

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)

**Методические рекомендации к выполнению конкурсных  
заданий практического этапа  
Московского конкурса межпредметных навыков и  
знаний «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал»  
в номинации «Инженерный класс»  
по «Инженерно-химическому» направлению**

Москва, 2024

В данном методическом пособии кратко представлены основные разделы физико-химической теории растворов электролитов и неэлектролитов, освоение которых поможет учащимся профильных инженерных классов качественно подготовиться к сдаче практической части Конкурса. В пособии рассматриваются следующие разделы: «Понижение температуры замерзания. Криоскопия», «Обобщённый план конкурсных материалов для проведения практического этапа Конкурса «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал», «Демонстрационный вариант практического этапа Конкурса», «Рекомендации по выполнению задания», «Критерии оценивания».

В конце пособия представлен список используемой и рекомендуемой литературы для подготовки к практическому этапу конкурса.

Настоящее методическое пособие рекомендовано, в первую очередь, учителям профильных химических классов для базовой подготовки учащихся к прохождению Конкурса. Пособие будет полезно также и самим учащимся для повторения и закрепления пройденного материала.

## **Введение**

Практический этап Конкурса проводится или в очной форме на базе вуза, или в очном дистанционном формате с использованием технологии прокторинга. При выполнении работы обеспечивается строгое соблюдение порядка организации и проведения Конкурса. На выполнение заданий практического этапа Конкурса отводится 90 минут.

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 элективных курсов «Практикум по физической химии» и «Технологии современного производства».

Задание считается выполненным, если ответ участника совпал с эталоном. Каждое задание оценивается от 0 до 10 баллов. Максимальный балл за выполнение заданий — 60 баллов. Для получения максимального балла на практическом этапе необходимо правильно выполнить все шесть заданий.

## Понижение температуры замерзания. Криоскопия

Согласно закону Рауля, ряд свойств разбавленных растворов не зависит от природы растворенного вещества и определяется только отношением числа молекул (или числа моль) растворенного вещества (2) к числу молекул (или к числу моль) растворителя (1). В сильно разбавленных растворах, когда  $n_1 \gg n_2$  мерой этого числа может быть концентрация в мольных долях ( $x_2$ ), а также моляльная ( $m$ ) концентрация растворенного вещества.

К группе общих свойств, называемых коллигативными (от лат. «et colligationem», «colligate» — «связать», «связывать»), относятся:

- понижение давления пара летучего растворителя над раствором нелетучего вещества:

$$p_1^0 - p_1 = \Delta p_1 = x_2 p_1^0 = m \frac{M_1}{1000} p_1^0$$

- понижение температуры начала кристаллизации растворителя, иначе температурная депрессия ( $T_{пл.1} - T$ )

$$\Delta T_{отв} = \frac{m M_1}{1000} \frac{R T_{пл.1}^2}{\Delta_{пл.} H_1} = K_{крио} m$$

- повышение температуры начала кипения раствора нелетучего вещества в летучем растворителе:

$$\Delta T_{кип} = \frac{m M_1}{1000} \frac{R T_{кип.1}^2}{\Delta_{кип.} H_1} = K_{эбул} m$$

- осмотическое давление ( $\pi$ ), связанное с проникновением растворителя через полупроницаемую мембрану в раствор с более высокой концентрацией растворенного вещества:

$$\pi = \frac{RT}{V_1^0} x_2 = c_2 RT \approx m_2 RT$$

где индекс «1» относится к свойствам растворителя:  $V_1^0 = \frac{M_1}{\rho_1}$  – молярный объём чистого растворителя,  $C_2$  – молярная и  $m_2$  – моляльная концентрация растворенного вещества,  $K_{крио}$  и  $K_{эбул}$  – криоскопическая и эбулиоскопическая константы растворителя.

Как видно, величина каждого из указанных свойств пропорциональна концентрации растворенного вещества. При этом коэффициенты пропорциональности связаны только со свойствами растворителя (но,

естественно, зависит от способа выражения концентрации растворенного вещества).

Закон Рауля справедлив как для разбавленных бинарных растворов, так и для растворов, в которых присутствует одновременно несколько растворенных веществ. В этом случае в записанные выше выражения осуществляют подстановку: сумма концентраций всех растворенных веществ. Если, например, водный раствор содержит мочевины, минеральные соли и белки, то величина коллигативного свойства определяется суммой концентраций всех растворенных веществ. Иными словами, коллигативное свойство становится собирательным или коллективным.

В бинарных растворах по величине каждого из коллигативных свойств можно определить молярную массу растворенного вещества, а также обнаружить эффекты его диссоциации или ассоциации при переходе в состояние раствора. В случае диссоциации количество частиц, связанных с присутствием взятого растворенного вещества, увеличивается и вследствие этого возрастает величина регистрируемого свойства. Если же происходит ассоциация, то наблюдается обратная картина.

Отмеченные эффекты учитываются с помощью введения поправочного изотонического коэффициента “ $i$ ”, который больше единицы при распаде молекул (на ионы или атомы) и меньше единицы в случае ассоциации. Степень диссоциации молекулы  $A_aB_b$  связана с изотоническим коэффициентом уравнением:

$$\alpha = \frac{i - 1}{(a + b) - 1}$$

и, соответственно, в случае ассоциации молекул ( $aA = A_a$ ) – уравнением:

$$\alpha = \frac{i - 1}{\frac{1}{a} - 1} = \frac{a(i - 1)}{1 - a}$$

Коллигативные свойства растворов чаще всего исследуются с целью установления молекулярной формы существования растворенного вещества в любом растворителе.

Например, в предельно разбавленных водных растворах сильных электролитов величина изотонического коэффициента ( $i_\infty$ ) совпадает с суммой числа ионов, образующих молекулу электролита. Она составляет 2 для 1-1, 2-2 и 3-3 электролитов, 3 - для 1-2 и 2-1 электролитов и т.д. В случае ассоциации растворенного вещества она меньше единицы. Например, при исследовании свойств растворов серы и бензойной кислоты, в бензоле удалось обнаружить наличие октамерных молекул серы ( $S_8$ ) и димеров бензойной кислоты. Изотонический коэффициент в этих случаях был равен, соответственно,  $1/8$  и  $1/2$ . Если же при переходе в раствор молекулярная форма существования

растворенного вещества не изменяется, то изотонический коэффициент равен 1, как это имеет место, например, при растворении мочевины в воде.

На первый взгляд может показаться, что экспериментальное определение коллигативных свойств не сопряжено с преодолением существенных технических трудностей. В действительности это не так. Дело в том, что величины  $\Delta p$  и  $\Delta T$  по абсолютной величине невелики, и вследствие этого измерение их требует применения устройств, позволяющих измерять давление или температуру с абсолютной погрешностью менее 0,01 мм.рт.ст. и 0,01К. Неудивительно, потому что реальный прогресс в исследовании коллигативных свойств с помощью криоскопических измерений, основанных на определении температуры начала кристаллизации раствора, был достигнут только после изобретения в 1888-1889 году профессором Эрнстом Отто Бекманом прецизионного термометра, абсолютная погрешность которого была около 0,005К. (В органической химии Бекман придумал перегруппировку, названную его именем).

В противоположность этому — абсолютная погрешность манометров не превосходит  $\pm 0,01$  мм рт.ст. При этом получение корректных результатов становится возможным только при условии, что случайные колебания температуры раствора при регистрации давления меньше, чем  $\pm 0,01$  К (при такой вариации температуры ошибка в величине давление насыщенного пара в случае воды будет около 0,012 мм рт.ст). Здесь стоит отметить, что практическое использование систем поддержания постоянства температуры с погрешностью  $< 0,01$  К является очень непростой задачей.

Эбуллиоскопические измерения, при которых регистрируется повышение температуры кипения раствора в сравнении с чистым растворителем, должны проводиться в условиях постоянства внешнего давления. В техническом отношении эбуллиоскопия сложнее криоскопии и значительно менее чувствительна. Если, например, для водного раствора одинаковой концентрации сравнивать величины  $\Delta T_{\text{отв}}$  и  $\Delta T_{\text{кип}}$ , то регистрируемый эффект в случае криоскопии будет в 3,63 раза больше, и, следовательно, при одинаковой погрешности измерения температуры точность будет значительно выше.

Прямые измерения осмотического давления с помощью мембранных осмометров, основанных на мембранах высокой селективности (например, кожи лягушек или целлофана), проводят редко. Мембранные осмометры производят в США (Wescor) и Германии (Dr. Knauer, Gonotec). Эти приборы имеют высокую стоимость и сравнительно редко используются в лабораторной практике. Чаще всего осмотическое давление раствора находят косвенно, посредством пересчета из данных о суммарной концентрации всех веществ, присутствующих в растворе, для определения которой используют криоскопию.

Таким образом, среди методов экспериментального определения коллигативных свойств наиболее простым и точным является криоскопия.

Слово «криоскопия» в переводе с греческого означает «наблюдение охлаждения».

В этом случае экспериментатор регистрирует температуру начала кристаллизации раствора при его охлаждении в условиях интенсивного перемешивания, позволяющего свести к нулю возникновение градиентов температуры по объему раствора.

Однако кристаллизация индивидуальных жидкостей и жидких растворов всегда осложнена эффектом переохлаждения (а кипение жидкостей — эффектом перегревания). Величина «переохлаждения» есть разность между температурой плавления кристалла (той, которая приведена в справочнике) и реально наблюдаемой температурой начала кристаллизации переохлажденной жидкости, т.е. той, при которой начинается выделение теплоты кристаллизации, в результате чего температура начинает увеличиваться.

Переохлаждение зависит от геометрии кристаллизатора, химического состава жидкости, скорости охлаждения, вязкости, величины поверхностного натяжения, теплопроводности жидкости и кристалла, и особенно концентрации микровключений посторонних твердых фаз в объеме кристаллизующейся жидкости.

Переохлажденная жидкость существует в метастабильном состоянии до тех пор, пока в объеме жидкой фазы или на стенках сосуда не появится устойчивый (т.е. способный к росту) зародыш кристаллической фазы. Чаще всего процесс происходит по гетерогенному механизму, когда зародыши образуются на стенках сосуда или микровключениях твердых примесных фаз, присутствующих в жидкости или захваченных из газовой фазы и контактирующих с жидкостью (например, пылинок).

Чистая вода, не содержащая микровключений, может быть переохлаждена до ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), поэтому появление первого же зародыша льда приводит к мгновенной (взрывообразной) кристаллизации воды.

Учитывая изложенное, для нахождения разности между температурой начала кристаллизации раствора и чистого растворителя принято сравнивать кривые охлаждения, относящиеся к раствору и растворителю. Величину  $\Delta_{\text{отв}}T$  находят как температурную разность между кривыми на участке «квазиравновесной» кристаллизации раствора, когда температура в обоих случаях перестает изменяться. «Квазиравновесной» потому, что кристаллизация раствора, сопровождается выделением кристаллов растворителя, в результате чего концентрация растворенного вещества в растворе возрастает, а температура его кристаллизации понижается (но на очень небольшую величину).

**Обобщённый план  
конкурсных материалов для проведения практического этапа  
Конкурса «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал»**

<b>№ задания</b>	<b><i>Уникальные кодификаторы Конкурса</i></b>	<b>Контролируемые требования к проверяемым умениям</b>	<b>Балл</b>
1	Физико-химическая теория растворов электролитов и неэлектролитов. Понижение температуры замерзания.	Графическое представление экспериментальных данных.	10
2	Физико-химическая теория растворов электролитов и неэлектролитов. Понижение температуры замерзания.	Обработка графиков, извлечение числовых данных из графиков.	10
3	Физико-химическая теория растворов электролитов и неэлектролитов. Криоскопия.	Математический расчет и запись результата с заданной степенью точности.	10
4	Физико-химическая теория растворов электролитов и неэлектролитов. Криоскопия	Анализ полученного результата.	10
5	Аддитивные технологии и их возможности: определения, технологии, методы и материалы, которые применяются в этой области.	Принципы классификации полимеров. Характеристика представителей различных классов полимеров с точки зрения общности их практических свойств.	10
6	Аддитивные технологии и их возможности: определения, технологии, методы и материалы, которые применяются в этой области.	Молекулярно-массовые характеристики полимеров. Молекулярно-массовое распределение (ММР). Экспериментальные методы оценки молекулярных масс и ММР.	10



## Демонстрационный вариант конкурсных заданий практического этапа Конкурса.

### Определение молекулярной массы растворённого вещества криоскопическим методом.

Одной из важнейших физико-химических характеристик любого высокомолекулярного соединения является его молекулярная масса. Значение молекулярной массы определяет важнейшие свойства полимеров и пути их переработки в изделия, в том числе и вторичных. Например, при росте молекулярной массы критически изменяются свойства полимеров, причем при достижении некоторых предельных значений высоких молекулярных масс свойства могут полностью меняться. Так простейший полимер полиэтилен при низких молекулярных массах имеет свойства близкие к твердым парафинам (полиэтиленовый воск). Такой полимер легко течет и в расплавленном виде ведет себя аналогично жидкостям. При повышении молекулярной массы вязкость полиэтилена возрастает, и полиэтилен, в данном случае, перерабатывается последовательно методами литья под давлением, выдувного формования, экструзии, прессования и т.д. Наконец, полиэтилен, обладающий очень большими значениями молекулярных (в несколько миллионов) масс полимера, так называемый сверхвысокомолекулярный полиэтилен практически не способен к плавлению и вязкому течению, а его переработка крайне затруднена.

Полимеры обычно состоят из молекул неодинакового размера (протяженности) и массы, поэтому значение молекулярной массы полимера, определенное с помощью того или иного метода, является *средней* величиной. Различают среднечисловую и среднемассовую молекулярные массы.

Для определения среднечислового значения используются экспериментальные методы, основанные на определении количества молекул в разбавленных растворах полимеров: метод измерения понижения температуры замерзания (начала кристаллизации) раствора (криоскопия) или повышения температуры кипения раствора (эбулиоскопия), метод определения числа концевых групп в макромолекулах, метод измерения осмотического давления раствора.

Криоскопическим называется метод определения молекулярной массы по понижению точки замерзания растворителя. Для криоскопических измерений применяют прибор криоскоп, представленный на рисунке:

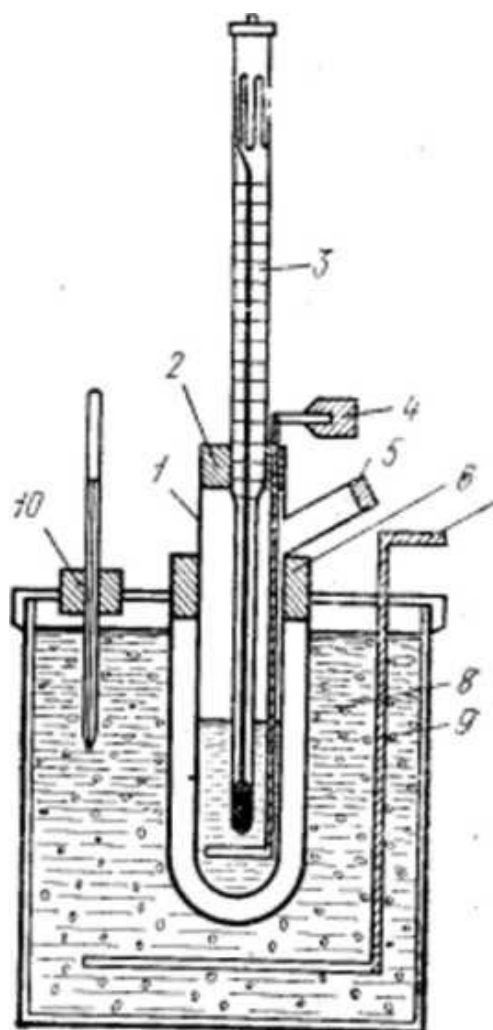


Рисунок. Схема прибора для определения температуры замерзания.

Данный прибор состоит из широкой стеклянной пробирки 1 для растворителя, имеющей в верхней части отросток 5 для внесения растворяемого вещества. Пробирку закрывают корковой пробкой 2, в которую вставлены термометр Бекмана 3 и латунная мешалка 4. При помощи резиновой прокладки 6 пробирку помещают в воздушную стеклянную рубашку 7, которую погружают в криостат 8. Криостат представляет собой толстостенный стакан или металлическую баню, наполненную охлаждающей смесью (лед + хлорид натрия), внутри которой установлена мешалка 9 и термометр 10.

Предварительно определяют температуру замерзания (кристаллизации) растворителя, затем, после внесения определенного количества растворенного вещества в данный растворитель, — температуру замерзания (начала кристаллизации) полученного раствора. По понижению температуры замерзания рассчитывается значение молярной массы растворенного вещества.

**Описание работы.** Определить молярную массу вещества криоскопическим методом, т.е. по изменению температуры начала кристаллизации раствора этого вещества относительно температуры кристаллизации чистого растворителя.

### **Последовательность выполнения работы**

1. Количественно перенести 100 мл ( $m_{\text{р-ля}}=100$  г) растворителя в пробирку криостата, затем закрепить в пробирке термометр Бекмана. Затем, помешивая исследуемую жидкость мешалкой, снять кривую охлаждения, т.е. зависимость температуры  $t, ^\circ\text{C}$  (р-ль) (с точностью  $0,01^\circ\text{C}$ ) в пробирке криостата от времени с шагом 0,5 минут. На кривой охлаждения будут наблюдаться 3 участка – участок падения температуры, участок повышения температуры и температурное плато. После выхода на температурное плато (3 - 5 точек с одинаковой температурой) следуют прекратить эксперимент.

2. Взять навеску  $m_{\text{в-ва}}=10$  г исследуемого вещества и растворить в используемом растворителе, находящемся в пробирке криостата. Повторить вышеописанный опыт с получившимся раствором, измерив зависимость температуры  $t_{\text{р-р}}, ^\circ\text{C}$  (р-р) от времени с шагом 0,5 минут.

3. Полученные экспериментальные данные занести в таблицу:

Таблица 1. Экспериментальные данные измерения температуры кристаллизации чистого растворителя и раствора:

Время, мин	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
$t, ^\circ\text{C}$ (р-ль)																	
$t_{\text{р-р}}, ^\circ\text{C}$ (р-р)																	

### **Задание к практической работе.**

1. Построить график в координатах «время (мин) – температура( $^\circ\text{C}$ )» для чистого растворителя и для раствора.

2. По графику установить температуры кристаллизации чистого растворителя  $t_{\text{зам.р-ля}}$  и раствора  $t_{\text{зам.р-ра}}$  (поскольку по мере выпадения кристаллов растворителя концентрация раствора увеличивается; за температуру начала кристаллизации раствора принимают наибольшее из приведенных в таблице значение температуры, достигнутое после переохлаждения). Определить разницу температур начала кристаллизации растворителя и раствора  $\Delta t_{\text{зам}} = t_{\text{зам.р-ля}} - t_{\text{зам.р-ра}}$ .

3. Рассчитать молярную массу растворенного вещества  $M_{\text{в-ва пр}}$  с точностью до 0,1 г/моль (криоскопическая константа для воды  $K=1.86$ ) по формуле:

$$M_{\text{в-ва пр}} = \frac{m_{\text{в-ва}} \cdot 1000}{\Delta t_{\text{зам}} \cdot m_{\text{р-ля}}} \cdot K$$

Исходя из полученного значения молярной массы вещества, определить растворимое в ходе опыта вещество из представленного списка (мочевина, глюкоза, фруктоза, сахароза) и его молярную массу  $M_{\text{в-ва теор}}$

4. Рассчитать относительную ошибку  $\delta$  (в %) с точностью до целых в определении молярной массы вещества по формуле:

$$\delta = \frac{M_{\text{в-ва пр}} - M_{\text{в-ва теор}}}{M_{\text{в-ва теор}}} \cdot 100\%$$

Полученные результаты занести в протокол.

5. Ответьте на вопрос по элективному курсу «Технологии современного производства» из разделов: Принципы классификации полимеров. Характеристика представителей различных классов полимеров с точки зрения общности их практических свойств.

6. Ответьте на вопрос по элективному курсу «Технологии современного производства» из разделов: Молекулярно-массовые характеристики полимеров. Молекулярно-массовое распределение (ММР). Экспериментальные методы оценки молекулярных масс и ММР.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ.

Для выполнения этой работы используется прибор, называемый криостатом. Он состоит из широкой стеклянной пробирки для растворителя, имеющей в верхней части отросток для внесения растворяемого вещества. В предварительно высушенную и взвешенную на технических весах (с точностью до 0,02 г) пробирку наливают такое количество растворителя (дистиллированной воды), чтобы нижний резервуар термометра Бекмана был полностью погружен в него, но не касался дна пробирки (обычно около 25 мл воды). Затем пробирку снова взвешивают на тех же технических весах, чтобы по разности масс определить массу растворителя. Далее эту пробирку закрывают корковой пробкой, через которую проходят термометр Бекмана и мешалка, изготовленная из миллиметровой мягкой проволоки. С помощью резиновой втулки пробирку закрепляют в другой пробирке большего диаметра для создания воздушного зазора. Воздушная прослойка между пробирками служит для более равномерного охлаждения. Данная конструкция помещается либо в толстостенный стакан, который заполняется охладительной смесью мелко раздробленного льда с поваренной солью, либо в микрохолодильник. Работа последнего основана на эффекте Пельтье. Эффект Пельтье заключается в переносе энергии при прохождении постоянного электрического тока в месте спая двух разнородных проводников от одного проводника к другому, т.е. в месте спая двух разнородных проводников в зависимости от направления постоянного тока будет выделяться или поглощаться тепло. Внешний стакан крепится к водяному теплообменнику, снабжённому двумя штуцерами для подачи и отвода проточной холодной воды. Между внешним стаканом и теплообменником расположена термобатарея, горячие спаи которой охлаждаются проточной водой теплообменника. Питание микрохолодильника осуществляется с помощью выпрямителя, ток нагрузки которого регулируется с помощью позиционного переключателя.

Температуру охлаждающей смеси или холодильника устанавливают и поддерживают постоянной на 2–3 °С ниже температуры замерзания растворителя. Изменение температуры охлаждающей смеси осуществляется добавлением в неё льда или соли. Требуемую температуру системы в микрохолодильнике устанавливают путём регулирования тока нагрузки. Аккуратно помешивая растворитель в пробирке, наблюдают за понижением уровня ртути в предварительно настроенном термометре Бекмана. Следует отметить, что в опыте обычно происходит небольшое (менее 2 °С) переохлаждение растворителя, после чего начинается его кристаллизация. При этом из-за выделения скрытой теплоты кристаллизации температура растворителя повышается до истинной температуры замерзания. Эту температуру замерзания фиксируют. После этого внутреннюю пробирку вынимают из внешней пробирки и нагревают её рукой, чтобы расплавить кристаллы растворителя. Далее внутреннюю пробирку опять помещают во внешнюю пробирку и повторно определяют температуру замерзания. Эту

операцию повторяют до тех пор, пока расхождения не будут превышать 0,01 °С.

После определения температуры замерзания во внутреннюю пробирку через боковой отросток вводят заранее приготовленную навеску растворённого вещества. Навеску готовят путём взвешивания на аналитических весах с точностью до четвёртого знака после запятой. Навеска растворённого вещества должна быть такой, чтобы при растворении её в растворителе раствор был бы разбавленным (молярность не превышала 0,1 моль/кг). Нужно заранее приготовить соответствующий раствор и поместить его в пробирку.

Далее наблюдают за температурой раствора при постоянном перемешивании. Как и в случае чистого растворителя, из-за небольшого переохлаждения температура раствора опустится ниже истинной температуры замерзания, после чего начнётся кристаллизация. Благодаря выделению теплоты кристаллизации температура повысится до истинной температуры начала кристаллизации, соответствующей раствору данной концентрации. Однако, как уже было отмечено ранее, в связи с выделением кристаллов растворителя концентрация раствора будет увеличиваться, что ведёт к понижению температуры. Поэтому температурой начала кристаллизации раствора заданной концентрации следует считать наивысшую температуру, которая будет достигнута после переохлаждения. Эту температуру определяют несколько раз в повторных опытах до получения воспроизводимых результатов.

Для определения малых изменений температуры служит термометр Бекмана. Он отличается от обычного термометра тем, что кроме основного нижнего резервуара со ртутью имеет также верхний резервуар, который капилляром соединяется с нижним резервуаром. Это позволяет изменять количество ртути в нижнем резервуаре термометра и тем самым даёт возможность измерять с достаточной точностью небольшие разности температур в различных интервалах абсолютных температур. Шкала такого термометра обычно разделена на 2–6 °С с отметкой между ними десятых и сотых долей градуса. Цена деления в таком термометре обычно составляет 0,01 °С.

Перед работой термометр Бекмана должен быть настроен, т.е. установлен таким образом, чтобы при температуре опыта уровень ртути в капилляре находился в пределах шкалы термометра. При криометрических измерениях наивысшей измеряемой температурой является температура замерзания чистого растворителя. Поэтому количество ртути в нижнем резервуаре должно быть таким, чтобы при этой температуре уровень ртути в капилляре достиг верхней части шкалы.

Для установления нулевой точки термометр помещают в измельчённый лед и следят за уровнем ртути в капилляре. Если уровень ртути окажется в нижней части шкалы или даже ниже делений шкалы, то следует добавить ртуть из верхнего резервуара. Для этого необходимо наклонить термометр так, чтобы резервуар был расположен немного ниже резервуара. После этого

следует нагреть резервуар рукой. Когда ртуть заполнит весь капилляр, термометр полностью переворачивают резервуаром вниз и добиваются того, чтобы ртуть из резервуара слилась со ртутью в капилляре. После этого термометр осторожно возвращают в рабочее вертикальное положение и нижний резервуар погружают в лёд. Через несколько минут термометр вынимают из льда и, держа его одной рукой за верхнюю часть, коротким, но не сильным ударом верхней части термометра по большому пальцу другой руки, добиваются разрыва столбика ртути в месте соединения капилляра с резервуаром. Затем снова помещают термометр в лёд и наблюдают равновесное положение ртути в капилляре. Если ртуть на этот раз окажется выше делений шкалы, то термометр вынимают из льда, слегка нагревают резервуар рукой и образовавшуюся в месте соединения капилляра с резервуаром капельку ртути сбрасывают в запасной резервуар путём легкого встряхивания.

С настроенным термометром Бекмана следует обращаться предельно осторожно. Его нельзя оставлять на длительное время при комнатной температуре. В нерабочее время настроенный термометр должен быть вертикально закреплён в штативе таким образом, чтобы резервуар был помещён в исследуемую жидкость, находящуюся в пробирке при температуре опыта.

Вместо термометра Бекмана в данной работе может быть использован высокоточный электронный термометр с компьютерной регистрацией информации в реальном времени опыта.

Результаты измерений и окончательный результат определения молярной массы растворённого вещества следует записать в протокол:

## Протокол выполнения работы

Учащегося школы \_\_\_\_\_  
 ФИО \_\_\_\_\_

### Вариант № 1

#### 1. Результаты выполнения задания

Этап	Результат	Макс. балл	Балл
1. Построение графика в координатах «время – температура» для чистого растворителя и раствора.	График на миллиметровой бумаге как приложение к протоколу (в случае проведения экзамена в очном дистанционном формате – фотография или скан графика).	10	
2. Определение разницы температур начала кристаллизации растворителя и раствора.	$t_{\text{зам.р-ля}}, ^\circ\text{C}$	10	
	$t_{\text{зам.р-ра}}, ^\circ\text{C}$		
	$\Delta t_{\text{зам}}, ^\circ\text{C}$		
3. Определение молярной массы растворенного вещества.	$M_{\text{в-ва пр}}, \text{Г/МОЛЬ}$	10	
	Вещество		
	$M_{\text{в-ва теор}}, \text{Г/МОЛЬ}$		
4. Расчет относительной ошибки эксперимента.	$\delta, \%$	10	
5. Ответ на вопрос по элективному курсу «Технологии современного производства» из разделов: Принципы классификации полимеров. Характеристика представителей различных классов полимеров с точки зрения общности их практических свойств.	Напишите наименование десяти полимеров различной природы и соответствующие им мономеры.	10	



<p>6. Ответьте на вопрос по элективному курсу «Технологии современного производства» из разделов: Молекулярно-массовые характеристики полимеров. Молекулярно-массовое распределение (ММР). Экспериментальные методы оценки молекулярных масс и ММР.</p>	<p>Перечислите экспериментальные методы оценки молекулярных масс и молекулярно-массового распределения полимеров.</p>		<p>10</p>	
---	---	--	-----------	--

## Критерии оценивания.

Этап	Критерии оценивания	Макс. балл
1. Построение графика в координатах «время – температура» для чистого растворителя и для раствора.	Графики построены правильно.	10
	Графики построены правильно, имеются ошибки в обозначении осей координат.	7
	Графики построены правильно, имеются ошибки в обозначении осей координат и неправильно выбран масштаб.	5
	Графики построены неправильно.	0
2. Определение разницы температур начала кристаллизации растворителя и раствора.	Правильно определены температуры начала кристаллизации растворителя и раствора, разница температур начала кристаллизации растворителя и раствора.	10
	Правильно определены или температуры начала кристаллизации растворителя, или температуры начала кристаллизации раствора.	5
	Все значения температур определены неправильно.	0
3. Определение молярной массы растворенного вещества.	Молярная масса растворенного вещества рассчитана правильно, с требуемой точностью расчета и верно установлено вещество.	10
	Молярная масса растворенного вещества определена правильно; исходя из экспериментальных данных, вещество установлено неверно.	5
	Молярная масса растворенного вещества рассчитана неправильно.	0
4. Расчет относительной ошибки эксперимента.	Ошибка менее 5%	10
	5-10%	8
	10-15%	6
	15-20%	4
	20-25%	3
	25-30%	2
	Более 30%	0

<p>5. Ответ на вопрос по элективному курсу «Технологии современного производства» из разделов: Принципы классификации полимеров. Характеристика представителей различных классов полимеров с точки зрения общности их практических свойств.</p>	<p>За каждую верно приведенную пару полимер-мономер по 1 баллу.</p>	<p>10</p>
<p>6. Ответы на вопрос по элективному курсу «Технологии современного производства» из разделов: Молекулярно-массовые характеристики полимеров. Молекулярно-массовое распределение (ММР). Экспериментальные методы оценки молекулярных масс и ММР.</p>	<p>Ответ полный, не содержит ошибок и неточностей.</p> <p>Ответ полный, не содержит ошибок, содержит неточности.</p> <p>Ответ полный, содержит ошибки.</p> <p>Ответ неполный.</p>	<p>10</p> <p>7-9</p> <p>4-6</p> <p>0-3</p>

## Список используемой и рекомендуемой литературы

1. Вишняков А.В., Кизим Н.Ф. Физическая химия для бакалавров. Тула: Аквариус, 2014. 660 с.
2. Краткий справочник физико-химических величин / Ред. А.А. Равдель, Ред. А.М. Пономарева. - 9-е изд. - СПб.: Специальная литература, 1999. - 232 с.
3. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. М.: Высшая школа, 2009. 479 с.