытным путём его теплоёмкость и определив по ней его молярную массу.

Используемые реактивы: вода дистиллированная, металлы.

Используемое оборудование: термометр с ценой деления не менее 0,1°С – 1 шт. (допускается применение электронного цифрового термометра), аналитические весы – 1 шт. (допускается применение электронных весов с точностью измерения до 0.01 г), химический стакан (объем 100 мл) – 3 шт., мерный цилиндр (объем 200 мл) – 1 шт., стеклянная палочка – 1 шт., секундомер, плитка электрическая, пинцет (или другое устройство для захвата и размещения образца металла в стакане с водой), магнитная мешалка, штатив, аналитическая бюретка.

Использованная справочная литература:

1. Краткий справочник физико-химических величин / Ред. А.А. Равдель, А.М. Пономарева. 9-е изд. СПб.: Специальная литература, 1999. 232 с.
2. Справочник химика. т.1 / Ред. Б.П. Никольский. 2-изд. М.–Л. 1966.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

Идея эксперимента

Из сказанного выше становится понятна связь, между молярной (C_μ) удельной (C_m) теплоёмкостями и молярной массой вещества (μ):

$$C_\mu = C_m \cdot \mu \quad (1)$$

И тогда можно выразить молярную массу вещества через отношение молярной и удельной теплоёмкостей:

$$\frac{C_\mu}{C_m} = \mu \quad (2)$$

Соотношением (2) можно воспользоваться для определения молярной массы вещества; для этого необходимо узнать его *молярную* и *удельную* теплоёмкости.

Если речь идёт о любом простом веществе (например, металле), то найти его молярную теплоёмкость можно с помощью правила Дюлонга-Пти: теплоёмкость любого простого вещества приблизительно равна утроенной универсальной газовой постоянной ($3R$), то есть примерно 25 Дж/(моль · градус).

Таким образом, если удаётся определить ещё и удельную теплоёмкость некоего металла, то можно по формуле (2) определить его молярную массу, а затем, сравнив её с табличными значениями для разных металлов (таблица Менделеева), определить и сам металл, с которым мы имеем дело.

Вопрос в том, как именно можно экспериментально определить удельную теплоёмкость металла?

Для этого можно воспользоваться уравнением теплового баланса. Несколько слов о нём.

Совершенно ясно, что тело или вещество охлаждается лишь тогда, когда отдаёт часть своего тепла другому телу. И количество тепла, отданное одним телом, строго равно по абсолютной величине количеству тепла, принятому этим другим телом. Поскольку тепло *передаётся от одного тела к другому*, знаки этих теплот *противоположны*:

$$\bar{Q}_1 = -\bar{Q}_2 \quad (3)$$

И для каждого количества теплоты, отданного или принятого веществом, справедлива формула, которая связывает его удельную теплоёмкость (C_m) с его массой (m), а также разностью температур, которую мы получим, отводя или подводя тепло к веществу:

$$Q = mC_m(t_2 - t_1) \quad (4)$$

В формулах химии и физики чаще используют абсолютную температуру (T), но в данном конкретном случае это значения не имеет. Как вы думаете, а почему?

Теперь представим себе, что некий неизвестный металл, массу которого (m_M) мы определим взвешиванием, нагретый до начальной температуры t_M , которую мы можем измерить вполне точно, приходит в соприкосновение с порцией холодной воды массой m_{H_2O} и с температурой t_{H_2O} . Что произойдёт? Металл отдаст некое количество теплоты воде. И его температура понизится до некоторого значения t_x . При этом вода примет ровно то же самое количество тепла от металла, и её температура повысится до той же самой температуры t_x . Когда тепло будет отдано (металлом) и принято (водой), в системе наступит тепловое равновесие – температуры металла и воды окажутся одинаковыми. Применим теперь эти соображения вместе с формулами (3) и (4):

$$\begin{aligned} Q_M &= -Q_{H_2O} \\ m_M C_{m_M} (t_x - t_M) &= -m_{H_2O} C_{m_{H_2O}} (t_x - t_{H_2O}) \quad (5) \end{aligned}$$

Это и есть уравнение теплового баланса для процесса теплообмена между металлом и водой, который мы описали чуть выше.

Теплоёмкость воды ($C_{m_{H_2O}}$) известна – примем её постоянной для температур опыта и определим её значение по таблице 1, но только *после* проведения опыта, так как нам необходимо знать его среднюю температуру.

Таким образом, остаётся спланировать эксперимент так, чтобы определить три температуры: t_x , t_M и t_{H_2O} , входящие в уравнение (5).

Таблица 1. Значения удельной теплоёмкости воды при различных температурах.

$t^{\circ}\text{C}$	0.01	10	15	20	25	30	35	40	45	50
С воды Дж/г град	4,217	4,191	4,187	4,183	4,179	4,174			4,177	4,181
$t^{\circ}\text{C}$	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
С воды Дж/г град	4,182		4,185	4,187	4,191	4,195	4,202	4,208	4,214	4,220

Описание эксперимента

Эксперимент проводится на установке, изображенной на рис.1, правая часть которого представляет собой простейший калориметр, т.е. прибор для измерения тепловых эффектов в различных процессах.

Опыт А

1. В химический стакан помещают предварительно взвешенный с точностью до 1 мг образец металла (см. рис. 1, слева) и наливают столько *дистиллированной* воды, чтобы её уровень был выше металла на 2–3 см. Измерять объём этой воды или её массу нет необходимости.

2. Включают печь и нагревают воду (и находящийся в ней металл) до кипения. Температура металла и воды во время кипения будет одинакова ($t_M = 100^{\circ}\text{C}$). Пока вода в опыте А нагревается до кипения, приступают к опыту Б.

Опыт Б

3. Наполняют стакан (см. рис. 1, справа) *дистиллированной* водой известного объёма. Этот объём должен быть приблизительно тем же, что и в опыте А, но измерить его нужно как можно более точно, поэтому используйте аналитическую бюретку. Так как плотность воды равна приблизительно 1 г/мл, то измеренный её объём и есть масса воды, взятой для опыта Б. Обозначим её как m_{H_2O} .

4. Измеряют (с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$) и записывают температуру воды в калориметре (t_{H_2O}).

5. При помощи пинцета быстро, но осторожно извлекают металл из стакана с горячей водой и помещают его в стакан с холодной. (Как вариант, металл может быть изначально закреплён на специальном креплении с петлёй из тонкой нити. В этом случае перемещают металл с петлёй из стакана с кипящей водой во внутренний стакан калориметра.)

6. После этого запускают мешалку в калориметре, чтобы процесс теплообмена проходил как можно более равномерно. Термометр и мешалка должны быть расположены так, чтобы не повредить друг друга.

7. Следят за ходом температуры, записывая показания термометра (с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$) в калориметре каждые 15 секунд. Сначала температура довольно резко будет подниматься, после чего её ход замедлится, а затем поменяет направление – начнётся постепенное

охлаждение из-за обмена с окружающей средой. После прохождения максимума температуры необходимо продолжить измерение температуры ещё около 5 минут. Эта часть эксперимента нужна для того, чтобы учесть процесс теплообмена между всей калориметрической установкой и окружающей средой.

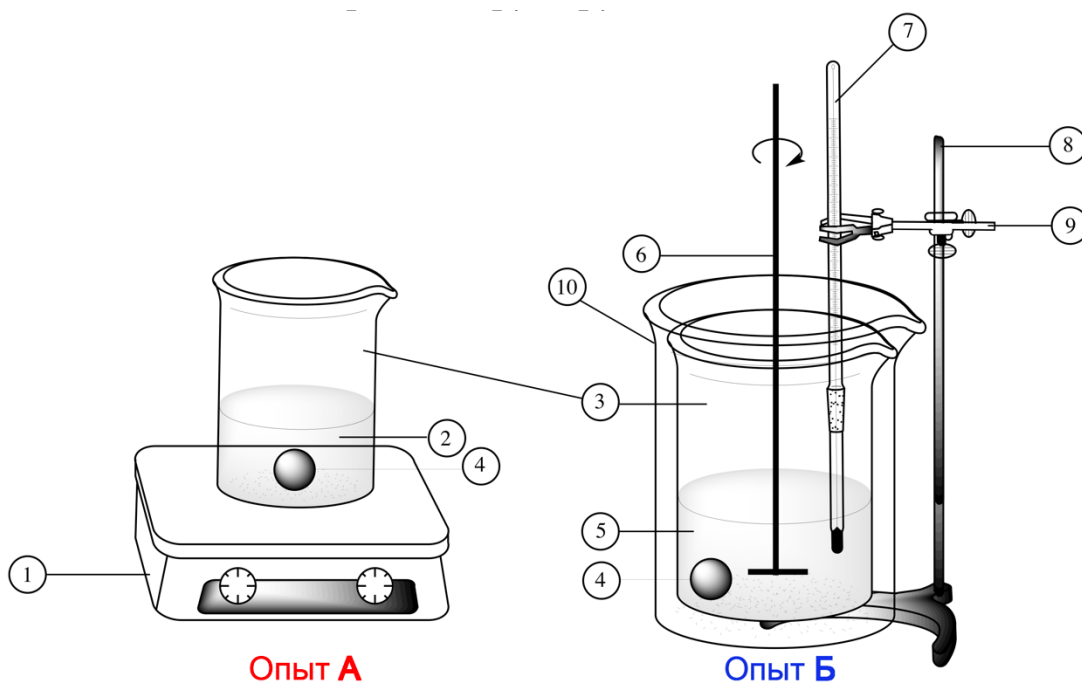


Рисунок 1. Схема установки по определению удельной теплоёмкости металла: 1 – нагреватель (электронагреватель); 2 – горячая вода; 3 – химический стакан на 250 мл; 4 – металл; 5 – вода комнатной температуры; 6 – мешалка (электрическая или магнитная); 7 – термометр; 8 – лабораторный штатив; 9 – лапка и муфта для крепления термометра; 10 – внешний стакан на 500 мл на термоизолирующей подставке (пробка, пластик, асбестовый коврик).

8. По записанным данным строят на миллиметровой бумаге график зависимости температуры от времени (рис. 2). На участке охлаждения через полученные точки проводят прямую так, чтобы все точки были расположены как можно ближе к прямой. Продлевают эту линию до пересечения с осью ординат (экстраполяция) и находят температуру конца опыта теплообмена t_x .

Указанное действие необходимо для того, чтобы учесть, что теплообмен происходит не только между нагретым металлом и водой, в которую он погружён, но и между всей калориметрической системой (установкой) и окружающей средой – воздухом в лаборатории. Причем необходимо понимать, что данный теплообмен происходит во время *всего* эксперимента, т.е. как до начала главного этапа (передачи тепла от металла воде), так и после него, а также во время него. Поэтому считать конечной температурой наивысшую температуру опыта, которую показал термометр, было бы не совсем правильно. Ведь пока металл нагревает воду, воздух, окружающий калориметр и имеющий более низкую температуру, охлаждает сам калориметр и всё, что в нём находится.

9. Определяют среднюю температуру опыта Б по формуле (6):

$$t_{cp} = \frac{t_x - t_{H_2O}}{2} \quad (6)$$

Средняя температура нужна для того, чтобы по таблице 1 найти среднее значение теплоёмкости воды, которая, как это видно из самой таблицы, не постоянна, а зависит от температуры, которую вода имеет в момент её использования в эксперименте. Если полученной

Форма протокола выполнения работы

Учащегося школы _____

ФИО _____

Вариант № _____

1. Результаты выполнения задания

Этап	Результат	Макс. балл	Балл
1. Построение на миллиметровой бумаге графика зависимости температуры от времени для процесса охлаждения неизвестного металла		10	
2. Правильное определение t_x		10	
3. Расчёт удельной теплоёмкости металла		10	
4. Расчёт атомной массы металла и правильное определение металла		20	
5. Расчёт относительной ошибки в нахождении атомной массы		10	

Критерии оценивания

Этап	Критерии оценивания	Макс. балл
1. Построение на миллиметровой бумаге графика зависимости температуры от времени для процесса охлаждения неизвестного металла	График построен верно	10
	График построен верно, но есть ошибки	5
	График отсутствует	0
2. Определение t_x	Правильное определение t_x	10
	Ошибки в определении экстраполяцией t_x	5
	Отсутствует определение экстраполяцией t_x	0
3. Расчёт удельной теплоёмкости металла	Правильный расчет	10
	Ошибки в расчете	5
	Отсутствует расчет	0
4. Расчёт атомной массы металла	Правильный расчет атомной массы и правильное определение металла	20
	Ошибки в расчете атомной массы, но верно указан металл	10
	Неверный расчет атомной массы/нет расчета, металл не определен	0
5. Расчёт относительной ошибки в нахождении атомной массы	Правильный расчет	10
	Ошибки в расчете	5
	Отсутствует расчет	0

Максимальный балл, который может получить участник за выполнение практической части – 60 баллов.