

Об организации НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ*

Для организации научно-исследовательской работы учащихся во многих образовательных учреждениях (лицеи, гимназии, а также средние школы) создают научные, исследовательские или научно-исследовательские общества. Они объединяют учащихся старших классов, проявляющих интерес к творческой деятельности, совершенствованию знаний в определенной области науки, развитию интеллекта.

В нашей школе научно-исследовательское общество существует уже несколько лет. Оно состоит из двух секций: естественно-научной (биология, география, химия, физика, информатика, валеология, астрономия, алгебра, геометрия и т. п.) и гуманитарной (русский язык, литература, история, краеведение, иностранный язык и т. п.).

Формы работы с учащимися разные: индивидуальная (подготовка докладов, сообщений, помощь в разработке тем научных исследований и подборе списка литературы, оказание консультационной помощи и т. п.); групповая (работа над исследовательскими проектами, требующими, как правило, расширения информационного поля на межпредметной основе); массовая (организация встреч с деятелями науки, совместная с учителями подготовка предметных недель, школьных олимпиад, участие в научно-практических конференциях и т. п.).

Результаты своих научно-исследовательских работ учащиеся представляют на

школьных, районных и городских конференциях. Тезисы лучших докладов мы публикуем в ежегодном школьном журнале.

Необходимо отметить, что подобные достижения учащихся напрямую связаны с систематическим использованием на уроках тематических практикумов исследовательского характера. Они помогают приобрести опыт ведения лабораторного журнала, оформления отчетов о проделанной работе, выступления перед аудиторией с обобщением полученных результатов.

В качестве примера приведу содержание одной из научно-исследовательских работ по химии, которая была признана лучшей на IV городской научно-практической конференции старшеклассников «Шаг в будущее». Ее выполнила группа девятиклассников (*М. Львова, А. Коршунов, П. Логинов, Р. Кудряшов*), и работали они над ней почти два года.

КИНЕТИКА КАТАЛИТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В ПРИСУТСТВИИ ДИХРОМАТА КАЛИЯ

Пероксид водорода широко используют в промышленности, быту и медицине. Его считают токсичным продуктом восстановления кислорода в митохондриях клеток, так как он взаимодействует с липидным слоем мембран, повреждая их. Реакция разложения пероксида водорода — катализическая, и на ее примере можно изучить кинетику разложения пероксида водорода. В качестве катализатора выбираем дихромат калия, который име-

* Окончание. Начало см.: Химия в школе. — 2001. — № 9. — С. 53–58; № 10. — С. 58–64; 2002. — № 1. — С. 64–68; № 3. — С. 67–73.

ется в лаборатории в достаточно большом количестве.

В ходе работы необходимо решить следующие задачи:

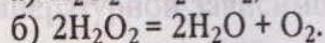
1) на основе термодинамических расчетов показать возможность протекания реакции разложения пероксида водорода при любых температурах;

2) определить порядок реакции разложения пероксида водорода, т. е. установить механизм этой реакции;

3) выяснить влияние концентрации раствора дихромата калия на скорость разложения пероксида водорода;

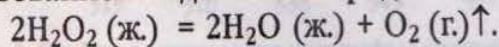
4) изучить зависимость скорости разложения водорода пероксида в присутствии катализатора постоянной концентрации от температуры и вывести уравнение Аррениуса для данной реакции в определенном интервале температур.

Установление схемы разложения пероксида водорода исходя из термодинамических расчетов. Возможны два варианта:



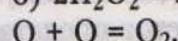
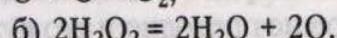
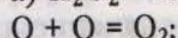
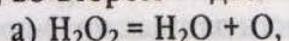
По справочным данным рассчитываем такие термодинамические параметры реакций, как энタルпия, энтропия и энергия Гиббса. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Теоретический расчет стандартных значений изменения энталпии, энтропии и энергии Гиббса показал, что интересующим нас условиям соответствует схема, при которой разложение пероксида водорода идет с образованием воды и кислорода:



Определение порядка реакции. Исходя из того, что пероксид водорода разлагается на воду и кислород, можно предположить два механизма его разложения. В первом случае

участвует одна молекула пероксида водорода, во втором — две:



И в том, и в другом случае выделяющийся в ходе реакции атомарный кислород превращается в молекулярный. Тогда уравнения для скорости прямой реакции можно выразить формулами (1) и (2) соответственно:

$$v_1 = k_1 \cdot c(\text{H}_2\text{O}_2), \quad (1)$$

$$v_2 = k_2 \cdot c^2(\text{H}_2\text{O}_2). \quad (2)$$

Для определения порядка реакции собираем следующую установку:

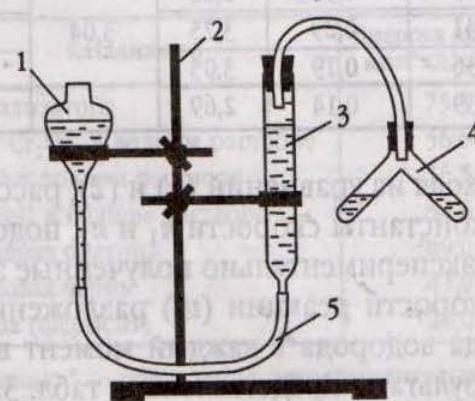


Рис. 1. Схема установки для определения порядка реакции разложения пероксида водорода: 1 — уравнительный сосуд; 2 — штатив; 3 — buretka; 4 — сосуд Ландольта; 5 — соединительная трубка

Для эксперимента используем 6 %-ный раствор пероксида водорода и насыщенный раствор дихромата калия при комнатной температуре. По полученным значениям объема выделившегося кислорода рассчитываем концентрацию оставшегося пероксида водорода. Далее по полученным значениям рассчитываем среднее значение константы по формуле:

$$k = (2,303/\tau) \cdot \lg[V(\text{O}_2)/(V(\text{O}_2) - V_\tau(\text{O}_2))],$$

где $V(\text{O}_2)$ — объем кислорода, соответствующий полному разложению пероксида водорода.

Таблица 1

Возможные схемы реакций	Термодинамические параметры, кДж/моль			Вывод
	ΔH°	ΔS°	ΔG°	
$\text{H}_2\text{O}_2 = \text{H}_2 + \text{O}_2$	187,8	226,5	120,4	Реакция возможна только при высоких температурах.
$2\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	-196,0	126,2	-233,7	Реакция возможна при любых температурах

рода, мл; $V_t(O_2)$ – объем кислорода, выделившийся к моменту времени t , мл; t – время, с.

Проверка пригодности данных по Q-критерию показала, что первое значение для дальнейших расчетов не пригодно и его нужно отбросить. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экспериментального определения среднего значения константы скорости реакции разложения пероксида водорода

t , с	$V_{cp}(O_2)$, мл	$c_{ост}(H_2O_2)$, моль/л	$k \cdot 10^{-2}$, с ⁻¹	$k_{cp} \cdot 10^{-2}$, с ⁻¹	$v_x \cdot 10^{-3}$, моль/л · с
5	2	0,84	88,9	3,04	–
20	19	0,52	2,66		26,0
30	31	0,29	3,75		9,6
50	36	0,19	3,05		3,8
70	39	0,14	2,69		2,0

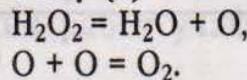
Исходя из уравнений (1) и (2), рассчитываем константы скорости k_1 и k_2 , подставив в них экспериментально полученные значения скорости реакции (v_x) разложения пероксида водорода в каждый момент времени. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Расчеты средних значений k_1 и k_2

$k_1 \cdot 10^{-2}$, с ⁻¹	$k_{1cp} \cdot 10^{-2}$, с ⁻¹	$k_2 \cdot 10^{-2}$, с ⁻¹	$k_{2cp} \cdot 10^{-2}$, с ⁻¹
5,0	2,93	9,6	10,3
3,3		12,0	
2,0		9,5	
1,4		10,0	

Далее сравниваем значения рассчитанных констант со значением экспериментально определенной константы скорости. Из данных табл. 2 и 3 видно, что значение константы k_1 практически совпадает с экспериментально полученным значением, в отличие от константы k_2 . Значит, данная реакция первого порядка и протекает по механизму (1):



Выявление зависимости скорости разложения пероксида водорода от концентрации катализатора при постоянной температуре

(комнатной). Готовим серию растворов дихромата калия точной концентрации (из фиксанала). Далее аналогично предыдущей части работы определяем средние значения констант скорости реакции с использованием различных концентраций катализатора (табл. 4).

Таблица 4

№ опыта	$c(K_2Cr_2O_7)$, н.	$k_{cp} \cdot 10^{-3}$, с ⁻¹
1	0,5	12
2	0,25	6
3	0,125	3,5
4	0,0625	2,1
5	0,03125	1,2

Зависимость константы скорости реакции от концентрации катализатора линейная (рис. 2).

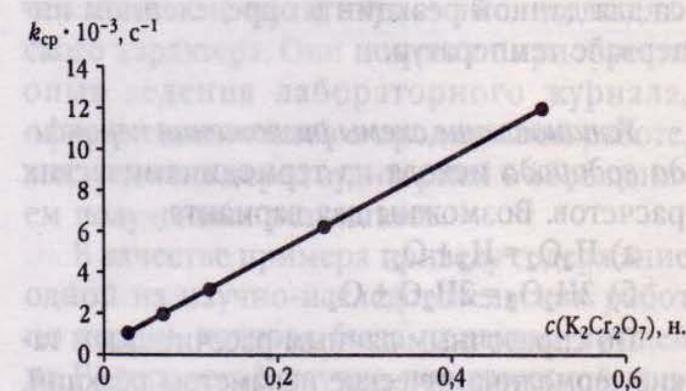


Рис. 2. График зависимости константы скорости разложения пероксида водорода от концентрации дихромата калия (катализатора)

После математической обработки экспериментальных данных выводим уравнение прямой:

$$k_{cp} = 0,5 \cdot 10^{-3} + 23 \cdot 10^{-3}c(Kt).$$

Изучение зависимости скорости катализического разложения пероксида водорода от температуры. Методика проведения этой экспериментальной части работы аналогична предыдущей. Проводим опыты при 0, 17, 25, 35 и 40 °C с использованием раствора катализатора постоянной концентрации ($w(K_2Cr_2O_7) = 9\%$).

Результаты экспериментального определения средних значений константы скорости изучаемого процесса при различных температурах представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Экспериментальные данные о скорости реакции катализитического разложения пероксида водорода при разных температурах

$t, ^\circ\text{C}$	$k_{\text{ср}} \cdot 10^{-2}, \text{с}^{-1}$
0	0,11
17	0,62
26	1,14
35	2,82
40	3,58

Таблица 6

Данные о реакции разложения пероксида водорода, необходимые для построения графика Аррениуса

T^{-1}, K^{-1}	$T^{-1} \cdot 10^5, \text{K}^{-1}$	$\lg k_{\text{ср}}, \text{с}^{-1}$
0,00366	366	-2,96
0,00345	345	-2,21
0,00336	336	-1,94
0,00325	325	-1,55
0,00319	319	-1,45

По полученным значениям строим график Аррениуса (рис. 3) и выводим уравнение температурной зависимости:

$$\lg \bar{k} = 7,87 - \frac{2923}{T}.$$

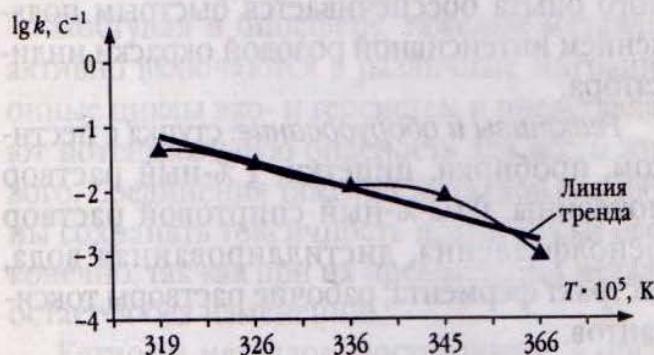


Рис. 3. График зависимости логарифма среднего значения константы скорости реакции разложения пероксида водорода от температуры (график Аррениуса)

Неустойчивые комплексные соединения хрома (пероксохромы), быстро разрушающиеся при комнатной температуре, являются интермедиатами в процессе катализитического разложения пероксида водорода в кислотной среде под влиянием катализатора дихромата калия. Состав пероксохроматов отличается при разных температурах, что делает зависимость между $\lg k_{\text{ср}}$ и $1/T$ нели-

нейной. Поэтому для определения по графику энергии активации реакции добавляем линию тренда, которая и будет прямой, отображающей изучаемую зависимость.

По тангенсу угла наклона (a) прямой рассчитываем энергию активации реакции (E_a) при использовании дихромата калия. Она составляет $E_a = 56,6 \text{ кДж/моль}$. Полученное значение энергии активации сопоставляем с энергиями активации наиболее часто используемых при разложении пероксида водорода катализаторов (табл. 7).

Таблица 7

Энергия активации каталитического и некатализитического разложения пероксида водорода

Катализатор	Энергия активации, кДж/моль
Без катализатора	75,5
* Ионы $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ в водном растворе	56,6
Ионы I^- в водном растворе	56,5
Ионы Fe^{3+} в водном растворе	54,6
Коллоидная платина	49,0
Платиновая чернь	47,0
Катализ (фермент)	20,0

Примечание: * — обозначено экспериментально полученное значение, остальные данные взяты из литературных источников.

Если сравнивать энергии активации реакций с использованием дихромата калия и катализы, то видно, что они отличаются примерно в три раза. Для сравнения скоростей реакций разложения пероксида водорода в присутствии указанных катализаторов необходимо сделать расчеты по уравнению Аррениуса:

$$k = A \cdot e^{-E_a/RT}.$$

Приведенные в табл. 7 данные соответствуют температуре 20 °С, тогда:

$$\frac{k(\text{катализ})}{k(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)} = \frac{e^{-\frac{-20\,000}{RT}}}{e^{-\frac{-56\,600}{RT}}} = e^{\frac{36\,600}{RT}} = e^{\frac{36\,600}{8,314 \cdot 293}} = 3\,350\,493.$$

Разложение пероксида водорода в присутствии катализы происходит более чем в 3 млн раз быстрее, чем в присутствии дихромата калия. ■