

# ХИМИЯ И ЖИЗНЬ

№ 8



ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ  
НАУЧНО-  
ПОПУЛЯРНЫЙ  
ЖУРНАЛ  
АКАДЕМИИ  
НАУК СССР

АВГУСТ 1970  
ГОД ИЗДАНИЯ 6-И

- С. Старикович 2 Заметки с конференции  
**Химия-70**
- Э. И. Мамонтов 7 Резиновые уплотнения, которые переживут автомобиль. В огне не сгорит, в воде не намокает
- А. А. Клесов 9 Возвращение к равновесию
- 15 Информация
- В. И. Вернадский 17 Автотрофность человечества
- М. Гуревич 23 Телескоп у Семи Родников
- С. И. Кирсанов 26 На былинных холмах, На рождение звезды
- Формулы жизни**
- П. П. Иванов 33 «Элемент биогенитум»
- 36 Из старых журналов
- 37 Из новых журналов
- 38 Лауреаты Нобелевской премии по физике
- Болезни и лекарства**
- М. А. Алиев 45 В горы от инфаркта?
- Л. Чистый 48 Проявление на свету
- Классика науки**
- М. А. Карапетьянц 49 Быть или не быть?
- Наука ленинской эпохи**
- 53 Твердый газ
- Диалог**
- 56 Беседа с профессором Золтаном Чюрешем
- Гипотезы**
- Д. Л. Длигач 61 Акселерация — это хорошо или плохо?
- Л. Гриффин 65 Новое о жизни в каменном и железном веках
- О. Н. Бадер 68 О роли эксперимента в археологии
- Библиотека**
- Б. Володин 70 Голос Кольцова
- 74 Новости отовсюду
- Живые лаборатории**
- М. Мазуренко 76 «От семи недугов»
- Агрохимические светлы**
- П. Я. Жадан 79 Сад без ядохимикатов
- 81 Клуб Юный химик
- 87 Консультации
- Полезные советы и пояснения к ним**
- А. Л. Козловский 88 Как зеркало...
- В. Бурдин 93 Почему непросто чистить искусственную замшу?
- Разные разности**
- В. Балек 94 Тринадцатый источник
- В. Чернов 96 Размышляя над списком...

Редакционная  
коллегия.  
И. В. Петрянов-Соколов  
(главный редактор),  
П. Ф. Баденков,  
Н. М. Жаворонков,  
С. В. Кафтанов,  
Н. К. Кочетков,  
Л. И. Мазур,  
Б. Д. Мельник,  
В. И. Рабинович  
(ответственный секретарь),  
П. А. Ребиндер,  
М. И. Рохлин  
(зам. главного редактора),  
С. С. Скороходов,  
Б. И. Степанов,  
А. С. Хохлов,  
М. Б. Черненко  
(зам. главного редактора),  
Н. М. Эмануэль

Редакция:  
Б. Г. Володин,  
М. А. Гуревич,  
В. Е. Жвирблис,  
А. Д. Иорданский,  
О. И. Коломийцева,  
О. М. Либкин,  
Э. И. Михлин,  
Д. Н. Осокина,  
В. В. Станцо,  
С. Ф. Старикович,  
Т. А. Сулаева,  
В. К. Черникова  
Художественный редактор  
С. С. Верховский  
Технический редактор  
Э. С. Язловская

Корректоры:  
Г. Н. Нелидова,  
Е. И. Сорокина  
При перепечатке ссылка на журнал «Химия и жизнь» обязательна  
Адрес редакции:  
Москва В-333,  
Ленинский проспект, 61  
Телефоны:  
135-52-29,  
135-63-91,  
135-04-19

Подписано к печати  
14/VII 1970 г.  
Т09498  
Печ. л. 6 + 1 вкл.  
Усл. печ. л. 10,08  
Уч.-изд. л. 11,5  
Тираж 125 000 Зак. 263  
Цена 30 коп.  
Московская типография  
№ 13 Главполиграфпрома  
Комитета по печати  
при Совете Министров  
СССР  
Москва, ул. Баумана,  
Денисовский пер., д. 36.

А. А. КЛЕСОВ

## ВОЗВРАЩЕНИЕ К РАВНОВЕСИЮ

ЧТО ТАКОЕ ХИМИЧЕСКАЯ РЕЛАКСАЦИЯ

**Быстро нарушая равновесие реакции и наблюдая за ее переходом в другое равновесное состояние, можно получить важную информацию о тонких деталях механизма реакции, недоступную для других методов химической кинетики.**

Термина «химическая релаксация» пока нет ни в одной энциклопедии...

Два вещества — А и В — вступают в реакцию, образуя третье вещество С. Зная это, мы практически ничего не можем сказать о механизме реакции. Не диссоциирует ли вещество А на два других, прежде чем одно из них прореагирует с В? Не образуют ли А и В сначала комплекс, который затем превращается в конечный продукт? Нужен ли для этой реакции катализатор, и если да, то каков механизм его действия? С какой скоростью идет реакция?

Найти ответ на эти вопросы нелегко уже потому, что большинство химических превращений происходит практически мгновенно. Пятнадцать лет назад исследователям были доступны реакции, имеющие время полупревращения до одной миллисекунды (тысячной

---

Время полупревращения — время, в течение которого прореагирует пополам всех молекул исходного вещества.

---

доли секунды). А сейчас уже можно непосредственно измерить время полупревращения, равное нескольким наносекундам (миллиардным долям секунды), — за полтора десятка лет чувствительность измерения скорости возросла в миллион раз. Это было достигнуто в результате применения принципиально нового метода, который получил мало понятное название «релаксация».

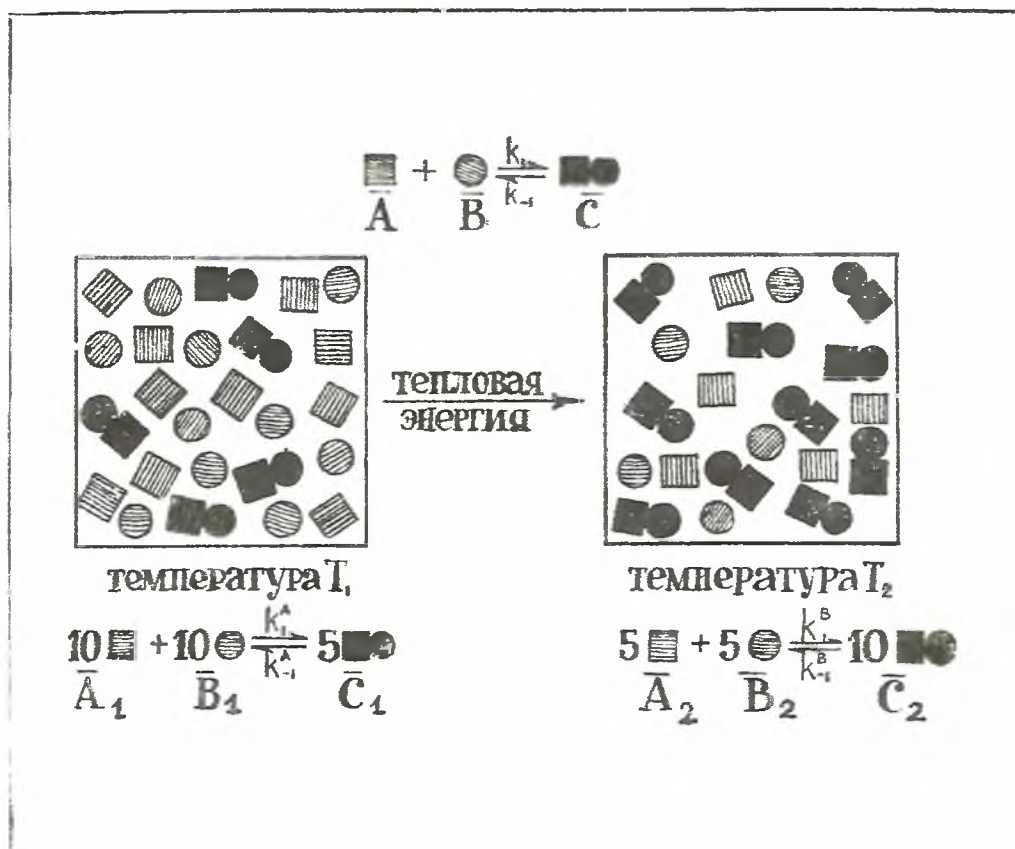
### ОТ БЮРЕТКИ К ОСЦИЛЛОГРАФУ

Когда-то реакции изучали так: ученый смешивал растворы известных ему веществ в изве-

стных концентрациях и наблюдал, как с течением времени исчезают реагенты или появляются продукты реакции. В те далекие времена узнать что-либо о кинетике реакций можно было только методами обычного количественного анализа. Нужное для этого время зависело лишь от ловкости рук экспериментатора и никак не могло быть меньше нескольких секунд. Собственно задача нахождения начальной скорости реакции тогда и не ставилась. Вот как, например, описывает известный русский химик Н. А. Меншуткин (в «Журнале Русского Физико-Химического общества» за 1877 год) первые опыты по изучению скоростей реакций, которые проводились в середине прошлого века пионерами химической кинетики Бертелло и Пеан де Сен-Жиллем: «Эти ученые... нагревали смеси спиртов и кислот в запаянных трубках, помещенных в железных стволах в масляной бане... По мере надобности трубки вскрывались, бралась навеска для анализа и трубки вновь запаивались...»

Но уже немногим позже Якоб Вант-Гофф в своих замечательных «Очерках по химической динамике» писал: «Первый период химического превращения представляет собой особый интерес для динамических исследований».

Однако на практике измерять скорости химических процессов в начальный момент времени стало возможным лишь в двадцатых годах нашего столетия, когда появился новый способ исследования — изучение реакций в струе реагирующих веществ. Два раствора с реагентами одновременно вводили в камеру для смешивания. Оттуда смесь нагнеталась в длинную трубку. К трубке был пристроен спектрофотометр, который регистрировал изменение окраски раствора, зависящей от концентрации реагирующих веществ или продук-



Изменение температуры обычно влияет на концентрации реагентов и продуктов, которые находятся в равновесии друг с другом. На рисунке схематически показано, как реагенты А и В соединяются с образованием С при некоторой скорости реакции с константой скорости  $k_1$ . Диссоциация С на А и В определяется константой скорости обратной реакции  $k_{-1}$ . Черточки над символами А, В и С обозначают равновесные концентрации этих веществ. При температуре  $T_1$  десять молекул А и десять молекул В находятся в равновесии с пятью молекулами С. При температуре  $T_2$  реакция смещается вправо так, что пять молекул А и пять молекул В находятся теперь в равновесии с десятью молекулами С.

тов реакции. Время от начала реакции до момента наблюдения зависело от пути и скорости струи.

Стало возможным измерить скорости реакций, длящихся несколько миллисекунд. Но этот метод, получивший название «непрерывной струи», требовал большого расхода реагентов и поэтому не пользовался большим успехом у исследователей, особенно работающих с редкими или ценными веществами.

С течением времени метод изучения реакций в струе совершенствовался, приборы становились все изящнее и надежнее. Но минимальное время, необходимое для смешивания двух растворов, почти не уменьшилось: миллисекунда, доли миллисекунды. И стало ясно, что невозможность измерить большие скорости как бы заложена в самой сущности струевых методов.

Для выхода из тупика нужен был какой-то другой, в принципе иной подход.

Он был найден только в 1954 году, когда западногерманский исследователь Манфред Эйген предложил необычную и даже несколько парадоксальную идею: для того чтобы узнать, как достигается равновесие реакции, нужно сначала его достичь.

В 1967 г. М. Эйгену (совместно с Р. Г. Норришем и Г. Портером) была присуждена Нобелевская премия по химии за изучение очень быстрых химических реакций в растворах. Профессор М. Эйген родился в 1927 г., окончил Кембриджский универ-

ситет и с 1953 г. работает в Институте им. Максв Планка в Геттингене. Работы Эйгена касаются не только неорганических и простейших органических соединений, но и таких веществ, как гемоглобин, ДНК и полифосфаты.

#### ЧТО ТАКОЕ РЕЛАКСАЦИЯ?

Давайте обратимся к примеру. Вот идет реакция между веществами А и В, образуется новое вещество С — это бимолекулярная реакция. В каждый момент времени сколько-то молекул А и В соединяются, образуя молекулу С, и в то же время несколько молекул С распадаются на А и В. Когда скорости прямой и обратной реакций становятся равными, наступает химическое равновесие; внешне дело выглядит так, будто реакция прекращается.

В химической кинетике реакции называются мономолекулярными, бимолекулярными или тримолекулярными в зависимости от того, сколько частиц участвует в элементарном акте реакции. Например, реак-

ция типа  $A \rightarrow$  продукты является мономолекулярной,  $A + B \rightarrow$  продукты — бимолекулярной,  $A + B + C \rightarrow$  продукты — тримолекулярной.

Скорость реакции обычно пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ. Например, для мономолекулярной реакции скорость  $= k \cdot A$ , для бимолекулярной скорость  $= k \cdot A \cdot B$  и т. д.

Коэффициент пропорциональности  $k$  называется константой скорости реакции. Численно он равен скорости реакции при концентрациях реагирующих веществ, равных единице.

Обратим внимание на два очень важных для нашего исследования свойства этого состояния.

Во-первых: равновесие зависит от внешних условий — например, от температуры и давления, причем для каждого сочетания  $T$  и  $P$  есть свои константы скоростей прямой и обратной реакций и, значит, своя константа равновесия.

Во-вторых: если равновесие нарушится (скажем, от изменения температуры или давления), то новое равновесие не может установиться мгновенно, «бесконечно быстро». Для этого потребуется какое-то время.

Предположим, что при повышении температуры наша реакция смещается вправо. Это вполне законное предположение, так как при более высокой температуре молекулы  $A$  и  $B$  двигаются быстрее и поэтому чаще сталкиваются, увеличивая вероятность образования  $C$ . Для диссоциации же молекулы  $C$  столкновения вообще-то не нужны, и поэтому можно

полагать, что влияние температуры на константы скоростей прямой и обратной реакций различно. Если константа скорости прямой реакции увеличивается с температурой быстрее, чем константа скорости обратной реакции, то относительное количество  $C$  в равновесной смеси при повышении температуры увеличится...

Мы подошли к самому главному, внимание!

Если повышать температуру очень медленно, то наша система будет все время оставаться в равновесии: концентрации веществ  $A$ ,  $B$  и  $C$  будут медленно, постепенно изменяться, но скорости прямой и обратной реакции будут в каждый момент времени равны. Если же температуру повысить резко, скачком, то равновесие установится лишь через некоторое время, не сразу. Фактические концентрации веществ будут отличаться, «отставать» от расчетных равновесных концентраций.

*Константы равновесий рассчитаны для реакций, приведенных на предыдущем рисунке. При каждой температуре, когда равновесие уже достигнуто, скорость прямой реакции равна скорости обратной реакции. Скорость, с которой реагируют молекулы  $A$  и  $B$ , зависит от частоты, с которой они сталкиваются, а частота столкновений, в свою очередь, зависит от температуры*

скорость прямой реакции = скорость обратной реакции

Температура  $T_1$  :

$$k_1^A (\bar{A}_1 \cdot \bar{B}_1) = k_{-1}^A (\bar{C}_1) \\ 1(10 \cdot 10) = 20(5)$$

скорость прямой реакции = скорость обратной реакции

Температура  $T_2$  :

$$k_2^B (\bar{A}_2 \cdot \bar{B}_2) = k_{-1}^B (\bar{C}_2) \\ 3(5 \cdot 5) = 20(10)$$

Температура  $T_1$  : константа равновесия  $K_1 = \frac{k_1^A}{k_{-1}^A} = \frac{1}{20} = 0,05$

Температура  $T_2$  : константа равновесия  $K_2 = \frac{k_2^B}{k_{-1}^B} = \frac{8}{20} = 0,4$

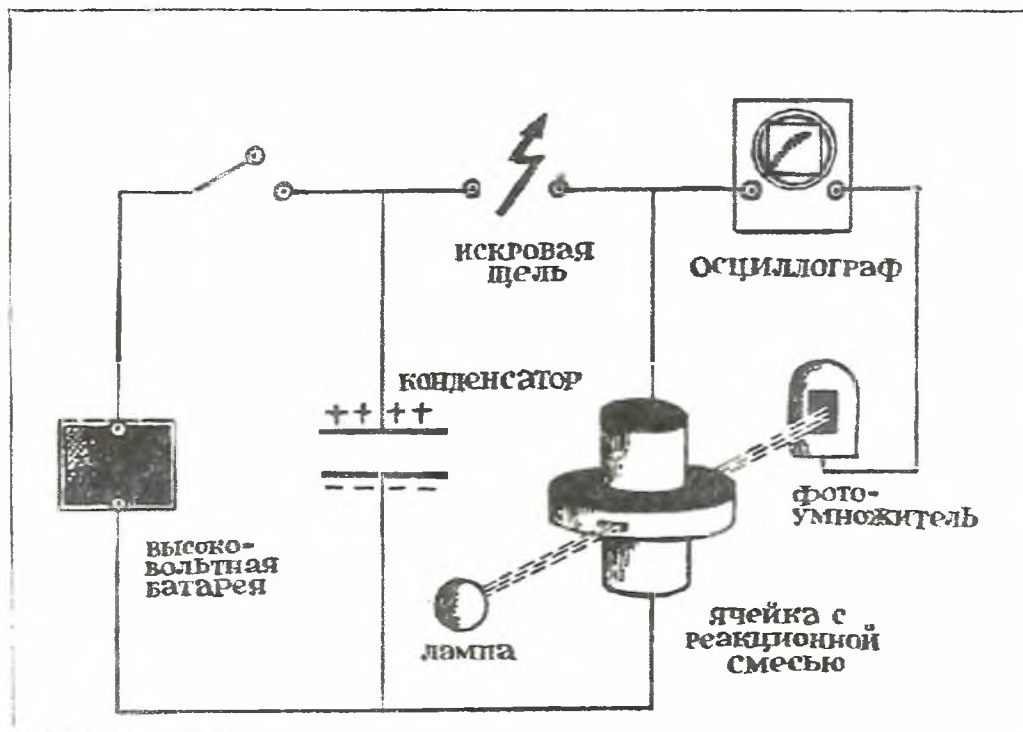


Схема прибора для измерения времени релаксации методом «температурного скачка». Температурный скачок на 6—8 градусов достигается в таком приборе за пять микросекунд

Немного уклоняясь в сторону, заметим, что все мы, начиная в буквальном смысле с пеленок, имели дело с релаксацией. Это происходило, например, тогда, когда нас кормили манной кашей. По-видимому, наблюдательные дети обращали внимание на такой факт: если провести ложкой по поверхности манной каши, то образующаяся борозда довольно быстро заплывает, или, выражаясь научно, релаксирует. (Правда, природа этого процесса другая, и такая релаксация называется механической, но суть явления та же: упомянутый пищевой продукт стремится вернуться к положению равновесия.) Продолжая аналогию дальше, заметим, что и здесь релаксация также очень сильно зависит от температуры. В этом можно непосредственно убедиться, проведя описанный выше эксперимент дважды — с горячей и холодной кашей. А для окончательно остывшего продукта время релаксации, как в том может убедиться настойчивый экспериментатор, может исчисляться часами.

Но вернемся опять к нашей химической реакции. Только что мы упомянули выражение «время релаксации». Это сугубо научный термин. Под временем релаксации в химической кинетике понимают такой интервал времени, за который отклонение неравновесной концентрации реагента от его равновес-

Если в реакционном сосуде одновременно проходят две реакции — одна «слева направо», а другая «справа налево», — то такие реакции называются «обратимыми»:



скорость =  $k_1 \cdot A \cdot B$   
(«прямая» реакция),



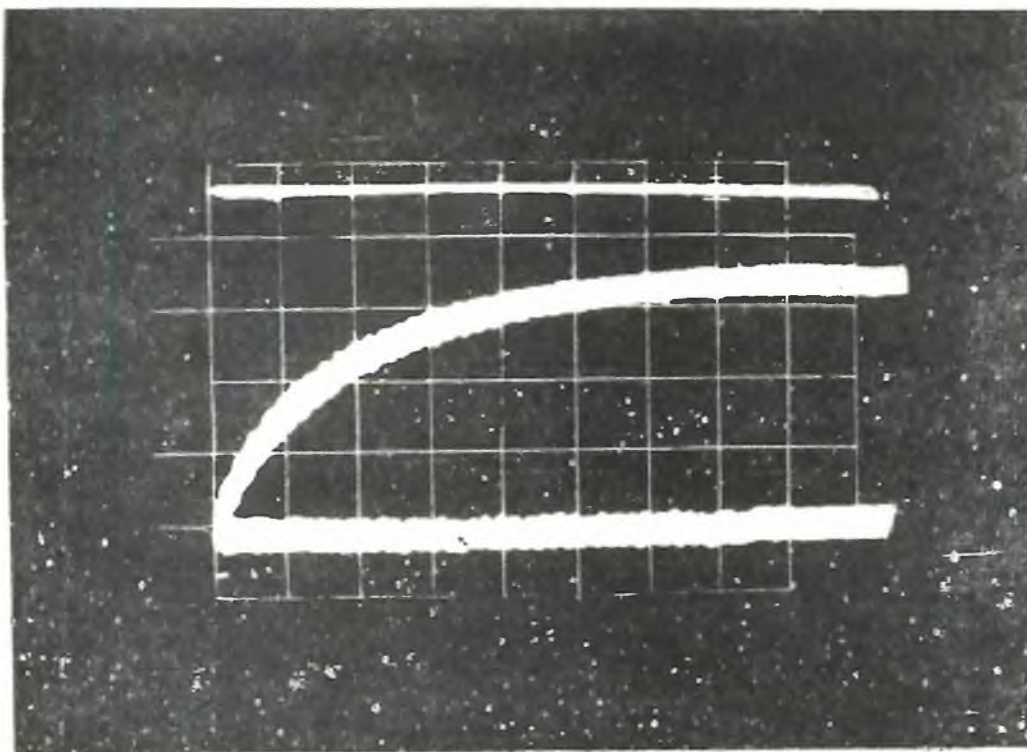
скорость =  $k_{-1} \cdot C \cdot D$   
(«обратная» реакция).

Константой равновесия таких реакций называется отношение констант скоростей «прямой» и «обратной» реакций

$$K = \frac{k_1}{k_{-1}}$$

ной концентрации уменьшается примерно в три раза (точнее, в 2,718281828459045 раз; это число  $e$  — основание натуральных логарифмов). Измеряя величины времени релаксации при разных концентрациях реагентов, исследователь может определить путь, по которому идет реакция, вычислить константы скоростей этой реакции.

Итак, суть метода химической релаксации заключается в следующем: с помощью резкого изменения внешних условий (температуры, давления) реакция моментально выводится из равновесия и столь же быстро к нему возвращается. Но этого маленького промежутка времени вполне достаточно, что-



*Эта фотография — пример релаксационной кривой. Путь светового зайчика на экране осциллографа получен при изучении фермента химотрипсина. Одна клетка на фотографии соответствует одной миллисекунде (тысячной доле секунды). Видно, что эта реакция достигает равновесия меньше чем за одну сотую долю секунды*

бы с помощью современных приборов проследить за изменением концентраций реагирующих веществ при достижении равновесия и вычислить время релаксации.

(Как видно, эта идея является достаточно простой, и технически ее можно было реализовать лет тридцать тому назад, если бы она в то время пришла кому-нибудь в голову. Но... нам остается утешать себя тем, что эта идея с таким же успехом могла прийти кому-нибудь в голову и лет на тридцать позже.)

Один из простейших вариантов прибора, предназначенного для измерения времени релаксации методом «температурного скачка», показан на стр. 12. Конденсатор, заряженный до высокого напряжения, разряжается через специальную кювету с реакционной смесью, и электрический разряд повышает температуру на 6—8°С почти за пять микросекунд (пять миллионных долей секунды). Изменение цвета или прозрачности раствора регистрируется спектрофотометром, и сигнал записывается осциллографом; такой сигнал показан на фото вверху.

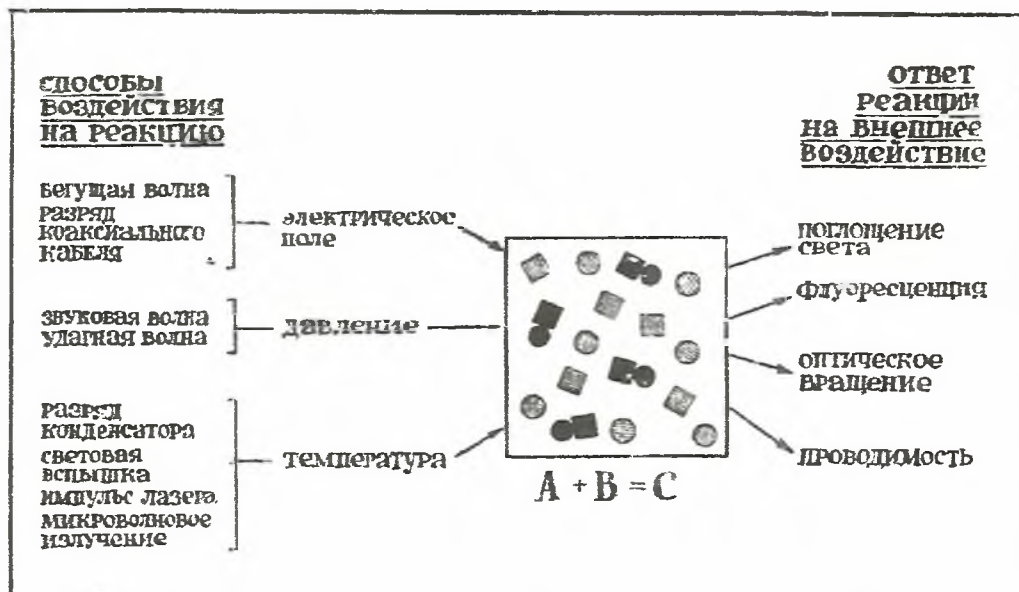
В современных приборах скачок температуры можно получить и другими способами, кроме пропускания электрической искры: например, пучком микроволн или короткими

вспышками света от импульсной лампы или лазера.

#### ДЛЯ ЧЕГО РЕЛАКСАЦИЯ НУЖНА ХИМИКАМ

Прежде всего — для изучения механизмов химических превращений, для изучения элементарных актов реакций. Такие процессы — перенос электронов, перенос протонов (ионов водорода), ассоциация и диссоциация молекул — протекают часто слишком быстро, чтобы их изучать обычными методами.

Одним из первых элементарных процессов, который М. Эйген исследовал методом релаксации, была реакция образования воды. Исследовать эту реакцию было тем более интересно, что к тому времени среди ученых существовало несколько различных точек зрения на ее механизм. Наряду с классическим представлением о том, что молекулы воды образуются в результате встречи положительно заряженного протона с отрицательно заряженным гидроксидом по реакции  $H^+ + OH^- = H_2O$ , существовало мнение, что ион гидроксила сталкивается не с протоном, а с ионом гидроксония  $H_3O^+$  по реакции  $H_3O^+ + OH^- = 2H_2O$ . Так как размеры иона гидроксония гораздо больше размеров «голово» протона, то столкновения гидроксила с



*Нарушить равновесие обратимых химических реакций можно разнообразными способами: поскольку химическое равновесие зависит от температуры, давления и электрического поля, то скорости быстрых реакций в растворах также зависят от изменения любого из этих факторов*

гидроксонием происходили бы чаще, чем с протоном, и скорость второй реакции должна была бы быть значительно выше скорости первой. Далее, определив размеры всех этих трех частиц, теоретики рассчитали значения констант скоростей, с которыми должны происходить обе реакции.

Дело было только за прямым экспериментом, который подтвердил бы, какая из двух реакций происходит на самом деле...

Этот-то эксперимент и был блестяще проделан М. Эйгеном и его сотрудником Л. де Мейером. Методом химической релаксации они нашли, что константа скорости реакции образования воды равна  $1,4 \cdot 10^{11}$  л/моль·сек. Но, ко всеобщему удивлению, величина этой константы оказалась даже еще выше, чем предполагалось для второй реакции. Выход был один: предположить, что вода образуется при столкновении частиц еще больших размеров.

Так что в конце концов ученые сошлись на том, что молекулы воды получаются из ионов  $H_3O_4^+$  и  $H_7O_4^-$ , то есть из ассоциатов  $H_3O^+ \cdot 3H_2O$  и  $OH^- \cdot 3H_2O$ .

**Эволюция взглядов на механизм реакции образования воды:**



(Б. Н. Меншуткин.

Курс общей химии, 1929 г.)



(Н. Л. Глинка.

Общая химия, 1946 г.)



(Определено методами химической релаксации,

конец 50-х — начало 60-х годов)

### КАК РАБОТАЮТ ФЕРМЕНТЫ, ИЛИ ДЛЯ ЧЕГО РЕЛАКСАЦИЯ НУЖНА БИОХИМИКАМ

Уже более ста лет известно, что ферменты — особые вещества белковой природы — служат естественными катализаторами. Бесчисленные химические реакции в живых клетках протекали бы без этих катализаторов слишком медленно, иными словами — без ферментов жизнь вряд ли была бы возможна. Например, сейчас известны такие ферменты, одна молекула которых катализирует десятки тысяч взаимодействий в секунду. И можно смело сказать, что одна из важнейших проблем биохимии — это выяснение вопроса о том, как работают ферменты, в чем секрет их столь высокой каталитической активности.

Издавна биохимики полагали, что, узнав о том, как устроен фермент, они тем самым получат ответ и на вопрос, как он работает. «В соответствии с тем, чему я учился, секрет жизни казался мне заключенным в структуре белка», — так выразил эту мысль Макс Перутц, удостоенный в 1962 году Нобелевской премии за расшифровку строения гемоглобина.

Руководствуясь этой идеей, исследователи на протяжении последних лет проделали гигантскую работу по изучению строения ферментов. К настоящему времени множество ферментов, участвующих в обмене веществ, уже выделены и очищены. Структуры десятка с лишним ферментов полностью расшифрованы — выяснена их аминокислотная последовательность. За последние три

года с помощью рентгеноструктурного анализа ферменты рибонуклеаза, карбоксилептидаза, химотрипсин и лизоцим были изучены настолько хорошо, что удалось построить их пространственные модели. И наконец, в 1969 году удалось синтезировать химическим путем первый фермент — рибонуклеазу.

Но оказалось, что объяснить механизм действия ферментов гораздо сложнее, чем установить их строение. И сейчас исследователи склоняются к выводу, что ответ на вопрос, как работают ферменты, даст только изучение кинетики их реакций. Уже более полувека назад была высказана идея, что механизм действия ферментов заключается в образовании ими чрезвычайно реакционно-способных промежуточных соединений, которые очень быстро превращаются в продукты реакции. Обычными методами исследования обнаружить такие соединения невозможно, так как время их жизни должно быть ничтожно. Вот здесь исследователям и могут помочь релаксационные методы!

Работа в этом интереснейшем направлении только начинается. Достаточно сказать, что из тысячи с лишним ферментов, уже найденных в живых организмах к настоящему времени, проделаны первые релаксационные опыты лишь с двумя ферментами — химотрипсином, расщепляющим белки пищи, и рибонуклеазой, действующей на рибонуклеиновую кислоту. Оказалось, что каждый из этих ферментов образует даже несколько

промежуточных соединений. Это происходит за ничтожные доли секунды. Теперь на очереди задача: выяснить природу этих промежуточных соединений и определить скорости, с которыми они образуются и распадаются. Может быть, узнав это, мы приблизимся к ответу на вопрос: как работают ферменты?

В статье использованы материалы из журнала «Scientific American», 1969, май

рагиновая кислота<sub>8</sub> аспарагин<sub>13</sub> попуцистин<sub>10</sub> глутаминовая кислота<sub>3</sub> глутамин<sub>10</sub> глицин<sub>24</sub> гистидин<sub>2</sub> изолейцин<sub>10</sub> лейцин<sub>19</sub> лизин<sub>14</sub> метионин<sub>2</sub> пролин<sub>9</sub> серин<sub>25</sub> треонин<sub>22</sub> триптофан<sub>8</sub> тирозин<sub>4</sub> валин<sub>23</sub> фенилаланин<sub>6</sub>.

Но и в таком виде формула говорит нам немногим больше, чем обычная химическая формула. Глубже понять структуру белков помогает выяснение их аминокислотной последовательности, т. е. порядка, в котором соединяются аминокислоты.

## ИНФОРМАЦИЯ

### СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

Новые методы исследования свойств каталитических реакций в жидкой фазе. Сентябрь. Алма-Ата. (Казахский университет)  
3-я всесоюзная конференция по каталитическому гидрированию и окислению в растворах. Сентябрь. Алма-Ата. (Институт химических наук АН Казахской ССР)  
Совещание по синтезу неорганических соединений в плазме. Сентябрь. Рига. (Институт неорганической химии АН Латвийской ССР)  
Перспективы технического перевооружения сернокислотной промышлен-

ности. Сентябрь. Гомель. (Главное управление основной химической промышленности МХП СССР)  
Расширение производства и области применения новых видов тары для упаковки химической продукции. Сентябрь. Новомосковск, Тульской обл. (Всесоюзное объединение «Союзхимтар»)   
Совершенствование системы автоматического управления действующих производств химической промышленности. Сентябрь. Дзержинск. (Техническое управление МХП СССР)  
Повышение качества лаков и эмалей, изготавливаемых на основе кон-

денсационных смол, при использовании новых методов фильтрации и повышении качества сырья. Сентябрь. Львов. (Главное управление промышленности лаков и красок МХП СССР)  
Повышение качества стереорегулярных каучуков СИ и СКД. Гор. Ефремов Тульской обл. (Всесоюзный научно-исследовательский институт синтетического каучука)  
Расширение ассортимента обуви из полимерных материалов. Сентябрь. Ленинград. (Научно-исследовательский институт резиновых и латексных изделий)  
Совершенствование технологии сажевого производства. Сентябрь.

Омск. (Трест «Союзсажа»)  
Перспективы научных исследований в области совершенствования химических вакцин и диагностических препаратов. Сентябрь. Ленинград. (Ленинградский НИИ вакцин и сывороток МЗ СССР)

### МЕЖДУНАРОДНЫЕ ВСТРЕЧИ

13-я международная конференция по координационной химии. Сентябрь. Польша, Закопане и Краков.  
Симпозиум по гидрогеохимии и гидробиохимии. Сентябрь. Япония, Токио.