

## Сибирский календарь

29 МАЯ

1830 — В Саратове родился Владимир Степанович Межов, известный библиограф, составивший трехтомную «Сибирскую библиографию» — незаменимое пособие по сибиреведению (несмотря на многие пропуски и неточности); умер в тот же день в 1894.

1871 — В Ставрополе-Кавказском в семье отставного унтер-офицера родился Павел Кузьмич Белецкий, путешественник, журналист, этнограф, писатель; несколько лет прожил в Сибири и на Дальнем Востоке, печатался в «Забайкальской нове», «Восточном обозрении», «Сибирском сборнике», автор приключенческих романов «В горах Дзурин» и «Король тайги», ряда рассказов и очерков на сибирские темы («Переправа через Байкал», «На вольной земле», «Поклонники медведя», «Герой тайги»); умер 19 марта 1934.

1903 — В Красноярске родился Лев Николаевич Черноморцев, сибирский поэт, участник боев на КВЖД и Великой Отечественной войны; умер в 1974.

30 МАЯ

1864 — В Варшаве в семье ассимилированных евреев, польских патриотов, родился Феликс Кон, революционер, социал-демократ, член польской партии «Пролетариат» с 1882, с 1918 — большевик; в 1884—1890 на каторге в Сибири (Кара); с 1891 в ссылке; до 1895 в Якутии, где занимался антропологией и этнографией, затем в Иркутске, Балаганске, Минусинске (до 1904); сотрудничал в сибирской прессе; умер 28 июля 1941.

1896 — В Якутске родился Адам Васильевич Скрябин, хоровой дирижер и фольклорист; в 1917 создал якутский любительский хор, который на вечер просветительского общества «Саха аймах» исполнил песни «Саргылардаах Сахабыт» и «Дигин кырдыгас сагатан»; основал духовной оркестр при Якутской национальной военной школе, ансамбль хомусистов; умер в 1938 в Москве.

1908 — В Луганске родился Владимир Степанович Соболев, выдающийся сибирский геолог, академик, специалист по общей минералогии, теоретической петрологии, процессам минералообразования; в 1940 теоретически предсказал, что в Якутии должны быть алмазы; умер 1 сентября 1982.

1923 — Слиянием Бурят-Монгольской автономной области РСФСР и Бурят-Монгольской автономной области ДВР образована Бурят-Монгольская АССР.

31 МАЯ

1766 — В Барнауле, четыре дня спустя после смерти своего создателя Ивана Ивановича Ползунова, заработала первая в истории паровая машина; проработала 43 дня, затем была заброшена и забыта; и приоритет изобретения закрепился за Дж. Уаттом (1769).

1866 — В Красноярске родился Владимир Иванович Ребиков, композитор, близкий к импрессионизму; в последний период жизни много экспериментировал, тяготел к модернизму, часто обращался к изобретенному им жанру меломик; самое известное его произведение — опера «Елка»; умер в Ялте в 1920.

1891 — Во Владивостоке состоялась торжественная церемония закладки Великого Сибирского пути.

В последние годы на разных уровнях, в том числе и в средствах массовой информации, обсуждается идея создания сверхминиатюрного компьютера-робота, размером с амёбу или меньше. Такие роботы, построенные методами неорганического химического синтеза, могли бы радикально изменить характер промышленного и сельскохозяйственного производства и сам образ жизни. Например, отпадет необходимость в торговле, поскольку любые изделия можно будет «выращивать» на месте с помощью микроботов. Люди смогут жить неограниченно долго, а их болезни будут излечивать микроботы, выполняющие «ремонт» молекул. И дело не сводится к одной фантастике. Вслед за сенсационными книгами Э. Дреслера «Машины Творения: четвертая волна» (1990)

и «Наносистемы» (1992) в ведущих индустриальных странах создаются лаборатории и исследовательские центры нанотехнологий, разрабатываются прототипы устройств, например, нанореакторов размером в несколько нанометров и рассчитанных на проведение реакций считанных молекул. Пока, однако, неясно, как учитывать и регулировать вход молекул в такой реактор и выход из него. Предполагается, что решение этой проблемы позволит создать химический триггер, аналогичный по действию транзисторным триггерам современных компьютеров. В данной статье описаны подходы к решению этой проблемы, базирующиеся на результатах последних научных исследований.

Физики шутят, что научный поиск подобен ловле черного кота в абсолютно темной комнате, причем заранее не известно, есть ли кот. Но есть счастливые исключения, когда сама природа дает подсказку о том, что решение действительно существует. Так было с освоением полета: наблюдение за птицами ускорило наступление эры авиации. Вероятно, сходное положение имеет место и с микроскопическими компьютеризированными роботами. Ведь микроорганизмы типа амёбы и ей подобные существуют вне всякого сомнения, и эффективная работоспособность их микрокомпьютеров не вызывает сомнений. Кроме того, нынешняя компьютерная эра в большей степени, чем когда-либо в прошлом, делает нас восприимчивыми к специфическим подсказкам природы именно в плане материальной базы информатики, или, как любят говорить, hardware.

Основу этой материальной базы составляют так называемые триггеры. Функция триггера такая же, как у выключателя: он либо открыт для тока, либо закрыт. Двум состояниям триггера приписывают цифры 0 и 1, образующая общеизвестный двоичный код. С помощью набора триггеров можно выражать любые числа и производить логические операции, арифметические действия и расчеты. Прогресс в развитии материальной базы информатики до сих пор сводится, главным образом, к последовательной миниатюризации с одновременным повышением эффективности и надежности триггеров.

В частности, сама возможность наступления нынешней компьютерной эры тесно связана с открытием в 1947 г. Бардинным транзистора, или полупроводникового триода. Транзистор оказался очень удачной находкой, и на его базе удалось сконструировать миниатюрные и надежные полупроводниковые триггеры. Миллионы транзисторных триггеров объединяют в одном устройстве, называемом процессором. Увеличение мощности и переход к каждому очередному компьютерному поколению достигается за счет повышения плотности заполнения процессора транзисторами, размеры которых стремятся уменьшить всеми доступными способами. На данный момент острым является вопрос: какое предел уменьшения размеров этого транзисторного триггера?

Через открытый триггер за один цикл протекают тысячи и тысячи электронов, в закрытом же тока практически нет. Для обычного триггера не так важно, что в действительности невозможно переключить ток на все 100%. Но это очень существенно для минимального по размеру триггера, рассчитанного на пропускание в открытом состоянии всего лишь одного электрона. Необходимо чтобы в закрытом состоянии этот электрон наверняка бы не «проскочил», иначе в арифметических расчетах и логических операциях будут проникать ошибки. В то же время волновая природа позволяет электрону с легкостью «просачиваться» сквозь заключенные барьеры и стенки. Поэтому дальнейшая миниатюризация и увеличение быстродействия электронных триггеров требует специальной очень высокой технологии, но вряд ли на этом пути удастся сконструировать микроботы размером с бактерию.

Но есть альтернатива. Вместо тысячи электронов можно взять один протон и построить пока гипотетический триггер размером всего с пару молекул воды, или полнанометра. Протон тяжелее электрона в 1840 раз, поэтому, согласно волно-

вой механике, просачиваться сквозь барьеры и стенки ему в тысячу раз труднее. Правда, скорость протона заметно ниже, чем у электрона, поэтому время срабатывания и быстроедействие такого триггера будут несколько хуже, чем у электронных устройств. Можно использовать еще более тяжелые частицы — положительные и отрицательные ионы, и тем самым перейти от электроники к «ионике». Такой переход ничему не противоречит, но это будет уже совсем другая наука и техника, причем скорее из области химии, чем физики. Вот что, собственно, имеют в виду, когда говорят о принципиальной возможности построения компьютера размером с амёбу или меньше.

О, а где? Уже давно известно, что взаимодействие чувствительных окончаний с сигнальными веществами осуществляется по принципу ключа и замка, но химия этого процесса остается неясной.

Как представить возможное устройство химического процессора, базирующегося на использовании молекулярных триггеров? Любопытнейший химический объект — это соединения включения. Они устроены неподобие контейнера для лиц: в полимерном кристалле имеется набор микроскопических ячеек или пор, в которых могут размещаться гостевые частицы — молекулы различных веществ. Подобные соединения называют еще клеточными, или

клатратами, в клетках которых, словно канарейки, могут надежно удерживаться даже молекулы благородных газов. Соединение включения — почти готовая матрица для нанопроцессора. Типичный размер одной ячейки в клатрате составляет около 1 нм, что в тысячу раз меньше размера триггера в электронном процессоре (около 1 микрометра). Поэтому в клатратном кристалле поперечником один микрон (меньше пылинки) свободно разместится миллиард клеток (ячеек). Если в ячейках такого кристалла разместить какие-либо молекулы, и если есть способ узнать, заселена ячейка или нет, то может получиться гигантская память. Если, к тому же, гостевую молекулу можно было бы произвольно перемещать из ячейки в ячейку, или хотя бы произвольно изменять ее состояние (например, поляризации), то идеальный химический нанопроцессор готов. К сожалению, для обычного клатратного соединения все это сделать невозможно.

Но имеется другой тип соединений включения — каналные клатраты, в которых ячейки соединены друг с другом переходными окнами. В таких соединениях молекулы уже не заперты «навечно» в своих клетках, и при подходящей геометрии (как в системах ключ — замок) они могут перемещаться из ячейки в ячейку. Притом оказалось, что иногда возможно регулировать переход молекул через окно. Иными словами, возможно устройство весьма своеобразного «вентиля», позволяющего произвольно увеличивать или уменьшать поток молекул через окно из одной ячейки в другую, или в открытое пространство, или из окружающего пространства внутрь ячейки. Обнаружение подобной возможности связано с нашими исследованиями сорбционных свойств каналных клатратов. Среди них встречаются так называемые сильно нелинейные сорбенты, в которых скорость перемещения молекул (или скорость диффузии) может изменяться в десятки тысяч раз при относительно

# ХИМИЯ НА ПОРОГЕ ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ

Протонные или ионные триггеры, интегрированные в принципиально иным по устройству микропроцессоре, возможно, были бы аналогами оперативной памяти микроорганизмов. Но, к сожалению, биологическая наука еще мало знает о механизме оперативной памяти живой клетки, который, по-видимому, существенно отличается от механизма сравнительно хорошо изученной долговременной памяти, записанной на ДНК. Историкам науки, может быть, будет интересно, что высказывались даже предположения о полупроводниковой оперативной памяти в биологических объектах. Такую гипотезу отстаивал, в частности, не кто иной, как знаменитый Сент-Дьерджи, лауреат Нобелевской премии. Ему возразил наш крупнейший физик-теоретик академик В. Гинзбург: «если бы биологические объекты содержали полупроводниковые детали, то они были бы принципиально непрозрачны, как металлы». Правда, сам В. Гинзбург в другой статье, опубликованной в журнале «Доклады АН СССР», высказал столь же узкую гипотезу о том, что оперативная память биологических объектов могла бы быть основана на ВТСП, вероятно, забыв, что сверхпроводники столь же непрозрачны, как полупроводники. Сейчас мы все больше склонны видеть в биологических объектах признаки функционирования химических процессоров, работающих на потоках ионов натрия, кальция, водорода и других. Однако принцип действия биохимических триггеров и конструкция биопроцессора все еще остаются загадкой.

Центральный вопрос — распознавание или узнавание. Его частный случай — это химия обоняния и восприятия акусовых ощущений. Известно, что некоторые бабочки реагируют на исключительно низкие концентрации аттрактантов, так что их триггеры срабатывают от отдельных молекул. Притом они узнают направление на источник запаха, находящийся на большом расстоянии. Значит, фиксируется ничтожный по величине градиент концентрации. Как нейронные окончания на усиках бабочки узнают, открыт или закрыт данный конкретный триггер, т.е. где

клатратами, в клетках которых, словно канарейки, могут надежно удерживаться даже молекулы благородных газов.

Соединение включения — почти готовая матрица для нанопроцессора. Типичный размер одной ячейки в клатрате составляет около 1 нм, что в тысячу раз меньше размера триггера в электронном процессоре (около 1 микрометра). Поэтому в клатратном кристалле поперечником один микрон (меньше пылинки) свободно разместится миллиард клеток (ячеек). Если в ячейках такого кристалла разместить какие-либо молекулы, и если есть способ узнать, заселена ячейка или нет, то может получиться гигантская память. Если, к тому же, гостевую молекулу можно было бы произвольно перемещать из ячейки в ячейку, или хотя бы произвольно изменять ее состояние (например, поляризации), то идеальный химический нанопроцессор готов. К сожалению, для обычного клатратного соединения все это сделать невозможно.

Но имеется другой тип соединений включения — каналные клатраты, в которых ячейки соединены друг с другом переходными окнами. В таких соединениях молекулы уже не заперты «навечно» в своих клетках, и при подходящей геометрии (как в системах ключ — замок) они могут перемещаться из ячейки в ячейку. Притом оказалось, что иногда возможно регулировать переход молекул через окно. Иными словами, возможно устройство весьма своеобразного «вентиля», позволяющего произвольно увеличивать или уменьшать поток молекул через окно из одной ячейки в другую, или в открытое пространство, или из окружающего пространства внутрь ячейки.

Обнаружение подобной возможности связано с нашими исследованиями сорбционных свойств каналных клатратов. Среди них встречаются так называемые сильно нелинейные сорбенты, в которых скорость перемещения молекул (или скорость диффузии) может изменяться в десятки тысяч раз при относительно

небольшом изменении внешних условий (парциального давления паров, гидростатического давления, температуры, примеси растворенных веществ и др.) Такое поведение отдаленно напоминает нелинейную вольт-амперную характеристику транзистора, только в нашем случае вместо электронного тока рассматривается молекулярный поток по градиенту плотности, или ионный ток в каналном клатрате — сульфидном проводнике. Иными словами, каналные клатраты с нелинейно-сорбционными свойствами определенно могут рассматриваться в качестве серьезного претендента на роль нелинейного элемента наномолекулярного триггера. Конечно, от данного заключения до практических устройств еще далеко. Но стоит вспомнить, что от полупроводникового транзистора до персоналки тоже был долгий путь.

Определенный прогресс в понимании механизма нелинейно-сорбционных свойств каналных клатратов достигнут в последние годы благодаря применению самых современных физических методов структурной химии (рентгеновская и нейтронная дифракция, синхротронное излучение, ЯМР). Было выяснено, что резкое изменение скорости диффузии связано с изменением характера размещения молекул (например, воды) в микроскопических каналах клатрата. При более низкой плотности молекулы связаны с адсорбционными центрами стенок каналов, при этом они относительно обособлены друг от друга. При плотности больше критической скачком изменяется характер «привязанности» молекул: они меньше обращают внимания на адсорбционные центры стенок, и преимущественно связаны друг с другом, образуя непрерывные цепочки межмолекулярных связей, в частности, водородных. Интересно, что подобный характер взаимотношений между полимерной решеткой хозяина и гостевыми молекулами был давно обнаружен при исследовании структуры ДНК. Оказалось, что гостевые молекулы (в данном случае это были молекулы воды) упорядочены в В-ДНК и разупорядочены в более гидратированной форме — А-ДНК. Мы считаем весьма существенным, что наблюдается тесная структурная аналогия превращений в химических различных системах — в ДНК и в некоторых неорганических каналных клатратах.

В закритической области, когда преимущество имеют межмолекулярные связи, атомы водорода (протоны) могут перемещаться вдоль водородных связей, а при наложении разности потенциалов — переносить ток. Таким образом, на данном переходе возможно создать выключатель тока (триггер) размером порядка нанометра. При этом следует подчеркнуть, что включение-выключение тока — лишь одна из возможностей рассматриваемой системы, быть может, не самая ценная. Другие возможности, недоступные для электроники, связаны с влиянием протонов и других ионов на скорости химических реакций. Контуры исследовательских планов в этом направлении только намечаются.

Данная работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 93-03-18231 и 93-03-18231а) и грантами ЯВТ 000 и ЯВТ 300 Международного научного фонда.

С. ГАБУДА, доктор физико-математических наук.

© Камышан С., составление, 1994 г.