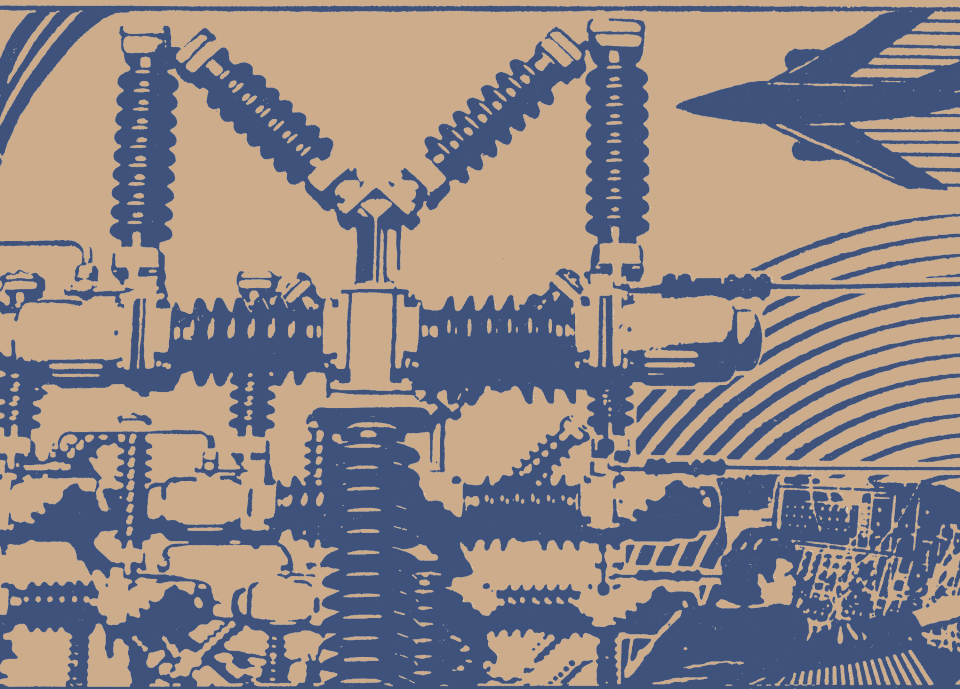


НОВОЕ  
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,  
ТЕХНИКЕ

ЗНАНИЕ



10/1977

СЕРИЯ  
ФИЗИКА

ФИЗИКА  
И НАУЧНО -  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ПРОГРЕСС

---

НОВОЕ  
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,  
ТЕХНИКЕ

---

Серия «Физика»  
№ 10, 1977 г.  
Издается ежемесячно с 1946 г.

---

# ФИЗИКА И НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС

СБОРНИК

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»  
Москва 1977

**Ф50      Физика и научно-технический прогресс.**  
**Сборник. М., «Знание», 1977.**

64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Физика», 10. Издается ежемесячно с 1946 г.)

Прогресс в самых различных отраслях народного хозяйства сегодня немислим без использования достижений основы естественных наук — физики.

В брошюре рассказывается о том вкладе, который вносят в научно-технический прогресс теоретические и экспериментальные исследования в области ядерной физики и физики плазмы, физики твердого тела и низких температур, радиофизики и квантовой электроники, биофизики, оптики и других направлений.

20400

53

Нет ничего более практичного, чем хорошая теория. В этих словах Генерального секретаря ЦК КПСС Л. И. Брежнева на XXV съезде КПСС ярко отражена роль науки в развитии производства. Комплексному подходу к решению важнейших народнохозяйственных задач, ускорению научно-технического прогресса, мобилизации научных сил страны на решение задач пятилетки съезд уделил очень большое внимание.

О конкретной практической реализации научных идей, осуществлении Комплексной программы научно-технического прогресса рассказывается в статье члена-корреспондента АН СССР Д. Г. Жмерина «Научно-технический прогресс и повышение эффективности производства».

Одному из важнейших направлений научного поиска наших дней посвящена статья академика Н. Г. Басова «Перспективы развития квантовой электроники». В ней раскрываются широчайшие возможности применения квантовых генераторов в различных областях — от космической связи до лечения глазных болезней и сварки металлов.

Интересную область научного знания — химическую физику — освещает академик Н. М. Эмануэль в статье «Химическая физика и некоторые проблемы биологии». На конкретном материале борьбы с болезнью века — раком ученый показывает перспективность применения физических методов и соответствующей аппаратуры в биологических исследованиях.

*ОТ РЕДАКЦИИ*

## Научно-технический прогресс и повышение эффективности производства

Научно-технический прогресс на данном этапе развития производительных сил пронизывает все отрасли и сферы деятельности человека. Особое значение научно-технический прогресс имеет для нашего социалистического строительства, являясь основной движущей силой развития экономики и производства. Достигновения науки и техники, реализуемые в народном хозяйстве, позволяют решить коренную проблему социализма — повышение производительности общественного труда.

Известно, что Ленин в своих работах неоднократно подчеркивал значение производительности общественного труда в социалистическом обществе. По этому вопросу Ленин дал такую же четкую формулировку, как и по электрификации: он писал, что «производительность труда в конечном счете является самым главным, самым важным для победы нового общественного строя». Поэтому не случайно в деятельности КПСС вопросам производительности общественного труда, механизации и автоматизации производственных процессов, вопросам создания новых машин, технологических процессов производства уделяется особое внимание. Все эти мероприятия направлены на то, чтобы обеспечить высокую производительность общественного труда в социалистическом обществе.

Особенно ярко это было подчеркнуто в решениях XXIV съезда КПСС, а также XXV съезда, утвердившего Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы. В Директивах XXIV съезда КПСС было намечено в девятом пятилетии 80—85% прироста национального дохода получить за счет повышения производительности труда. Как известно, это задание было выполнено, что дало основание в десятом пятилетии поставить задачу обеспечить за счет

роста производительности труда 90% прироста промышленной продукции, весь прирост продукции сельского хозяйства и строительно-монтажных работ.

Учитывая эти достижения, при планировании науки и новой техники на одиннадцатое пятилетие можно поставить вопрос о том, чтобы весь прирост продукции по всему народному хозяйству был получен за счет повышения производительности труда на основе его комплексной механизации и расширения автоматизации производственных процессов. Для решения этой задачи имеются достаточные основания, так как наше машиностроение с каждой пятилеткой расширяет сферу своего воздействия на этот процесс. В девятом пятилетии машиностроение СССР произвело более 16 тыс. новых машин, агрегатов и приборов, которые внесли существенные изменения в процессы механизации и автоматизации производства.

На десятое пятилетие поставлена задача произвести более 20 тыс. новых машин и механизмов. Среди направлений научно-технического прогресса, играющих особую роль в десятой пятилетке, на XXV съезде отмечены: рост единичных мощностей машин и агрегатов, переход от создания и внедрения отдельных машин к разработке и внедрению систем машин, целиком охватывающих весь технологический процесс, механизацию и автоматизацию трудоемких видов производства.

Следовательно, поставлена главная цель — путем создания комплексов машин обеспечить максимальную механизацию и как следствие максимальную производительность труда.

Механизация трудовых процессов в своей основе базируется на электрификации. Поэтому в данное время, как и прежде, проводится твердый курс на увеличение электровооруженности труда.

Планирование научных разработок, организация исследований и создание новой техники подчинены решению вышеизложенных проблем.

До последнего времени Госкомитет по науке и технике осуществлял координацию деятельности научных организаций путем составления и утверждения планов по многочисленным направлениям развития науки и техники. Теперь, с учетом новых задач, поставленных XXV съездом КПСС, такая система оказалась недостаточной. Поэтому начиная с десятой пятилетки Госко-

митет по науке и технике перешел на разработку комплексных межотраслевых программ по научным исследованиям и техническим разработкам. Качественная сторона вопроса заключается в том, что при составлении комплексных программ охватывается весь объем разработки науки и новой техники от начала научного поиска до внедрения в производство. Такая организация управления наукой обеспечивает высокую эффективность и ускоряет использование научных разработок в народном хозяйстве.

На десятую пятилетку Госкомитетом по науке и технике составлено 200 комплексных программ по важнейшим направлениям науки и новой техники, в том числе 122 программы в области промышленности, 16 программ по сельскому хозяйству, 20 программ — по транспорту и транспортным машинам и т. д.

Большое количество программ составлено по важнейшим отраслям народного хозяйства: химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, металлургии, энергетике и др. В области химии и нефтехимии разработано 24 программы, 22 комплексные программы составлены в области металлургии и 15 программ — по топливу и геологическим разведкам. По энергетике и энергетическому машиностроению составлено 14 программ.

Вычислительная техника играет возрастающую роль в процессах управления, оказывает влияние на повышение эффективности производства, автоматизацию технологических и производственных процессов, значительно повышает производительность и улучшает условия труда. С учетом этого создано несколько комплексных программ в области разработки и использования вычислительной техники и автоматизированных систем управления. Автоматизация сложных технологических и производственных процессов приобрела новое значение. Роль автоматизации на базе электронных машин заключается не только в повышении производительности труда, но и в изменении его социального характера.

В названных 200 комплексных программах предусмотрено несколько тысяч различных заданий по научно-техническим разработкам. В том числе более 40% заданий касается создания новых машин и механизмов с высокими технико-экономическими показателями, 22%

охватывают задания на разработку новых технологических процессов и т. д.

В задачах по развитию и совершенствованию технологических процессов имеется в виду не простое улучшение действующих технологий, а главным образом создание таких новых технологических процессов, которые обеспечивали бы высокую производительность труда за счет комплексной механизации всего процесса. Кроме того, ученым и научным учреждениям ставится задача получения в новых процессах более высококачественной продукции и, в частности, продукции с заранее заданными свойствами.

В комплексных программах намечено разработать более 1000 новых технологических процессов. Составной частью комплексных программ являются разработка и выпуск новой продукции, материалов и препаратов с более высокими качественными показателями по сравнению с выпускаемыми в настоящее время.

В соответствии с указаниями партии и правительства в комплексных программах поставлена задача повышения эффективности научных исследований, ускорения их внедрения, в частности путем приближения науки к производству. Ускорение внедрения характеризуется тем, что 60% всех заданий комплексных программ должно быть реализовано в течение текущего пятилетнего плана и только 40% переходит на следующую пятилетку. Это вполне объяснимо, так как не все задания начинают разрабатываться с начала пятилетки, многие из них будут разрабатываться позже и даже в 1980 г. Эффективность исследований состоит в том, что примерно 36% их должны быть реализованы в виде промышленного освоения новых материалов, оборудования, препаратов, а 40% пройти опытную проверку для последующего внедрения их в промышленное производство.

Для того чтобы осуществить реализацию заданий комплексных программ, государство затрачивает значительные средства, измеряемые миллиардами рублей. Примерно 50% этих средств намечено израсходовать на фундаментальную науку и другие научно-исследовательские работы, примерно 22% расходов намечается на оплату опытно-конструкторских разработок и 28% — на создание экспериментальных установок и опытных баз. Следует особо подчеркнуть значение экспериментальных установок, опытных баз и испытательных стендов.



Практика показала, что если научно-исследовательские организации располагают экспериментальными базами и соответствующими опытными установками, то их разработки доводятся до состояния, обеспечивающего более быструю реализацию в промышленности.

Научно-исследовательские институты, не располагающие такой базой, цикл исследований завершают лабораторными опытами. Само собой разумеется, что процесс внедрения в промышленность таких разработок затягивается.

Поэтому при разработке комплексных программ и выделении финансовых и материальных средств учитываются потребности научных организаций в экспериментальных установках.

Следует еще раз подчеркнуть, что экспериментальные и опытные базы на современном уровне науки, техники и производства абсолютно необходимы. Создание таких баз будет способствовать ускорению и внедрению научных разработок в производство.

Кроме косвенных показателей эффективности науки и техники есть и прямые, выражающиеся в дополнительной прибыли и денежных доходах государственных предприятий.

Каков же экономический эффект от реализации этих программ? По проведенным расчетам в течение текущего пятилетия за счет внедрения новых разработок должна быть получена дополнительная прибыль в размере 6 млрд. руб. Такой объем прибыли объясняется тем, что не все разработки, внедряемые в производство, могут дать полный эффект в текущей пятилетке. Основной экономический эффект будет получен в одиннадцатом пятилетии, когда, по расчетам, он превысит названную цифру в несколько раз.

Естественно, невозможно осветить все комплексные программы, поэтому следует для иллюстрации их значимости в народном хозяйстве осветить содержание нескольких важных проблем.

Острой проблемой во всем мире является топливно-энергетический баланс. Прежде всего необходимо отметить, что топливно-энергетический баланс — это комплексная и межотраслевая проблема. Ее острота определяется тем, что современное производство и нормальное существование человека невозможно без топлива и энергии.

Нарушение топливного баланса, как это имеет место сейчас в капиталистических странах, немедленно отражается на нормальном ритме жизни, происходит спад производства, появляется инфляция, растет безработица.

Топливный кризис капиталистического мира проистекает не от недостатка ресурсов, а от факторов социального характера, от пороков экономической системы капитализма.

В Советском Союзе научно-комплексный метод формирования топливно-энергетического баланса был обоснован В. И. Лениным, когда он требовал вовлечь в баланс «непервоклассные сорта топлива».

Советская наука на протяжении всех 60 лет существования государства разрабатывала фундаментальные мероприятия по всем направлениям топливно-энергетической проблемы. В отличие от капиталистических стран в СССР принят научно обоснованный критерий в использовании топливных ресурсов — народнохозяйственный эффект.

Каждому потребителю в отдельности выгодно использовать нефть или газ вместо угля, но уровень экономической эффективности расходования этих ценных топлив различный, что и учитывается в социалистическом планировании. Электростанции могут и должны использовать непервоклассные угли, тогда как химическая промышленность может производить синтетическую продукцию только из жидких или газовых продуктов.

Поэтому к разработке топливно-энергетического баланса страны были привлечены крупные ученые, плановые работники и специалисты научных учреждений и производственных организаций. Эта межотраслевая комплексная программа охватывает не только проблемы добычи минеральных ресурсов, но и их расходование в народном хозяйстве. В программе рассматриваются вопросы развития атомной энергетики, гидроэнергетики страны, т. е. те направления энергетики, которые прямо могут влиять на формирование топливно-энергетических ресурсов и входят составной частью в энергобаланс.

Комплексная программа предусматривает не только научное обоснование развития различных отраслей: добычи угля, нефти, газа и других топлив, развития атомной энергетики. Она одновременно содержит програм-

му разработки новой техники и технологии в этих отраслях.

Если говорить об угольной промышленности, то, как известно, в нашей стране взят правильный курс на форсированную добычу богатейших запасов угольных месторождений, там, где это возможно, методом открытой разработки.

В конце девятой пятилетки удельный вес открытых работ по добыче угля составлял не многим более 30%, по плану десятой пятилетки к 1980 г. намечено увеличить удельный вес открытой добычи до 34,4%. Открытый метод коренным образом отличается от шахтной добычи. Здесь возможна полная механизация процесса, что приводит к изменению социального характера труда. При открытой добыче значительно снижается себестоимость топлива за счет повышения производительности труда (она по крайней мере в 2—3 раза выше, чем в шахте, за счет механизации). Естественно, что открытые разработки можно вести не везде.

Организация открытых разработок угля потребовала от научно-исследовательских и конструкторских организаций проведения большого объема работ. В результате были сконструированы и построены уникальные машины, обеспечивающие высокую производительность в сочетании с комплексной механизацией добычи угля в открытых разрезах.

В комплексных программах предусматривается целый ряд новых заданий, в частности, намечена программа развития роторных экскаваторов, которые обеспечивают повышение производительности труда, по крайней мере в 2 раза, по сравнению даже с совершенными шагающими экскаваторами.

Перед страной стоит задача создания в десятой и последующих пятилетках крупнейших угольных разрезов с годовой производительностью в 50—60 млн. т. Например, в Экибастузском угольном бассейне стоит проблема увеличения добычи угля в целом по бассейну до 150 млн. т. Для этой цели потребуются организовать 2—3 мощных разреза, которые должны быть оснащены высокопроизводительной техникой.

В программе предусмотрено создать такой комплекс машин, который обеспечил бы высокую производительность с охватом всего цикла производства.

В связи с тем что удельный вес шахтной добычи со-

ставляет две трети, проблеме изменения методов добычи угля в шахтах уделено большое внимание. Решение этой проблемы идет по двум направлениям. Прежде всего комплексная программа предусматривает разработку новых, более совершенных угледобывающих машин. Здесь поставлена задача создания серий комбайнов, транспортеров и другого оборудования, которые могли бы максимально облегчить тяжелый труд шахтера, повысить производительность труда. Намечена также разработка и второго, очень важного, направления — создание автоматизированных или автоматических комплексов шахтной добычи угля без присутствия человека в забое. В этом отношении в комплексных программах намечено создание примерно четырех комплексов, которые делятся на дистанционно управляемые системы с помощью кабеля и системы, управляемые электронными устройствами. Обе эти системы позволят управлять добычными агрегатами в шахтах без присутствия людей в забое. Намечаемая к разработке система автоматического управления с помощью электронных машин особенно привлекательна тем, что работа агрегатов регулируется заранее составленной программой. Добыча угля идет без присутствия человека, при этом режим работы изменяется в зависимости от геологических и других условий.

В нефтедобывающей промышленности, а ее удельный вес в топливном балансе значителен, имеется важнейший показатель — уровень извлечения нефти из недр.

По расчетам геологов, из нефтяных пластов, если добывать нефть в естественных условиях, обычными методами, можно извлечь примерно 33% геологических запасов.

Советские научные работники и различные организации за прошедшее десятилетие проделали огромную исследовательскую работу, в результате которой в среднем извлекается примерно 45% нефти из недр. В этом отношении СССР идет впереди других стран, в том числе и Соединенных Штатов Америки. В основе разработанного метода заложен принцип искусственного воздействия на пласт.

Но извлечение 45% нефти — это не предел. В комплексных программах перед научными и производственными организациями поставлена задача повысить извлечение нефти до 60—70%.

Сейчас проблема состоит в том, чтобы использовать для искусственного воздействия на пласт не только воды, но и водяной пар. Очень большие надежды возлагают на применение поверхностно-активных веществ, которое может дать очень большой эффект.

Следует также сказать еще об одном направлении исследований в этой области — об автоматическом управлении режимом работы скважин. Такой опыт проведен в широких масштабах, в частности в Тюмени, и дал отличные результаты.

При оснащении добывающих скважин автоматикой отпадает необходимость в ежедневном или непрерывном присутствии персонала, поэтому резко повышается, по крайней мере в 2 раза, производительность труда. Автоматизированная система управления позволяет вести такой режим работы скважины, который обеспечивает рациональное использование пласта и в то же время предохраняет скважину от преждевременного истощения. Этот опыт учтен, и в программе поставлена задача широкого его распространения.

Технический прогресс в топливно-энергетическом балансе касается и вопросов электроэнергетики.

Если говорить об электроэнергетике, то следует подчеркнуть, что технический прогресс в данном случае заключается, с одной стороны, в увеличении единичных мощностей энергетического оборудования и, с другой, в повышении их коэффициента полезного действия, обеспечивающего сокращение расхода топлива на производство тепловой и электрической энергии.

На наших тепловых электростанциях до последнего времени наиболее распространенным являлись энергетические агрегаты с единичной мощностью в 300 тыс. кВт, в последние годы стали все шире применяться агрегаты в 500 и 800 тыс. кВт. В десятой и особенно в одиннадцатой пятилетке превалирующими будут агрегаты в 500 и 800 тыс. кВт, которые имеют меньший удельный расход топлива и лучший коэффициент полезного действия.

В этом отношении советская энергетика выходит на передовые рубежи. На электростанциях страны работают одновальные агрегаты мощностью по 800 тыс. кВт. В текущем пятилетии по разработкам научно-исследовательских организаций заканчивается изготовление и будет введен в эксплуатацию уникальный одновальный аг-

регат на Костромской электростанции мощностью в 1200 тыс. кВт. В программах предусматриваются мероприятия по дальнейшему увеличению мощности агрегатов, в частности, сейчас изучается возможность создания теплового агрегата мощностью 1600 тыс. кВт и, возможно, 2 млн. кВт. Правда, здесь встречаются большие трудности в создании паровых турбин указанной мощности. Трудность не только конструктивного, но и технологического характера. Для такого рода машин требуется соответствующее повышение качества металла.

Советские ученые — физики, энергетики, металлурги первыми в мире использовали научное открытие — расщепление атомного ядра урана на благо человека.

В СССР была создана и в 1954 г. введена в действие первая в истории человечества атомная электростанция. На нашем опыте учились все страны мира, в том числе и США.

До последнего времени в нашей энергетике применялись атомные реакторы на тепловых нейтронах мощностью 440 тыс. кВт. Три года назад были пущены два новых реактора канального типа на Ленинградской атомной электростанции мощностью каждый в 1 млн. кВт. В 1976 г. введена в работу Курская атомная электростанция с реактором на тепловых нейтронах также мощностью в 1 млн. кВт. По этому показателю наша энергетика вышла на передовые рубежи.

Советские ученые разрабатывают новый реактор мощностью до 1,5 млн. кВт, который по расходу атомного горючего и другим показателям практически равноценен реактору в 1 млн. кВт, т. е., другими словами, за счет повышения коэффициента полезного действия мощность реактора увеличена в 1,5 раза. По-видимому, такой реактор может быть создан в одиннадцатом пятилетии.

Что означает для атомных электростанций создание реакторов мощностью 1 млн. кВт и выше?

Удельные капитальные затраты этих АЭС выше затрат на сооружение тепловых электростанций на дешевых углях, жидком или газообразном топливе. Однако по сествоимости производимой электроэнергии атомные электростанции экономичнее тепловых. В итоге, по приведенным затратам, такие атомные электростанции оказываются равными или даже несколько выгоднее тепловых электростанций равных мощностей.

В европейской части Союза, где, как известно, имеется недостаток топливных ресурсов, намечена программа широкого внедрения атомных электростанций. В десятом пятилетии на атомных электростанциях будет введено примерно 14 млн. кВт мощностей. В дальнейшем к 1990 г. мощность атомных электростанций должна возрасти в несколько раз.

Большое значение для нашей страны имеет транспорт энергетических ресурсов. Известно, что запасы угля, нефти и газа, запасы гидроэнергии примерно на 80% сосредоточены за Уралом, главным образом в Сибири и частично в Средней Азии. В то же время потребление электроэнергии почти на 80% сосредоточено в европейской части страны, и поэтому проблема транспорта энергетических ресурсов с востока на запад имеет огромное экономическое значение. В программах и разработках предусматривается целый ряд мероприятий по повышению эффективности транспорта энергоресурсов.

Трубопроводный транспорт, как известно, широко распространен в Советском Союзе, в этом отношении СССР имеет большие достижения. Тем не менее до последнего времени у нас трубопроводный транспорт работал на сравнительно скромном давлении, равном 55 кг/см. Если повысить давление в трубопроводах до 75 кг/см и увеличить одновременно диаметр трубопровода, то можно увеличить перекачку газа по такому трубопроводу примерно в 1,5—2 раза и довести объем перекачки газа по одной нитке до 30 млрд. м<sup>3</sup> в год. Сейчас наши ученые интенсивно работают над созданием трубопроводов, выдерживающих давление в 100 атмосфер. Переход на указанное давление при одинаковом диаметре труб позволяет увеличить примерно на 30% производительность трубопроводов.

Есть еще одно очень перспективное направление — передача газа не с его естественной температурой, а в охлажденном виде. Разработаны мероприятия и созданы программы по охлаждению газа примерно до  $-70^{\circ}\text{C}$ . Это позволит увеличить перекачку газа по одной нитке трубопровода примерно в 2 раза и довести объем перекачки до 60 млрд. м<sup>3</sup> в год.

Легко представить, какой экономический эффект это даст.

Есть еще одно, пока недостаточное научно обоснованное предложение — передача газа в сжиженном

виде. Здесь возникает много интересных проблем, поэтому в комплексных программах предусмотрено проведение работ и в этом направлении.

В программах по дальнейшему совершенствованию линий электропередач направление технического прогресса заключается в повышении напряжения и выборе рода электрического тока.

Первое направление заключается в таком повышении напряжения линий передач, которое обеспечивает экономически выгодную дальность передачи с более высоким коэффициентом полезного действия при увеличении передаваемых мощностей. По линиям передач переменного тока Советский Союз занимает практически передовое место в мире. Сооружаются линии, по которым можно передавать электроэнергию на расстояния примерно до 1,5 тыс. км. Однако это не удовлетворяет требованиям передачи электроэнергии из восточных районов страны на запад. Поэтому научно-проектными организациями разработана линия передач (се опытный участок будет построен в этом пятилетии) напряжением в 1 млн. 150 тыс. кВт, по которой можно передавать экономически выгодно электроэнергию на расстояние до 3 тыс. км.

Но есть и другой прогрессивный метод передачи электроэнергии — линиями передачи постоянным током. В этом направлении Советский Союз также является пионером. После того как у нас были проведены серьезные исследования на первой линии передачи Кашира—Москва (напряжением  $\pm 10$  кВ), а затем на линии передачи Волгоград—Донбасс (напряжением  $\pm 400$  кВ), многие страны, в том числе и Соединенные Штаты Америки, после катастрофических аварий в электросетях, которые у них произошли, также стали на путь создания линий электропередач постоянного тока.

Советские проектные и конструкторские организации разработали проект уникальной линии электропередач постоянного тока от Экибастузского угольного бассейна до центра страны длиной 2400 км напряжением 1,5 млн. В, по которой можно передать энергию мощностью до 6 млн. кВт.

Для народного хозяйства это означает, что в густонаселенные центральные районы страны вместо экибастузского угля, дающего примерно 40% золы, можно передавать чистую электроэнергию.



Сооружение такой линии передачи будет начато в текущей пятилетке.

Теперь стоит более сложная задача — каким образом использовать огромный энергетический потенциал канско-ачинских углей.

В этом бассейне добыча угля может быть доведена в 1990 году примерно до 300—400 млн. т, а в будущем, возможно, до 1 млрд. т. Канско-ачинский уголь содержит мало золы, но зато в избытке имеет влагу. Поэтому транспортировать его обычным путем невыгодно. Единственная возможность передачи этих энергоресурсов в Центр — по линиям электропередач. Для этой цели необходимо создать электропередачу постоянного тока на протяжении до 2 млн. В.

Научные основы создания подобной линии разработаны физиками, электротехниками и энергетиками. Обширные исследования, проведенные многими научными и проектными организациями, подтвердили практическую возможность сооружения такой уникальной электропередачи. По этой линии можно будет передавать электроэнергию экономически выгодно на расстояние до 4 тыс. км, т. е. от Канско-ачинского бассейна до Центра европейской части Союза. Мощность передачи может быть доведена до 12 млрд. кВт и по объему более 70 млрд. кВт·ч электроэнергии в год.

В комплексных программах намечены и другие направления технического прогресса, в частности увеличение единичных мощностей агрегатов и установок. Практика работ показала, что с ростом единичных мощностей агрегатов обеспечивается прежде всего увеличение выпуска продукции, растет производительность труда, снижается себестоимость продукции и, что не менее важно, сокращаются удельные капитальные вложения.

Этот процесс отчетливо прослеживается в металлургии при увеличении мощностей доменных печей.

При увеличении мощности нефтеперерабатывающих заводов в 2 раза производительность труда повышается также в 2 раза, себестоимость снижается на 5%, а удельные капитальные вложения на единицу мощности — на 10%. Аналогичное положение в химической промышленности, энергетике и других отраслях народного хозяйства.

В Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы особо подчеркнута

необходимость перехода от производства отдельных машин к созданию комплексов машин. Такой переход обусловлен потребностями социалистического хозяйства.

Главная задача с точки зрения технического прогресса заключается в том, что комплекс машин должен обеспечить максимальную механизацию всего процесса производства.

В программе намечены большие мероприятия по осуществлению комплексной механизации. В Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы поставлена задача создания роботов-манипуляторов. Главная особенность роботов заключается в том, что они могут заменить человека в особо опасных или тяжелых условиях работы. При оснащении группы станков с числовым программным управлением роботами-манипуляторами обеспечивается полная механизация и соответствующее повышение производительности труда. В программах предусмотрено дальнейшее совершенствование автоматических и конвейерных линий путем создания комплексных автоматизированных линий, которые бы обеспечивали максимальную механизацию труда.

Особое место в комплексных программах занимает создание новых технологических процессов. Это очень важное направление, так как оно может не только обеспечить коренное изменение существующих технологических процессов, но и получение продуктов с заранее заданными свойствами.

Следует отметить, что в области создания новых технологических процессов советские ученые и производственники проделали огромную созидательную работу.

В качестве примера можно привести метод, разработанный учеными СССР по выращиванию искусственных кристаллов.

Анализируя процессы, происходящие в недрах земли, ученые разработали технологические модели, имитирующие эти процессы, а затем создали соответствующее оборудование, с помощью которого получают искусственные алмазы, рубины, сапфиры. Сейчас в нашей стране производится много различных синтетических кристаллов, необходимых народному хозяйству. Технологический процесс выращивания кристаллов позволит электронной промышленности производить интеграль-

ные схемы с большой степенью интеграции. Производство указанных интегральных схем необходимо для создания новых электронно-вычислительных машин.

Ученые Института сварки им. Патона разработали процесс электрошлакового переплава. При этом процессе в электропечи под слоем синтетического шлака выплавляется металл высокой чистоты. Главная особенность этого процесса состоит в том, что он позволяет получить сложные отливки, почти не требующие станочной обработки.

В стадии осуществления находится еще один процесс по коренному изменению доменного производства на основе использования высокотемпературного восстановительного газа. Суть метода заключается в том, что колошниковый газ, получаемый в доменных печах, проходит очистку от  $\text{CO}_2$  и воды, затем нагревается до  $1200^\circ\text{C}$ , и в домну подается в смеси со 100%-ным кислородом. При этом сокращается расход кокса на 30%, природного газа — на 70%, удельные капитальные вложения снижаются на 40%.

Следует упомянуть еще об одном процессе, имеющем большое народнохозяйственное значение, — использование урана-238. Он составляет 99% всех изотопов, содержащихся в рудах. Однако в существующих атомных реакторах на медленных нейтронах уран-238 не используется.

Советские ученые создали новый тип реактора — на быстрых нейтронах, в котором в процессе деления вовлекается уран-238. Это научное достижение открывает широкие перспективы для развития атомной энергетики, при этом появляется возможность в указанных реакторах не только получать энергию, но и накапливать (воспроизводить) атомное горючее.

Наконец, необходимо осветить еще одно очень важное направление технического прогресса — создание автоматических и автоматизированных систем управления на базе электронно-вычислительных машин. В СССР накоплен большой опыт в этой области. К началу текущей пятилетки введено в действие около 3 тыс. автоматических и автоматизированных систем, в том числе большое количество планово-организационных систем объединений и предприятий и автоматических систем управления сложными технологическими процессами.

Всесоюзные и часть республиканских промышленных

министерств имеют отраслевые автоматизированные системы управления и вычислительные центры. Такие же автоматизированные системы и вычислительные центры имеются в Госпланах СССР и республик, в ЦСУ, в Госснабе, в Госстандарте и ряде других организаций. Применение электронно-вычислительных машин дает высокий экономический эффект. Наиболее эффективными являются автоматические системы управления технологическими процессами. Срок их окупаемости — не более полутора лет. При этом увеличивается выпуск продукции на тех же агрегатах и с теми же материалами.

Автоматизация процессов производства значительно повышает производительность труда, коренным образом меняет его характер и социальную сущность. В химической промышленности внедряются автоматические системы управления, которые позволяют вывести рабочий из технологического процесса.

В комплексных программах намечено дальнейшее расширение указанных работ и дальнейшее совершенствование как электронных машин, так и автоматических систем управления.

Конечно, проделанная работа далека от полного охвата автоматизацией системы планирования и управления всеми предприятиями и экономикой, однако накопленный опыт показывает, что наступает новый период, когда процессы планирования и управления должны совершенствоваться с помощью вычислительной техники.

В комплексных программах поставлена первоочередная задача по улучшению качества производимых электронных машин, увеличения их мощности, расширения функциональных возможностей. Использование ЭВМ зависит от укомплектованности периферийными устройствами и программами, разработке которых уделяется большое внимание.

В комплексных программах с особой силой подчеркивается необходимость охраны природной среды и в связи с этим намечены мероприятия по снижению или прекращению выброса отходов промышленного производства.

Формирование комплексных программ проходило под влиянием исторических решений XXV съезда КПСС и других директив Коммунистической партии и Советского государства.

Комплексные программы и намеченные в них мероприятия по важнейшим проблемам социалистического хозяйства, масштаб поставленных перед учеными, специалистами и научно-производственными организациями задач характеризует общий уровень, высокий потенциал советской науки и техники.

Достижения советской науки с особой яркостью видны сейчас, когда наша страна подводит величественные итоги социалистического развития за 60 лет существования Советского государства.

Наша страна за исторически короткий срок прошла путь, равный векам. За истекшее время отсталая Россия превратилась в страну передовой науки и техники.

Миллионная армия советских ученых, идейно преданных делу социализма, осуществляет техническую революцию во всех сферах деятельности человека. Нет ни одного научного направления, в котором не принимают активного, творческого участия советские научные работники.

Есть все основания полагать, что большой объем научно-исследовательских работ, предусмотренных в комплексных программах, будет успешно выполнен.

Это будет означать новую, высшую ступень научного творчества, а реализация научно-технических разработок в народном хозяйстве обеспечит дальнейшее развитие социалистической экономики.

## **Перспективы развития квантовой электроники**

Широкое использование светового излучения, которое стало возможным благодаря созданию лазеров, позволяет по-новому подойти к решению многих технических задач, коренным образом изменить технологию, сократить трудоемкость и энергоемкость различных процессов, существенно изменить значение химии и биологии за счет приближения в управлении химическими и биологическими процессами к атомно-молекулярному уровню. Трудно переоценить неисчерпаемые возможности для автоматизации, вычислительной техники, связи, хранения информации, заложенные в световом диапазоне волн.

Во многих случаях более выгодно и удобно потреблять энергию в виде света. В ряде случаев световая энергия и более удобна для «транспортировки». Использование лазеров, видимо, позволит решить и вопрос о получении больших количеств энергии, стимулируя светом контролируемые термоядерные реакции.

Быстрое совершенствование характеристик лазеров уже сегодня дает основание полагать, что в недалеком будущем масштабы использования светового излучения в количественном и качественном отношении будут сопоставимы с использованием других видов энергии.

Для того чтобы более отчетливо понять возможности лазеров, постараемся выяснить их преимущества по сравнению с обычными источниками света.

Свет, представляющий собой электромагнитные колебания с длиной волны от десятых долей миллиметра (инфракрасный диапазон) до десятых или даже сотых долей микрона (ультрафиолетовый диапазон), излучается и поглощается благодаря колебаниям электрических зарядов в атомах и молекулах. В тепловых или люминесцентных лампах атомы излучают свет независимо друг от друга, и поэтому излучение получается не на-

правленным. Разные атомы излучают свет с различными длинами волн, и световые колебания напоминают звуковой шум, в котором равномерно представлены звуки различной высоты.

В лазерах атомы излучают согласованно: все атомы излучают свет в одном и том же направлении, излучение каждого атома имеет одну и ту же длину волны.

Фокусируя свет теплового источника с помощью линзы на экран, мы получаем его изображение, причем температура, до которой свет может нагреть экран, не может быть выше, чем температура источника света. Так получается, если с помощью огромной линзы мы смогли бы собрать все лучи, испускаемые лампой.

Квантовые генераторы, в которых свет излучается согласованно, позволяют с помощью линзы собрать излучение на площадку с размерами порядка длины волны излучения (квадратный микрометр для видимого света), при этом возникает возможность колоссальной концентрации энергии. Поэтому под действием такого света мы в состоянии плавить или даже испарять любые самые тугоплавкие вещества, что очень важно для технологии, и даже инициировать термоядерные реакции синтеза легких элементов.

Облучая вещество обычным светом, мы просто нагреваем его. Облучая светом лазера и подбирая длину волны света в резонанс с колебаниями атомов, мы можем заставить их двигаться согласованно, т. е. практически управлять процессами на атомно-молекулярном уровне.

Интенсивность излучения, достигаемая с помощью лазеров, может быть настолько большой, что электрическое поле световой волны становится сравнимым с полем зарядов в атоме. Такое интенсивное излучение при взаимодействии с веществом проявляет новое свойство. Пропуская такой свет через однородное вещество, мы видим, как уменьшается диаметр пучка — происходит «самофокусировка». Изменяются законы отражения и преломления света. Поведение света при взаимодействии со средой начинает зависеть от его интенсивности. Сейчас пытаются использовать эти так называемые «нелинейные взаимодействия» для того, чтобы научиться управлять светом, изменять его частоту, направление распространения и т. д.; пытаются научиться делать то, что мы хорошо умеем делать с радиоволнами при по-

мощи радиосхем. С появлением лазеров возникло новое быстро развивающееся направление — нелинейная оптика, которая является научной базой для радиотехнического освоения оптической области спектра.

Интенсивность света тепловых источников быстро убывает с расстоянием. С помощью лазеров мы можем получать остронаправленные пучки света, и чем короче длина волны, тем более направленным может быть пучок. Например, посылая красный свет рубинового лазера на Луну, можно осветить на Луне на расстоянии в 400 000 км площадку диаметром меньше километра. Поэтому свет имеет значительные преимущества перед радиоволнами для дальней космической связи и локации.

Кроме того, уже сейчас с помощью лазеров мы в состоянии получать очень короткие вспышки длительностью в  $10^{-11}$ — $10^{-12}$  с, когда пучок света в пространстве имеет вид тонкого диска толщиной 3—0,3 мм. Это позволяет настолько точно измерять дистанции, что, например, расстояние до Луны было определено с точностью до 10 см.

Несколько слов об информационных возможностях света. Гладкая синусоида в пространстве и во времени, с которой связываются у нас со школы представления об электромагнитных колебаниях, не может нести информации. Для того чтобы передать сигнал, нужно «испортить» синусоиду, сделать одни выбросы больше, другие меньше. Поэтому объем информации, который можно передать с помощью колебательного процесса, определяется числом таких колебаний в единицу времени, т. е. объем передаваемой информации обратно пропорционален длине волны излучения. С помощью света можно передать в единицу времени информации в миллион раз больше, чем с помощью метровых волн.

Мы уже говорили о космической связи. В земных условиях туманы, облака, пыль, осадки мешают распространению света. Однако в последнее время достигнуты большие успехи в распространении света по микроскопически тонким стеклянным нитям — световодам. На километре такого световода интенсивность света меняется всего на несколько децибел. По такой тонкой нити можно передавать миллионы пар телефонных разговоров.

Очень емкой является и световая запись сигналов,



так как наименьший размер пятна на фотопластинке имеет площадь порядка квадрата длины волны. Поэтому на фотопластинке размерами  $10 \times 10$  см<sup>2</sup> способна поместиться информация в  $10^{10}$  бит, например, часовой телевизионный фильм, или около миллиона страниц печатного текста.

Очень важным для практических применений является вопрос о коэффициенте полезного действия, с которым мы можем преобразовать различные виды энергии в энергию света. Мы понимаем, что только большие КПД и возможность достижения больших уровней мощности и энергии позволяют поставить вопрос о широком, повсеместном использовании света. Сейчас разработаны принципы и начата разработка лазеров с КПД в 20—40%, позволяющих достигнуть больших уровней мощности в непрерывном режиме (это так называемые электроионизационные лазеры, одновременно предложенные в СССР и США).

Принципиальных трудностей для дальнейшего повышения КПД как будто бы нет, во всяком случае уже сейчас представляется возможным создание мощного лазера с КПД 50—70%.

Разработанные лазеры представлены в таблице. Во многих странах промышленностью сейчас выпускаются сотни типов различных лазеров, десятки различных кристаллов, стекол и другого оборудования. Освоение оптического диапазона частот (видимого, инфракрасного, ультрафиолетового) с помощью лазеров началось в 1960 г., и сейчас этот диапазон не перекрыт еще плавно, а существующие лазеры работают во многих точках (более тысячи) этого диапазона — от 1800 до 0,116 мкм.

Лазеры в сравнительно короткий срок стали незаменимыми инструментами ученых и рабочих, конструкторов и технологов, специалистов разных отраслей науки и промышленности. От систем световой локации Луны до хирургических инструментов — таков сегодня диапазон «профессий» лазера.

Наука открывает все новые и новые возможности лазера. Он успешно справляется, скажем, со сваркой мелких и мельчайших деталей и стал незаменимым в ряде отраслей точного приборостроения, в частности в микроэлектронике созданы аппараты для лазерной резки материалов. Оптические квантовые генераторы широко ис-

## Лазеры

|               |   |  |   |
|---------------|---|--|---|
| Твердотельные | { | на кристаллах (рубин, гранат и др.) — всего >60 различных кристаллов<br>на стеклах (силикатное, фосфатное и др.) — всего >10 различных стекол<br>полупроводниковые (GaAs, CdS и др.) — всего >30 различных полупроводников   |   |
| Жидкостные    | { | на красителях<br>на неорганических жидкостях — всего >50 различных жидкостей<br>комбинационные<br>бриллюэновские   |   |
| Газовые       | { | на нейтральных атомах (Ne+Ne, He+Xe и др.)<br>ионные (Ar+, Xe+ и др.)<br>молекулярные (CO <sub>2</sub> , CO и др.)<br>на парах металлов (Cu, Au и др.)<br>газодинамические (CO <sub>2</sub> и др.)<br>электроионизационные (CO <sub>2</sub> , CO, XeF и др.)<br>химические (H <sub>2</sub> +F <sub>2</sub> , D <sub>2</sub> +F <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> и др.)<br>экимерные (Xe <sub>2</sub> , ArF и др.) | Всего >100 различных газовых смесей и газов, работающих на 1000 спектральных линиях |

пользуются, например, в часовой промышленности для сверления отверстий диаметром 0,05—0,1 мм в заготовках рубиновых камней.

По сути дела, речь идет о самом широком внедрении лазеров во все доступные им отрасли народного хозяйства. Для примера возьмем авиацию.

Известно, что снегопады, туманы, дожди сильно затрудняют посадку и взлет самолетов. Чтобы облегчить эти сложные операции, создается система, в которой луч лазера ведет лайнер в нужном направлении, служит пилотам надежным ориентиром.

Предлагаемая система, которую мы называли «Глиссада», позволит увеличить время активной работы аэропортов в условиях плохой видимости. Экономический эффект от ее внедрения в масштабах страны будет, как показывают расчеты, весьма значительным. Посадочная система «Глиссада» — совместный многолетний труд коллектива физиков Академии наук СССР и инженеров авиационной промышленности.

Нельзя не упомянуть также о применении лазеров в медицине. В печати широко освещались операции на сетчатке глаза. Советские медики в содружестве с работниками электронной промышленности успешно разрабатывают методы лечения глаукомы. Сейчас интенсивно развиваются исследования биохимического воздействия мощных потоков лазерного излучения на живые ткани. Эти исследования служат основой для широкого применения лазеров в медицине и биологии, создания новых методов лечения болезней.

При помощи «лучевого ланцета» осуществляются тонкие и сложные операции, в частности хирургические операции желудка. Луч лазера при такой операции вводится в желудок волоконной оптикой — тонкими и гибкими световодами. С их помощью удастся остановить опасные кровотечения, возникающие при язвенной болезни. У нас проведено почти 150 операций на животных. Установлено лечебное действие лазерного излучения на слизистую оболочку желудка и детально изучены возможности нового инструмента.

Первая такая операция человеку была сделана в октябре минувшего года. Она прошла успешно, как и последующие пятнадцать.

Интересные применения находят лазеры на парях

металлов. Одна из областей применения импульсных лазеров на парах металлов, таких, как лазер на парах меди, излучающий в зеленой части спектра, — это использование их активных элементов в качестве усилителей яркости в оптических системах. До сих пор в оптических приборах яркость света на выходе могла быть только меньше, чем яркость на входе. Квантовая электроника дает возможность изменить ситуацию. Эта возможность реализована в лазерном проекционном микроскопе, разработанном в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР. Применение в этом приборе усилителя яркости на основе лазера на парах меди позволило получать изображения микрообъектов на большом экране в зеленом свете с увеличением в 10 тыс. раз, что недоступно для обычных проекционных микроскопов. На рис. 1 приведен пример применения лазерного проекционного микроскопа (разрешение системы  $\sim 1$  мкм).

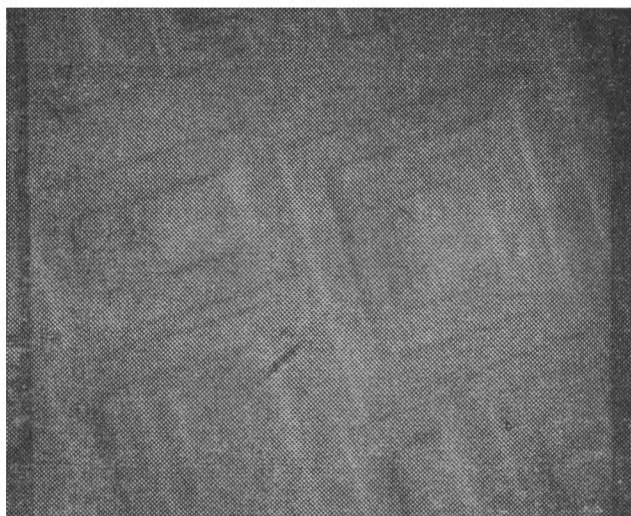
Ведутся работы по дальнейшему развитию оптических систем с усилителями яркости, в частности по созданию цветных проекционных систем.

Полупроводниковые лазеры с электронным возбуждением позволили создать принципиально новые электронно-лучевые трубки с лазерным экраном, которые за счет направленности излучения и высокой эффективности преобразования энергии электронов в световую создают эффективную яркость единицы поверхности экрана, в 10 000 раз большую, чем у современных телевизоров. Это позволяет проецировать изображение с 1 см<sup>2</sup> лазерного экрана на 1 м<sup>2</sup> при сохранении стандартной яркости.

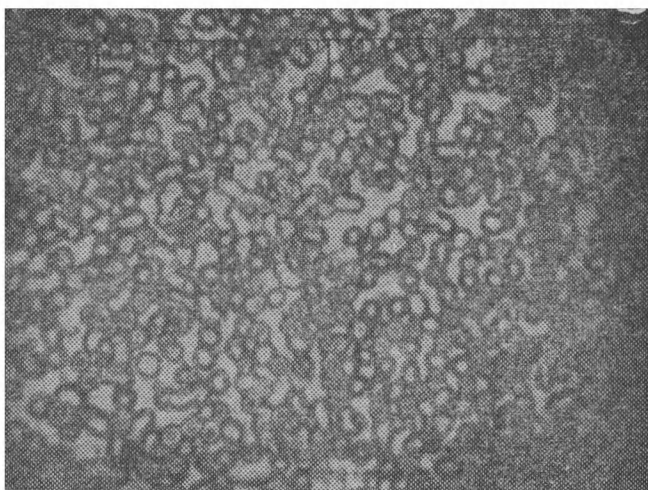
Уже получено телевизионное изображение на экране площадью 6 м<sup>2</sup> в «чистых» красных и зеленых цветах. В скором будущем будет создан высококачественный цветной лазерный телевизор с проекцией изображения на большой экран.

## **ЛАЗЕРНАЯ ХИМИЯ**

Говоря о технологии, мы хотели бы отметить успехи применения лазеров в химических процессах. Первые успешные эксперименты в этом направлении были выполнены в 1971 г. в Физическом институ-



*a*



*b*

Рис. 1. Микрофотографии, полученные с помощью проекционного лазерного микроскопа: *a* — участок интегральной схемы, увеличение 15 000; *b* — мазок крови, увеличение 2000

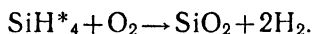
те им. П. Н. Лебедева АН СССР и одном из отраслевых химических институтов. В основе их лежит идея стимулирования химической активности веществ применением не классических методов — обычного нагрева или уже известных катализаторов, а ослаблением или разрывом атомных связей под действием лазерного излучения. Каждый атом или группа атомов в сложной молекуле представляет собой сложную колебательную систему с характерными для нее частотами колебаний. Если частота лазерного луча входит «в резонанс» с одним из этих колебаний, он способен «раскачать» определенную атомную связь, создавая химически активные молекулы. При обычном нагреве химических веществ в первую очередь «рвутся» наиболее слабые связи внутри молекул.

Лазер же позволяет активировать те группы атомов, которые при обычном нагреве не вступают в реакции, химически неактивны. Таким образом, можно обойти естественную химическую активность и получать соединения, которые не могут быть получены в прямых химических процессах.

За пять лет изучения лазерохимических процессов установлен ряд важных кинетических особенностей химических реакций, стимулированных лазерным излучением, выявлены возможности лазерохимического синтеза, исследуются технологические применения таких процессов, в том числе и для разделения изотопов. Возникло новое научное направление — лазерная химия.

Примером гетерогенной лазерной реакции может служить процесс образования пленки из двуокиси кремния на поверхности подложки под действием излучения лазера.

Схема установки представлена на рис. 2. Луч лазера проходит через прозрачную подложку (например, из кремния) и возбуждает моносилан  $\text{SiH}_4$ , содержащийся в кювете. Возбужденные молекулы  $\text{SiH}_4^*$  реагируют на поверхности кремния с адсорбированным поверхностью окислителем



На поверхности подложки образуется пленка  $\text{SiO}_2$ , причем подложка остается практически холодной. Таким способом можно осуществлять контролируемый рост

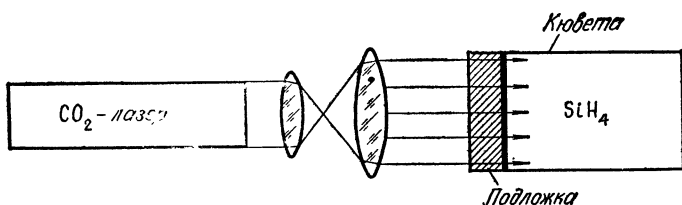


Рис. 2. Схема установки для контролируемого выращивания пленок на холодной подложке

пленок на поверхности без ее нагрева. Тепловой способ роста пленок с хорошим сцеплением с поверхностью требует нагрева подложки до  $1200^\circ$ .

Большой прогресс достигнут в последние годы в области использования лазеров для решения проблемы разделения изотопов.

Свойства изотопов, особенно тяжелых, различаются очень мало. Лазерное излучение помогает сделать их свойства сильно различающимися. Лазерное излучение может быть сделано столь монохроматичным, что незначительное изменение в структуре энергетического спектра изотопов, связанное с различием их атомного веса, оказывается достаточным, чтоб возбудить атомы (молекулы) только одного из изотопов (рис. 3). А возбужденные и невозбужденные атомы или молекулы резко различаются по своим свойствам, отделить их друг от друга можно различными способами. Можно заставить возбужденные частицы вступать в химические реакции, подобрав реагент таким образом, чтобы невозбужденные частицы не реагировали.

Здесь проблема разделения изотопов смыкается с лазерной химией.

Возбужденные частицы значительно легче могут быть ионизированы или диссоциированы (если речь идет о молекулах). На них большее влияние могут оказать внешние поля. Способов выделения возбужденных частиц можно предложить большое количество; их выбор зависит от конкретного изотопа, который необходимо получить.

Большой вклад в разработку методов лазерного разделения изотопов внесен Институтом спектроскопии и Физическим институтом АН СССР.

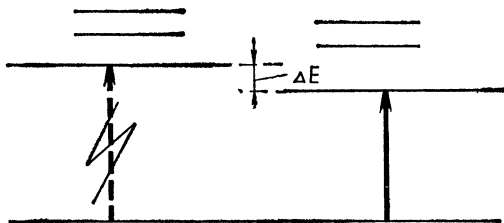


Рис. 3. Изотопическое смещение уровней энергии. Различия в уровнях энергии для тяжелых атомов  $\Delta E \approx 10^{-4}$  эВ

### ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

Основой современной радиоэлектроники являются электронные вакуумные приборы (радиолампы) или полупроводниковые приборы (транзисторы), которые позволяют усиливать и преобразовывать радиоволны и электрические токи.

С созданием лазеров появилась возможность управлять светом с помощью света или с помощью электрического тока.

Возникло новое направление, получившее название оптоэлектроники.

Строго говоря, нет четкого раздела между радиоэлектроникой и оптоэлектроникой. Граница здесь очень условна.

Однако сильное изменение длины волны в 10 000 или даже в миллион раз совершенно меняет облик используемой техники, меняет исходные принципы построения приборов, а самое главное, использование оптики позволяет решить ряд очень важных проблем, нерешаемых с помощью традиционной радиоэлектроники.

Какие это задачи?

Жизнь заставляет разрабатывать все более скоростные вычислительные машины. Созданы универсальные вычислительные машины с быстродействием более миллиона операций в секунду. Усовершенствовав полупроводниковые интегральные схемы, видимо, можно будет увеличить быстродействие ЭВМ в сотни раз. Лазерные устройства, по-видимому, позволят создать самые скоростные вычислительные машины быстродействием более миллиарда операций в секунду.



В современных ЭВМ электрические провода занимают около 90% общего объема машин. Это делает их громоздкими, замедляет темп их действия. Создание световолоконных линий связи значительно уменьшит размеры ЭВМ, увеличит их быстродействие и надежность. В ближайшем будущем будет осуществляться переход от кабельных линий связи к световолоконным, что значительно увеличит пропускную информационную способность линий связи, сделает их надежными, позволит осуществлять высококачественную цветную передачу нескольких телепрограмм.

Уже сейчас «память» современных машин чрезвычайно громоздка и сложна, а емкость ее сравнительно мала. Пока нельзя еще достаточно быстро вводить данные, быстро записывать результаты в ходе вычислений, закладывать в «память» программу, в соответствии с которой должна работать машина. И здесь на помощь приходит оптика.

Используя свет, обладающий сравнительно малой длиной волны, можно информацию записывать с высокой плотностью и на этой основе создавать компактные устройства постоянной памяти огромной емкости. Например, используя голографический метод, на пластинке размером  $10 \times 10$  см<sup>2</sup> удастся зафиксировать более 100 млн. единиц информации — почти 100 тыс. страниц печатного текста.

Специальные оптические устройства позволяют записывать информацию на фотопластинке автоматически, правда, сравнительно медленно, но зато считывать ее можно чрезвычайно быстро. В настоящее время проблему быстрого считывания мы решаем успешно двумя способами — либо с помощью матриц инжекционных лазеров (малогабаритные полупроводниковые лазеры), либо лазерной электронно-лучевой трубкой. И тот и другой метод позволяет считывать информацию с голограмм со скоростью до  $10^{11}$  единиц информации в двоичном коде в секунду.

Для ЭВМ очень важна оперативная память — возможность на короткое время записывать информацию, полученную в ходе вычислений. Для этого нужны светочувствительные материалы, не требующие проявления и другой обработки. Сейчас разрабатываются реверсивные материалы, позволяющие быстро (за микросекунду)

записать, а затем стереть информацию, и делать это многократно, как на магнитной ленте.

До сих пор мы говорили об использовании оптической памяти применительно к обычным ЭВМ, в которых обработка чисел производится последовательно. Однако оптика позволяет производить операции сразу над многими числами. Эта возможность реализуется в многопроцессорных машинах. Развитие этого направления приведет к коренному усовершенствованию вычислительной техники, созданию высокопроизводительных оптических вычислительных машин: уже разрабатываются проекты машин на миллиарды операций в секунду.

### **ЛАЗЕРНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ**

Одна из наиболее грандиозных задач современной физики — проблема управляемых термоядерных реакций, и не случайно на решении этой проблемы во всех крупнейших странах мира сосредоточены усилия больших научных коллективов и выделяются для этой цели огромные ассигнования. С освоением термоядерной энергии связывается будущая энергообеспеченность человечества.

Задача широкого освоения термоядерной энергии состоит в том, чтобы научиться добывать термоядерную энергию «малыми порциями», которые затем можно будет использовать в технических установках.

Наилучшим видом горючего для термоядерных установок является смесь изотопов водорода: дейтерия и трития. В 1 см<sup>3</sup> замороженной при низкой температуре твердой смеси содержится энергия, равная энергии взрыва 20 т взрывчатки. Для того чтобы пошла ядерная реакция, нужно сблизить ядра дейтерия и трития на расстояние ядерного радиуса  $10^{-13}$  см. Это сделать весьма трудно потому, что ядра заряжены положительно, и нужно преодолеть электрические силы отталкивания ядер. Для того чтобы преодолеть эти силы отталкивания, нужно разогнать ядра до очень больших скоростей. Это можно сделать, если нагреть вещество до температуры в  $10^8$  градусов.

Для обеспечения положительного выхода энергии необходимо, чтобы разогретое вещество (плазма) существовало некоторое время, в течение которого значи-

тельная часть ядер дейтерия и трития успеет столкнуться и превратиться в ядра гелия. Столкновения происходят тем чаще, чем больше частиц находится в единице объема. И поэтому выход энергии оказывается пропорциональным произведению числа частиц в единице объема на время существования разогретого вещества. Расчеты показывают, что энергетически выгодная термоядерная реакция будет происходить тогда, когда произведение числа частиц в  $1 \text{ см}^3$   $n$  на время жизни плазмы  $\tau$  (критерий Лоусона) будет больше  $10^{14}$ . Когда мы разогреваем вещество, в нем возникает колоссальное давление, в результате действия которого вещество стремится разлететься. Плазму невозможно поместить в камеру, так как она мгновенно отдаст свое тепло стенкам. Поэтому плазму пытаются удерживать с помощью магнитного поля, но даже при полях в  $10^5$  Э мы можем удерживать лишь сравнительно разреженную плазму, когда в  $1 \text{ см}^3$  находится в миллиарды раз меньше частиц, чем в твердом теле. При этом нужно удерживать ее достаточно долго — около секунды. Но неожиданно выяснилось, что удерживать плазму длительное время необычайно трудно, так как она оказывается чрезвычайно неустойчивой и находит пути для того, чтобы уйти из магнитного поля. Вся история поисков управляемой термоядерной реакции сводилась к борьбе с неустойчивостью. Поиски условий, при которых плазма оставалась бы устойчивой, недавно дали первые положительные результаты. В Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова на установках «Токамак» получено рекордное время существования плазмы — от нескольких сотых до десятых долей секунды при плотности плазмы  $10^{14}$ — $10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Это соответствует величине критерия Лоусона  $n\tau \sim 10^{13}$ .

Другим путем является путь импульсного термоядерного синтеза. Если неустойчивость плазмы не позволяет сохранять ее в магнитном поле длительное время, то нельзя ли попытаться получить ее за столь короткое время, за которое плазма просто не успеет разлететься? Если поднять плотность плазмы до плотности твердого тела, то для того, чтобы удовлетворить критерий выгодности термоядерной реакции, необходимо, чтобы она существовала всего одну миллиардную долю секунды. Для этого нужно подвести энергию к мишени за время, еще более короткое.

Оказалось, что необычайно удобным средством ввода энергии в плазму являются лазеры, способные излучать энергию в виде короткого импульса.

Ряд ценных качеств когерентного лазерного излучения для нагрева плазмы, а именно: возможность бесконтактного нагрева и, следовательно, отсутствие проблемы загрязнения плазмы; возможность острого фокусирования излучения в малые объемы и, следовательно, высокие плотности мощности; наконец, достаточно эффективное поглощение световой энергии плотной плазмой — все это предопределяет перспективы использования лазеров в управляемом термоядерном синтезе.

Прогресс нагрева плазмы световым излучением происходит следующим образом. Мощный короткий лазерный импульс, сфокусированный на поверхность твердой мишени, быстро приводит некоторый тонкий слой вещества в плазменное состояние и нагревает его до высокой температуры. В нагретом веществе с высокой плотностью и температурой развиваются высокие давления. Таким образом, поверхностный горячий слой вещества, разлетаясь, одновременно будет сжимать внутренние области мишени, нагревая их за счет работы сил сжатия. В то время как прямой метод нагрева плазмы за счет электронной теплопроводности способен обеспечить значения  $n\tau$ , близкие к  $10^{14}$ , и тем самым подводит к порогу выгодной термоядерной реакции, использование сжатия может существенно повысить величину  $n\tau$ , т. е. обеспечить значительное энерговыделение.

Концепция сжатия плазмы до сверхплотных состояний развивается в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР, где в 1970 г. была создана мощная лазерная установка, обеспечивающая сферически-симметричное облучение шаровой твердой термоядерной мишени. Эта установка дает энергию лазерного импульса около 1000 Дж за короткие отрезки времени ( $\sim 10^{-9}$  с).

Необходимо отметить два существенных обстоятельства, играющих важную роль в проблеме применения лазеров для термоядерного синтеза.

Во-первых, КПД лазерных установок сравнительно низок (например, для мощных лазеров на неодимовом стекле он составляет всего лишь доли процента). Поэтому для компенсации потерь энергии при генерации

лазерного импульса необходимо, чтобы в термоядерной реакции выделилось в сотни раз больше энергии по сравнению с энергией нагревающего импульса. Однако полный энергоспас термоядерного горючего превышает тепловую энергию плазмы всего в несколько сот раз. Это говорит о том, что проблема положительного энергетического баланса (с учетом низкого КПД лазера) не решается простым нагревом плазменного объема. Она может быть решена двумя путями, взаимно дополняющими друг друга: повышением КПД лазеров и переходом от простой термоядерной реакции к реакции типа горения, когда энергия лазера будет использоваться только для частичного поддержания дальнейшей реакции в большом объеме. Во втором случае реакция первоначально возникнет в малой части термоядерного горючего, а затем выделившаяся энергия будет «поджигать» оставшуюся массу дейтериево-тритиевой смеси. Таким образом, окажутся достижимыми большие коэффициенты усиления по энергии.

Современный этап в развитии лазерного термоядерного синтеза характеризуется переходом к поиску конкретных систем лазер — термоядерная мишень, которые позволили бы оптимальным образом реализовать физические возможности лазерного нагрева и сжатия вещества в целях достижения положительного энергетического выхода. В настоящее время существует ряд теоретических схем ЛТС, предложенных советскими и американскими учеными, на основе которых ведутся широкие экспериментальные исследования, проектируются и строятся лазерные установки. Перспективной представляется разработанная в Физическом институте схема, предусматривающая использование мишеней, обладающих внутренней структурой и облучаемых лазерным импульсом естественной формы. Расчеты показывают, что в такой мишени может выделяться термоядерная энергия, в  $10^3$  раз превышающая лазерную энергию. Это обстоятельство очень важно для устройства будущего термоядерного реактора. Реализация таких коэффициентов усиления позволит использовать в электродах лазеры на неодимовом стекле с небольшим КПД ( $\sim 0,5\%$ ), технология которых уже сейчас достаточно хорошо разработана.

В экспериментальных исследованиях по лазерному термоядерному синтезу уже пройдены такие принци-

альные этапы, как нагрев вещества до термоядерных температур в результате эффективного поглощения лазерного излучения, сжатие плазмы и, как следствие этого генерация термоядерных нейтронов. Сейчас на повестке дня интереснейший эксперимент: достижение физического порога термоядерной реакции, т. е. осуществление условий, когда выделившаяся термоядерная энергия сравняется с внутренней энергией плазмы. Ученые надеются, что этот эксперимент станет возможным на лазерных установках второго поколения с энергией в импульсе  $\sim 10^4$  Дж, которые строятся в нескольких лабораториях. Одна из таких установок, «Дельфин», создается в лаборатории квантовой радиофизики Физического института им. П. Н. Лебедева (рис. 4).

В исследованиях по лазерному синтезу уже стали актуальными технические и технологические разработки проблем, связанные с лазерной термоядерной электростанцией. У нас в стране созданы проекты лазерного термоядерного реактора как в «чистом» (только синтез), так и в гибридном (синтез+деление) варианте. Эти проекты — результат совместной работы ученых Физического института и Института высоких температур АН СССР.

Световые энергии, которыми располагает в настоящее время импульсная лазерная техника, не превышают пока тысячи джоулей. Следовательно, для решения проблемы лазерного термоядерного синтеза необходимо создание новых лазерных установок с более высокими энергиями. Сейчас — это главная задача, которая, несомненно, может быть решена в ближайшие годы. Об этом свидетельствует бурный прогресс в лазерной технике. Широкий комплекс теоретических и экспериментальных исследований направлен как на разработку принципиально новых типов мощных лазеров, так и на отыскание оптимальной схемы лазер — мишень.

Сейчас преждевременно говорить о той роли, которую будет играть лазерный метод нагрева плазмы для термоядерного синтеза в будущем. Необходимы дальнейшие исследования в этом направлении и дальнейшее совершенствование лазерной техники. Возможно, что решение проблемы термоядерной энергетики будет основываться на синтезе развивающихся в настоящее время различных направлений физики плазмы.

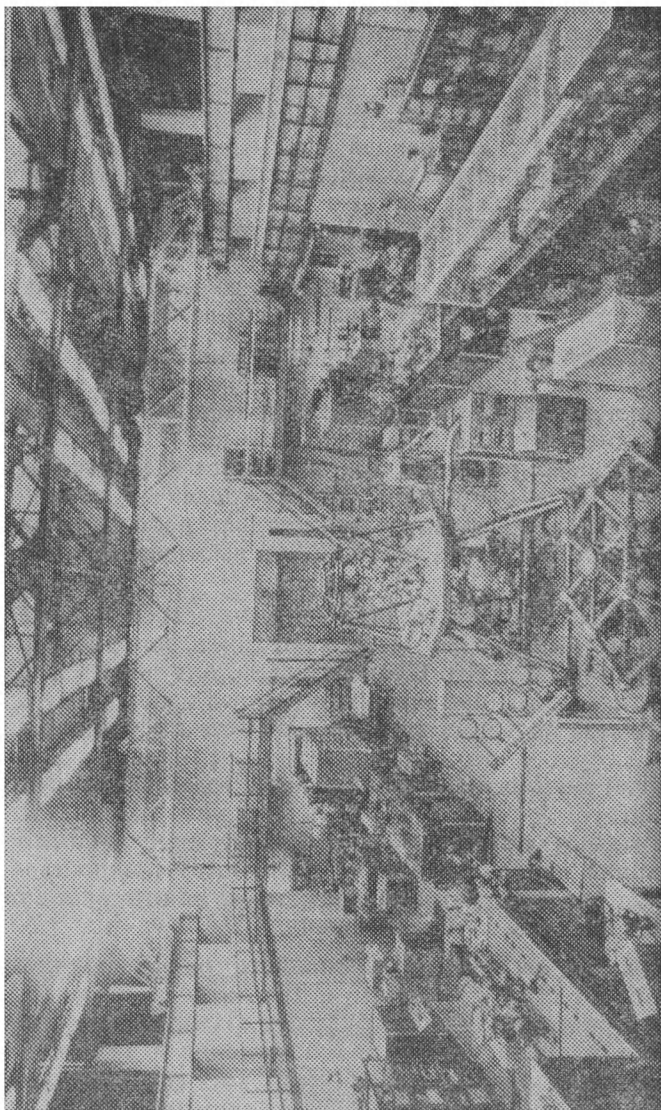


Рис. 4. Общий вид установки «Дельфин»

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Говоря о применениях, мы смогли коснуться лишь некоторых проблем, которые далеко не исчерпывают возможностей, связанных с освоением светового диапазона волн.

Лазерные стандарты частоты достигли точности  $10^{13}$  (одна секунда за 300 000 лет), и в ближайшие годы ожидается повышение стабильности частоты еще в сотни раз. Второе рождение переживает спектроскопия. Спектральные анализы, которые раньше делались много часов, теперь стало возможным делать за стомиллиардные доли секунды, что позволяет, например, «видеть» промежуточные продукты в химических реакциях и, следовательно, создать приборы, автоматически регулирующие процессы по этому параметру. Успешно ведутся работы по созданию с помощью голографии объемного цветного кино и телевидения. Оптические интерферометры, видимо, дадут возможность создать установки, дающие угловое разрешение по крайней мере в тысячи раз более высокое, чем лучшие телескопы, что чрезвычайно важно для астрономии.

Итак, интенсивные разработки различных типов квантовых генераторов и усилителей света, колоссальные успехи в оптической технологии вместе с применением электроники неизмеримо увеличили значение оптики в современной технике. Сейчас практически невозможно назвать техническое направление, где бы с применением света не связывались возможности революционных преобразований основных принципов построения техники, ведущих к коренным изменениям технологии производства, сокращению энергетических затрат, открытию новых путей управления процессами, разработке высокоточных экспрессных измерений, получению новых материалов. Чрезвычайно велико значение оптики в переработке, передаче и хранении информации.

Вновь сильно возросло значение света, оптики для развития многих отраслей науки (физики, астрономии, биологии, химии, медицины и др.).

Создание лазеров ликвидировало разрыв, существовавший между оптикой, с одной стороны, и радиотехникой и электроникой — с другой. Мы уверены, что все достигнутое в радиотехнике может быть получено на



оптических частотах. И вместе с тем свет таит в себе много новых резервов, связанных с уменьшением длины волны, уменьшением масштабов времени, увеличением концентрации энергии и возможностью резонансного воздействия на вещество.



## **Химическая физика и некоторые проблемы биологии**

Полвека назад сформировалась химическая физика — новая область естествознания, пограничная между физикой и химией. В этой области современная теоретическая и экспериментальная физика нашла огромное многообразие объектов исследования, а химия получила строгие физические основы для решения важнейших проблем строения и превращения веществ.

Примерно в этот же период физика начала активно проникать в биологию. Речь снова идет о современной физике, поскольку многие известные физики и в далеком прошлом неоднократно обращали свое внимание на биологические явления (Гальвани, Томас Юнг, Майер, Гельмгольц, Тиндаль). Таким образом, этот период можно считать вторым рождением биофизики.

Наконец, в наши дни на решение важных проблем биологии и медицины направлены объединенные усилия химической и биологической физики. Проблем этих много, и в настоящей статье рассматриваются лишь те из них, в которых внимание исследователя обращено на изучение изменений биологических систем, проходящих во времени (биологическая кинетика). Скорость развития различных природных процессов изменяется в исключительно широком диапазоне: от сотен миллионов лет в случае биологической эволюции до десятков лет для продолжительности жизни человека или нескольких миллисекунд для времени передачи нервного импульса. Особое место среди биологических процессов занимают заболевания, влияние вредных воздействий физических и химических факторов окружающей среды, старение живых организмов.

### **КИНЕТИКА ОПУХОЛЕВОГО РОСТА**

Около двух десятилетий назад в СССР было широко развернуто кинетическое изучение разви-

тия различных биологических процессов, в первую очередь — злокачественного опухолевого роста.

Перевиваемые опухоли и лейкозы животных являются моделями для постановки и решения ряда проблем лечения рака человека. Кинетические исследования экспериментальных опухолей дают возможность количественно изучать закономерности их развития как в отсутствие лечения, так и при различных терапевтических воздействиях, предлагать количественные критерии эффективности этих воздействий, разрабатывать оптимальные методы лечения.

Основной формой представления результатов кинетических исследований является кинетическая кривая — графическое изображение изменения во времени некоторой величины  $\Phi$ , характеризующей развитие процесса. В качестве величины  $\Phi$  обычно рассматривают любую характеристику, которую можно измерить и выразить количественно для каждого момента времени. Применительно к онкологии под  $\Phi$  можно подразумевать вес, объем, диаметр опухоли, число опухолевых клеток и т. д.

Развитие опухолевого процесса в каждый момент характеризуется значением скорости  $W$ , величина которой также меняется во времени:

$$W(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (1)$$

Удельная скорость роста опухоли равна

$$\varphi(t) = \frac{1}{\Phi} \frac{d\Phi(t)}{dt} = \frac{d \ln \Phi(t)}{dt} . \quad (2)$$

Во многих случаях пользуются также величиной эффективного времени удвоения  $Td$ , т. е. времени, за которое значение  $\Phi$  увеличивается вдвое при постоянной удельной скорости.

Развитие экспериментальных опухолей описывается различными типами кинетических зависимостей — экспоненциальной, степенной, S-образной и т. д. Из выражения (2) в зависимости от вида функции  $\varphi(t)$  можно получить аналитическую функцию, соответствующую каждому типу кинетических кривых опухолевого роста.

Практически все известные экспериментальные опухоли на начальной стадии растут по экспоненциальному закону. На рис. 1, а в безразмерных координатах

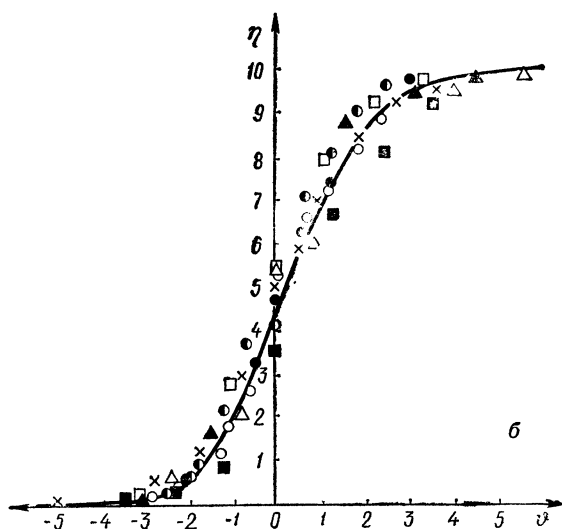
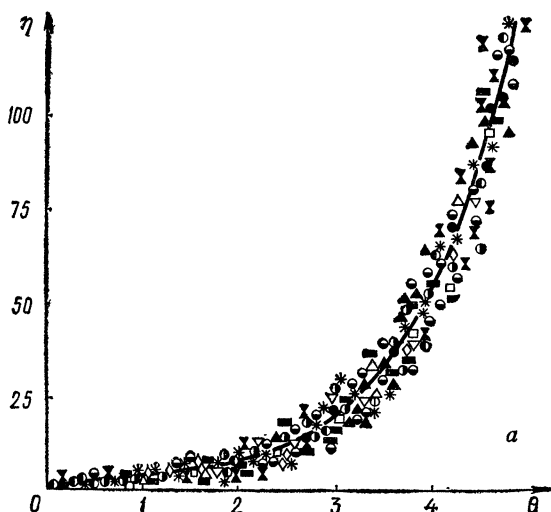


Рис. 1: *a* — обобщенная кинетическая кривая развития 13 экспоненциально растущих экспериментальных опухолей;  
*б* — обобщенная S-образная кинетическая кривая развития опухолей по автокаталитическому закону первого порядка

(здесь  $\eta = \Phi/\Phi_0$ ,  $\Phi_0$  соответствует значению  $\Phi$  в момент времени, принятый за начало отсчета,  $n$  — число удвоений) приведены данные о кинетике развития 13 перевиваемых опухолей разного происхождения и локализации.

По мере развития опухолей влияние различных факторов может приводить к отклонению от экспоненциальной зависимости. Во многих случаях скорость роста сначала возрастает, достигает максимального значения (перегиб на кривой), затем рост опухоли затормаживается. Величина  $\Phi$  при этом асимптотически приближается к предельному значению  $\Phi_\infty$ . Кинетические кривые имеют в этих случаях S-образный характер и, в зависимости от положения точки перегиба, описываются уравнением автокатализа (логистической функцией) (3) или уравнением Гомпертца (4):

$$\Phi = \frac{\Phi_\infty}{1 + ae^{-bt}}, \quad (3)$$

$$\Phi = \Phi_\infty e^{-\frac{A}{\alpha}} e^{-\alpha t}, \quad (4)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $A$  и  $\alpha$  — соответствующие константы.

На рис. 1, б показана построенная в обобщенных координатах кинетическая кривая, соответствующая автокаталитическому росту пяти экспериментальных опухолей.

Современной клинической онкологии также необходимо знать закономерности роста опухолей и количественно характеризовать их регрессию в результате эффективных терапевтических воздействий. Для установления этих закономерностей нужно располагать данными об изменении размеров опухоли через определенные промежутки времени. Опухоли человека при отсутствии лечения также растут по экспоненциальному закону. Само собой разумеется, что данные о росте опухоли получаются лишь в исключительных случаях, так как при обнаружении опухоли, естественно, принимаются экстренные меры к лечению.

Кинетические исследования позволяют вывести количественные критерии оценки эффективности терапевтических воздействий. В экспериментальной онкологии для этой цели используются различные критерии, основанные на знании и сравнении кинетических параметров роста опухолей в опыте и в контроле.

В общем случае при действии химиотерапевтического препарата форма кинетической кривой может изменяться. При этом объективное сравнение кинетических кривых возможно, если использовать в качестве количественной характеристики процесса среднюю удельную скорость.

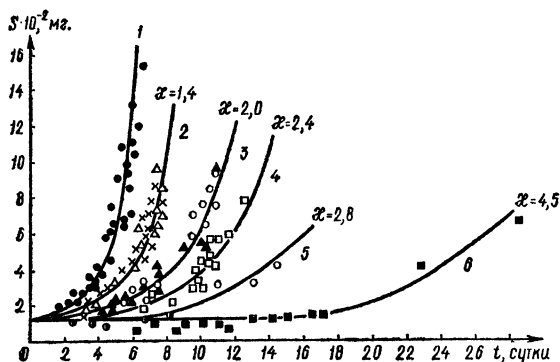


Рис. 2. Кинетические кривые торможения роста веса селезенки у мышей с лейкозом La: 1 — контроль; 2 — при введении ТioТЭФа; 3 — дибунола; 4 — ПАТ-1; 5 — НММ и 6 — дизана

Полученная из выражения (2) средняя удельная скорость  $\bar{\varphi}$  в интервале времени  $(t_1, t_2)$  зависит только от значений величины  $\Phi$  в начале и конце этого интервала. Величина  $\bar{\varphi}(t_1, t_2)$  численно равна показателю некоторой «эквивалентной» экспоненты, которую можно провести через конечные точки кинетической кривой на рассматриваемом участке. Поэтому метод сравнения кинетических кривых, основанный на использовании средних удельных скоростей  $\bar{\varphi}$ , может быть назван методом «эквивалентных экспонент».

Для случаев, когда процесс и в контроле, и в опыте соответствует экспоненциальному закону, этот критерий имеет простой вид:

$$\chi = \frac{\varphi_c}{\varphi_e}, \quad (5)$$

где  $\varphi_c$  — значение удельной скорости для контрольной группы животных,  $\varphi_e$  — для животных, получающих лечение.

На рис. 2 показан пример торможения лейкоза La

мышей противоопухолевыми препаратами различного типа и величины соответствующих коэффициентов торможения  $\chi$ . Видно, что наиболее эффективным препаратом в данных опытах оказались производные нитрозо-мочевины (кривые 3, 4, 5, 6).

Выявленные таким образом эффективные препараты были рекомендованы для клинического изучения. Оказалось, что препарат «дибунол» (ионол — 2,6-дитретбутил—4-метилфенол) эффективен при раке мочевого пузыря и лучевых циститах человека. Препарат нитрозо-метилмочевина (НММ) рекомендован для клинического применения при лечении больных недифференцированным раком легкого и лимфогрануломатозом.

### **СВОБОДНЫЕ РАДИКАЛЫ И РАК**

В течение последних двух десятилетий разными исследователями высказывались соображения, что воздействия на организм физических и химических агентов могут рассматриваться с позиции образования в организме свободных радикалов, не свойственных ему в нормальном состоянии. Одним из наиболее очевидных факторов подобного рода является действие ионизирующей радиации и света. Воздействие проникающих излучений на живой организм, сводящееся в конечном счете к образованию свободных радикалов и атомов, способно вызывать лучевой рак и лейкоз. То же относится и к действию некоторых канцерогенных веществ, где канцерогенность связывается с образованием свободных радикалов.

В конце 50-х годов нами были высказаны соображения о возможности проявления биофизических сдвигов, связанных с изменениями содержания свободных радикалов в тканях при различных патологических состояниях (злокачественный рост, лучевое поражение, действие токсических веществ). В дальнейшем эта точка зрения была подтверждена экспериментально.

Парамагнитные частицы — свободные радикалы и комплексы ионов переходных металлов в парамагнитной форме ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  и др.) — обнаружены в настоящее время во многих тканях животных и растительных организмов при их нормальном функционировании. Они регистрируются методом электронного парамагнитного ре-

зонанса (ЭПР). На рис. 3 показан характерный спектр ЭПР клеток печени. Каждый сигнал в спектре характеризуется значением так называемого  $g$ -фактора. Узкий сигнал ЭПР с  $g$ -фактором 2,004 соответствует свободным радикалам семихинонного типа, наблюдающимся

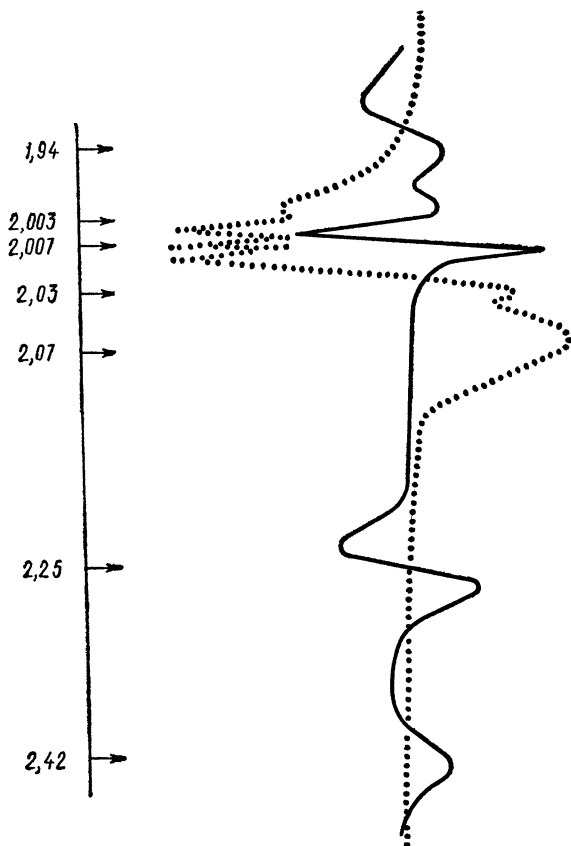


Рис. 3. Спектр ЭПР замороженной ткани печени крыс (сплошная линия) и опухоли печени (пунктир)

во многих других органах и тканях. Сигнал с  $g=1,94$  связан с комплексами железа митохондрий и серосодержащих соединений. Гемовое железо цитохрома Р-450 в микросомах дает сигнал с  $g=1,91$ , 2,25 и 2,42. Компонента с  $g=2,25$  наиболее интенсивна. Может наблюдать



ся также сигнал с  $g=1,97$ , обусловленный соединениями молибдена.

Можно было ожидать, что при патологических процессах в организме содержание свободных радикалов и других парамагнитных центров будет отличаться от нормы. Кроме того, могут появляться сигналы ЭПР, не свойственные организму в норме. Действительно, при многих патологических процессах, таких, как лучевое поражение, рак, вирусные заболевания, стрессовые воздействия на организм (гипоксия, гипроксия и др.), на некоторой стадии возрастает содержание свободных радикалов (сигнал ЭПР с  $g=2,004$ ). Рис. 3 показывает, насколько отличается спектр ЭПР нормальных клеток печени от спектра опухолевых клеток.

Предположение об интенсификации (стимулировании) свободнорадикальных процессов при развитии опухолей было подтверждено прямыми опытами в 1966 г. До этого времени попытки применить метод ЭПР в онкологии приводили к противоречивым результатам. Кинетический подход позволил установить, что изменение содержания свободных радикалов в ткани опухоли в процессе ее роста носит экстремальный характер. Впервые это было показано на примере лейкоза La у мышей.

В селезенке мышей на начальных стадиях развития лейкоза La наблюдалось увеличение содержания свободных радикалов, достигавшее максимума примерно к 4-м суткам. Это изменение обнаруживалось раньше появления других признаков лейкоза (увеличение веса селезенки, числа лейкоцитов и гемоцитобластов в периферической крови и в костном мозге). Максимум на кинетической кривой содержания радикалов совпадал с началом регистрируемых изменений в весе селезенки. На 5—6-е сутки начиналось уменьшение количества радикалов, которое к моменту гибели животных (7—8-е сутки) падало ниже нормы.

В настоящее время в советских и зарубежных лабораториях методами ЭПР и привитой сополимеризации в кинетическом аспекте изучено около 20 типов экспериментальных опухолей. Во всех случаях характер изменения концентрации свободных радикалов в опухолевой ткани подобен описанному выше. Наличие этого биофизического сдвига навело на мысль о возможности использовать его для целей ранней диагностики

рака. Однако эта идея пока не получила практической реализации.

Изучение содержания свободных радикалов в лейкоцитах крови при лейкозах и в опухолевых тканях при развитии рака человека показало, что экстремальный характер изменения концентрации радикалов имеет место и в этих случаях.

Прогрессирующее течение лейкозов характеризуется увеличением содержания свободных радикалов в лейкоцитах до момента, соответствующего началу быстрого нарастания в организме дистрофических изменений. В этот период количество радикалов в лейкоцитах начинает быстро уменьшаться. Можно предположить, что рост концентрации свободных радикалов свидетельствует об увеличении содержания в крови лейкозно-измененных клеток, т. е. характеризует лейкозную трансформацию кроветворения.

Уровень свободных радикалов у больных миелолейкозом в максимуме превышает нормальный уровень в среднем в 2 раза, у больных лимфолейкозом — в 4 раза, что может иметь значение для ранней диагностики лейкозов.

При химиотерапии содержание свободных радикалов в лейкоцитах снижается. Однако несмотря на наступление состояния клинко-гематологической ремиссии, уровень радикалов в лейкоцитах в большинстве случаев остается выше значения, характерного для здоровых клеток. По-видимому, это связано с сохранением в периферической крови некоторого количества лейкозно-измененных клеток.

Снижение уровня свободных радикалов в лейкоцитах при химиотерапии наблюдается раньше, чем уменьшение общего числа лейкоцитов в периферической крови. Можно думать, что изучение содержания свободных радикалов может также стать одним из методов контроля за развитием заболевания и ходом его лечения.

Таким образом, характер изменения содержания свободных радикалов при развитии экспериментальных опухолевых процессов и при раке и лейкозах человека является достаточно общим.

На рис. 4 приведена обобщенная экспоненциальная кинетическая кривая (а) роста относительных размеров различных опухолей животных как функции числа удвоений размеров этих опухолей. Экспериментальные точ-

ки вплоть до пяти удвоений включительно группируются вблизи теоретической кривой  $\eta = 2^n$ . На более глубоких стадиях опухолевого процесса имеет место переход к фазе линейного роста. Этот результат не зависит от того, какая величина выбрана в качестве показателя

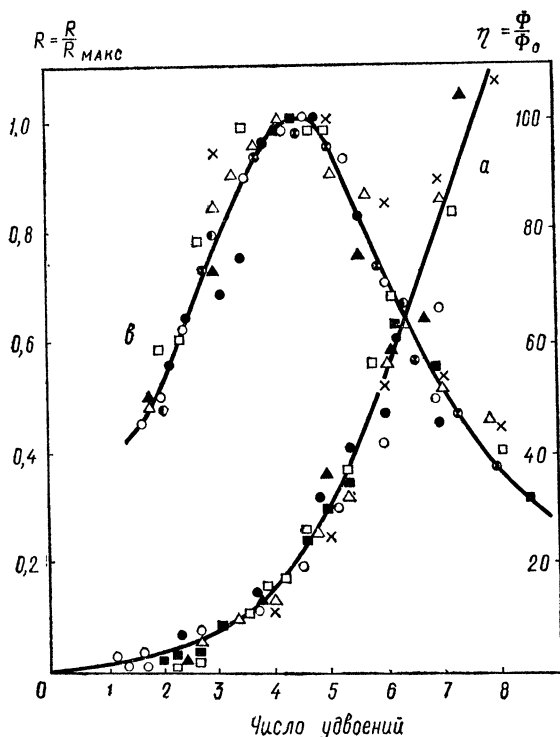


Рис. 4. Обобщенные кинетические кривые роста относительных размеров экспериментальных опухолей  $\eta = \frac{\Phi}{\Phi_0}$  (а) и относительного содержания свободных радикалов в опухолевых тканях  $\frac{R}{R_{\max}}$  (б) в зависимости от числа удвоений размеров опухолей

развития опухолей (вес или объем опухоли, объем асцита, число опухолевых клеток).

Кинетическая кривая изменения содержания свободных радикалов (б), имеющая максимум вблизи начала области наибольшей скорости развития опухолевого про-

цесса и спадающая затем ниже уровня, соответствующего нормальным тканям, отражает явление биофизического сдвига, характерного для злокачественного роста. Аналогичный биофизический сдвиг наблюдается не только при развитии перевиваемых опухолей, но также при спонтанном раке молочной железы мышей и при вирусном канцерогенезе.

Так, например, на культуру клеток эмбрионов крыс (фибробластов) действовали тремя типами вирусов — аденовирусами 12, 6 и 3. Вирус типа 12 обладает сильным онкогенным действием и вызывает злокачественную трансформацию клеток через 18—20 дней. Вирус типа 6 обладает слабоонкогенным, а типа 3 — инфекционным действием. Наблюдалась прямая зависимость между степенью онкогенности вирусов и их способностью активировать свободнорадикальные процессы в культуре клеток. При действии вируса типа 12 концентрация свободных радикалов в них достигала максимума на 4—5-е сутки после начала опыта и превышала норму в 3 раза, при действии вируса типа 6 — в 1, 5 раза, при действии вируса 3 почти не отличалась от нормальных значений.

Свободнорадикальные сдвиги обнаружены также при кинетическом изучении парамагнитных свойств тканей животных в процессе химического канцерогенеза. Так, в печени крыс в процессе малигнизации под действием диэтилнитрозоamina (ДЭНА) имеют место характерные стадийные изменения в содержании свободных радикалов. Практически сразу же после введения канцерогена наблюдается закономерное снижение содержания радикалов по сравнению с количеством их, характерным для нормы. Затем их концентрация возрастает. Первый максимум наблюдается примерно через месяц после начала опыта. В этот период еще отсутствуют какие-либо регистрируемые морфологические признаки малигнизации. В дальнейшем наблюдается их уменьшение почти до нормы, а затем — период длительного повышения содержания свободных радикалов, которое достигает максимума около 110 суток. Этот период гистологически соответствует началу формирования опухоли. Максимальные значения концентрации свободных радикалов обнаружены в сравнительно небольших опухолевых узелках. По мере дальнейшего формирования опухолей концентрация свободных радикалов снижается до значений ниже нормы, что находится в полном со-

ответствии с приведенными выше данными о биофизических сдвигах свободнорадикального характера на начальных стадиях опухолевого роста.

Аналогичные изменения наблюдаются при канцерогенезе под действием некоторых других химических веществ. Результаты большого числа экспериментов показали, что кинетические кривые изменения концентрации радикалов в тканях и клетках в процессе вирусного, химического и спонтанного канцерогенеза имеют много общих черт, несмотря на различную природу вызывающих этот процесс агентов.

Наряду с изменениями содержания свободных радикалов (сигнал ЭПР с  $g=2,004$ ) в процессе канцерогенеза наблюдается увеличение интенсивности сигнала с  $g=2,25$ . Источником этого сигнала является цитохром Р-450. По-видимому, увеличение содержания цитохрома Р-450 в печени связано с действием канцерогенов как индукторов синтеза этого фермента.

Из приведенных выше данных следовало, что малотоксичные ингибиторы, тормозящие развитие радикальных процессов, могут оказаться эффективными антиканцерогенными средствами. Действительно, опыты, выполненные в 1967 г. в нашей лаборатории, показали, что дибунол обладает эффективным антиканцерогенным действием. Опухоли печени крыс в этих опытах были вызваны путем включения в рацион канцерогена ДАБ. При действии ДАБ в течение 90 дней опухоли возникали у 90% животных. В случае же добавки в пищу, одновременно с канцерогеном, 0,3% по весу ионала опухоли не развивались даже после 150 дней действия ДАБ. Предопухолевые изменения в печени животных полностью отсутствовали.

В дальнейшем антиканцерогенное действие ингибиторов радикальных процессов было подтверждено в ряде работ другими авторами. Так, американскими исследователями Уотенбергом в 1972 г. было изучено антиканцерогенное действие ионола, бутилоксианизола и этоксиквина при развитии канцерогенеза под влиянием бензпирена и 7, 12-диметилбензантрацена (ДМБА). Оказалось, что фенольные антиоксиданты тормозят развитие опухолей преджелудка мышей и молочной железы крыс (уменьшают число животных с опухолями и число опухолей у одного животного). Аналогичное действие бутилоксианизола наблюдалось в случае рака легких у

мышей, возникающего при введении в пищу ДМБА, бензпирена, уретана, диэтилнитрозоамина в острых опытах и при хроническом введении канцерогенов.

В 1973 г. Шамбергер обнаружил антиканцерогенное действие соединений, содержащих селен. В работах на-

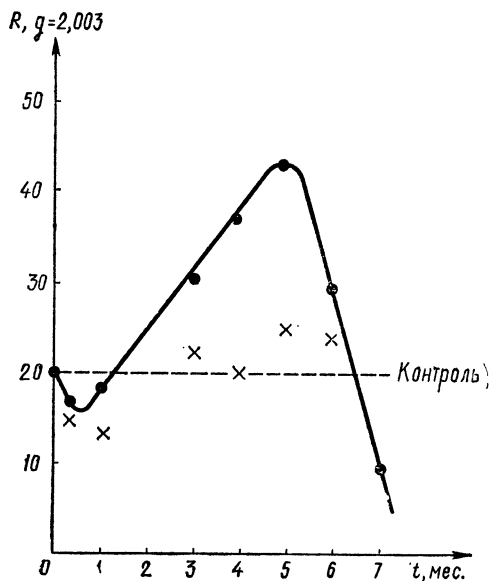


Рис. 5. Влияние ионла на процесс канцерогенеза: кружки — введение в пищу животных канцерогена диметиламиноазобензола, крестики — совместное введение канцерогена и ионла

ших сотрудников было показано, что эти соединения обладают свойствами антиоксидантов.

Были изучены молекулярные аспекты этой весьма важной проблемы. Обнаружено, что введение ионла совместно с канцерогеном (ДАБ) снимает эффект увеличения концентрации свободных радикалов на стадии формирования опухоли, сохраняя ее на уровне, близком к соответствующему уровню в нормальной ткани печени (рис. 5). Опухоли у животных, получивших дибунол, не возникают в течение более 12 месяцев наблюдения.

Одновременно в этих опытах наблюдали за изменением содержания в клетках печени цитохрома — Р-450.

Под действием одного ДАБ уровень цитохрома Р-450 увеличивался в 2,5 раза, в то время как при одновременном использовании ДАБ и ингибитора он возрастал почти в 6 раз и удерживался на этом уровне на протяжении длительного времени. Очевидно, дибунол является активным индуктором синтеза цитохрома Р-450 в микросомах печени и может приводить к нейтрализации канцерогенеза.

### **БИОФИЗИЧЕСКИЕ СДВИГИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Биофизические сдвиги обнаружены не только при изучении канцерогенеза и опухолевого роста, но и при действии на живые организмы токсичных химических веществ, загрязняющих окружающую среду.

Так, например, характерные изменения содержания радикалов в ткани печени были обнаружены при действии на животных неканцерогенных токсичных веществ, например, бензола, ДДТ, окисленного подсолнечного масла (рис. 6). Очевидно, наблюдаемый максимум связан с неспецифической ответной реакцией организма на введение токсичного соединения. На этом же рисунке показано, какие глубокие биофизические сдвиги производят бензол и ДДТ в мозге животных: содержание свободных радикалов в клетках мозга резко падает.

Добавка в пищу животных окисленного рыбьего жира, содержащего перекиси и большое количество вторичных продуктов окисления, вызывает появление в печени животных нового сигнала ЭПР с  $g_{\text{ср}} = 2,03$ .

Введение животным в токсических или максимально переносимых дозах этилового спирта и ацетона вторичных продуктов окисления жира также вызывает появление в ткани печени крыс сигнала с  $g = 2,03$ .

Аналогичный сигнал появляется в печени при действии некоторых веществ в высокотоксичных дозах — фенола, децилксантогената и др. Его возникновение связано с образованием нитрозильных комплексов гемового и негемового железа.

Закономерные изменения парамагнитных свойств при действии токсичных веществ, загрязняющих водную сре-

ду (детергентов, солей тяжелых металлов, инсектицидов), обнаружены также при изучении растительных объектов — культуры клеток водоросли хлореллы и высших водных растений.

Эти первые результаты представляют началом нового направления исследований молекулярно-биологических основ воздействия химических факторов окружающей среды на живые организмы.

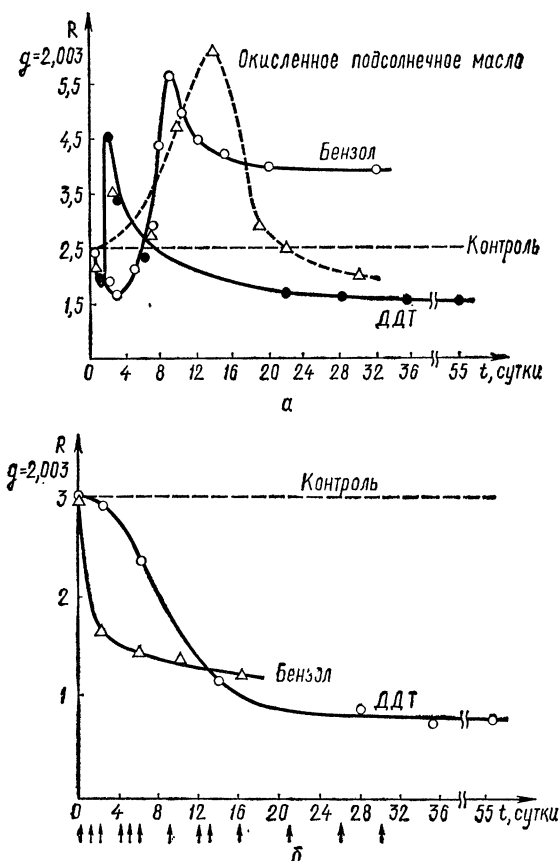


Рис. 6. Изменение концентрации свободных радикалов в печени (а) и мозге (б) крыс при добавлении в пищу токсичных соединений



## **ЛУЧЕВОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ ВАЖНЫХ МАКРОМОЛЕКУЛ И ЗАЩИТА ОТ ЛУЧЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ**

Кинетический подход оказался весьма перспективным при изучении механизма повреждающего действия излучения на важные биологические макромолекулы — белки, липиды, ферменты, нуклеиновые кислоты. Большое внимание было уделено исследованиям изменения физико-химических свойств ДНК при действии ионизирующего излучения, ультрафиолетового света и др. Для изучения молекулярных механизмов повреждения нуклеиновых кислот использовались различные физические и химико-физические методы — инфракрасная спектроскопия, метод ЭПР в сочетании с методом спиновых меток, хемилюминесценция, электронная микроскопия и т. д.

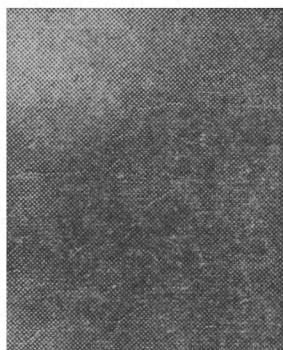
При действии на молекулы ДНК малых доз облучения обнаружены конформационные нарушения. При увеличении доз радиации появлялись одиночные и двойные разрывы молекул и различные химические изменения. При еще более высоких дозах длинные линейные молекулы превращались в короткие обрывки и клубки.

В соответствии с гипотезой о важной роли свободнорадикальных процессов в функционировании клетки и в развитии различных патологических состояний было высказано предположение, что воздействие ионизирующей радиации приводит к образованию свободнорадикальных состояний химических компонентов клетки, которые могут вызвать биохимические процессы, не свойственные живому организму в норме. Развитие свободнорадикальных реакций в организме должно приводить к уменьшению количества тканевых ингибиторов, что, в свою очередь, нарушает способность организма к правильной регуляции биохимических процессов. Подобное нарушение может быть одной из причин возникновения сдвигов, свойственных лучевой болезни.

Образование свободных радикалов при облучении как самих молекул ДНК, так и соединений, моделирующих отдельные фрагменты макромолекулы, было доказано экспериментально с помощью метода ЭПР. Получены кинетические кривые накопления радикалов ДНК при облучении замороженных водных растворов, установлен сложный механизм образования и дальней-



*a*



*б*

Рис. 7. Микрофотографии молекул ДНК: *a* — исходный препарат; *б* — молекулы, облученные дозой 60 кр; *в* — молекулы, облученные той же дозой в присутствии пропилгаллата



*в*

ших превращений радикалов в ДНК. Изучение спектров электронного парамагнитного резонанса ДНК, углеводов и азотистых оснований позволило сделать вывод, что при облучении образуются свободные радикалы. Продукты окисления этих радикалов превращаются в гидроперекиси, которые могут распадаться с образованием новых радикалов, инициируя, таким образом, дальнейшее развитие нежелательных процессов повреждения.

Процесс распада молекул гидроперекисей ДНК сопровождается свечением — хемилюминесценцией, которая обычно возникает в таких реакциях при рекомбинации радикалов. Из кинетического анализа следует, что

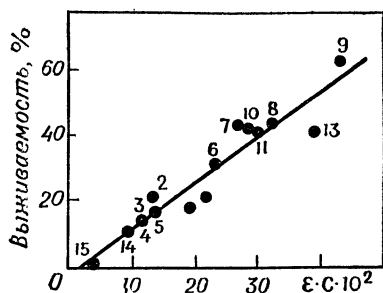


Рис. 8. Связь эффекта защиты животных, облученных смертельной дозой радиации, и антирадикальной активностью ингибиторов свободнорадикальных реакций

интенсивность хемилюминесценции линейно зависит от концентрации гидроперекисей ДНК. Такая же зависимость наблюдается и на опыте.

В связи с активной ролью свободных радикалов в лучевом повреждении молекул ДНК было предложено в этом случае использовать в качестве защитных средств ингибиторы радикальных реакций. Наиболее эффективными радиопротекторами оказались производные галловой кислоты, 3-оксипиридина и фенилэтиламина. При добавлении этих соединений в раствор ДНК перед облучением эффект защиты достигает 80—90%. На рис. 7 приведены микрофотографии молекул нативной ДНК, облученной дозой 60 кр в отсутствие и в присутствии пропилгаллата. Видно, что пропилгаллат позволяет сохранить молекулы ДНК больших размеров, близких к исходному, хотя и частично деформированные.

Установлены некоторые аспекты молекулярного механизма действия ингибиторов как радиопротекторов. При добавлении до облучения они могут взаимодействовать с первичными радикалами, возникающими при облучении, предотвращая развитие процесса повреждения. При введении после облучения они могут реагировать с радикалами, образующимися при распаде вторичных продуктов, например гидроперекисей, и ингибировать дальнейшие реакции.

Ингибиторы-антиоксиданты оказались эффективными радиопротекторами и в опытах с животными (мышами). С их помощью удалось обеспечить выживаемость до 60% мышей, облученных смертельными дозами (рис. 8). При этом чем выше антирадикальная активность ингибитора  $\epsilon\epsilon$ , тем выше процент оставшихся в живых мышей.

Хотя эти результаты и были получены уже около двух десятилетий тому назад, возможности эффективного применения в радиобиологии ингибиторов радиальных процессов еще далеко не исчерпаны.

### **КИНЕТИКА И ГЕРОНТОЛОГИЯ**

Вне всякого сомнения, старение человека представляет собой наиболее драматическую закономерность среди всех биологических явлений природы. Старение живых организмов представляет собой комплексный многофакторный биологический процесс. Как и другие актуальные проблемы современной биологии, он становится предметом изучения для всех фундаментальных наук — физики, химии, математики, биологии. Каждая из этих наук вносит в исследования старения свои специфические методы, представления и стиль научного творчества.

Естественно, что кинетика как наука о законах развития во времени и механизмах всех процессов в природе должна иметь дело с количественными динамическими характеристиками и устанавливать молекулярно-биологические механизмы старения.

Для измерения скорости старения в экспериментальной геронтологии нет единого метода. Для этих целей пользуются статистическими показателями, такими, как средняя и максимальная продолжительность жизни, выживаемость и т. д.

Кривые выживаемости животных в геронтологических экспериментах имеют обычно S-образный характер. Это означает, что скорость гибели меняется во времени. Для описания кривых такого типа используют эмпирические зависимости типа автокаталитической или формулы Гомпертца. Постоянные, входящие в эти формулы, не всегда имеют явный физический и биологический смысл.

Наиболее удобным для математического анализа геронтологических данных является метод пробит-трансформации, который позволяет представить кривую выживаемости в виде прямой линии, отсекающей на оси времени отрезок, равный возрасту животных в тот момент, когда их осталось в живых 50%. Из наклона прямой вычисляется средняя скорость гибели, т. е. метод

дает величины, имеющие вполне определенный биологический смысл.

Повреждения в живом организме в процессе его развития возникают в основном при взаимодействии с окружающей средой. Он подвергается действию как физических факторов (облучение, изменение температуры и пр.), так и химических (канцерогены, химические мутагены, токсические вещества и пр.). При этом в организме в ряде случаев возникает некоторое количество свободных радикалов, легко химически реагирующих со всеми молекулами биосубстрата. Естественно предположить, что радикалы являются одним из наиболее активных агентов, способствующих старению.

Сравнительное изучение свободнорадикальных процессов в различных органах молодых (4 месяца) и старых (2 года) крыс показало, что в печени и крови старых животных количество радикалов, определенное методом ЭПР в замороженных тканях, соответственно на 90 и 60% выше, чем у молодых животных.

При старении мышей от 2 до 18 месяцев наблюдается монотонное повышение содержания радикалов в печени (примерно на 15%). Данные, свидетельствующие об участии свободных радикалов в процессах старения и в развитии патологических процессов, позволили высказать предположение, что ингибиторы или антиоксиданты препятствующие протеканию нежелательных или вредных свободнорадикальных реакций, будут являться геропротекторами, т. е. оказывать профилактическое и терапевтическое действие и увеличивать время жизни организмов. Оказалось, что при введении в пищу мышей ингибитора радикальных реакций длительность их жизни увеличивается по сравнению с контрольными животными.

В качестве геропротектора был использован малотоксичный антиоксидант гетероароматического ряда—хлоргидрат 2-этил—6-метил—3-оксипиридина. Животные подопытных групп, получавшие это соединение ежедневно с питьевой водой, прожили на 10 месяцев больше контрольных (рис. 9). Установлено статистически достоверное увеличение средней и максимальной продолжительности жизни. Это позволяет надеяться, что малотоксичные и водорастворимые алкилпроизводные 3-оксипиридина, представляющие собой структурные аналоги витамина В<sub>6</sub>, могут быть перспективными не только

для дальнейшего экспериментального изучения, но, возможно, и для клинического использования.

Кинетическое изучение влияния хлоргидрата 2-этил—6-метил—3-оксипиридина на продолжительность жизни животных (мышей) разных линий показало, что характер действия геропротектора может быть различным. Это отражается на характере изменения кинетических кривых выживаемости.

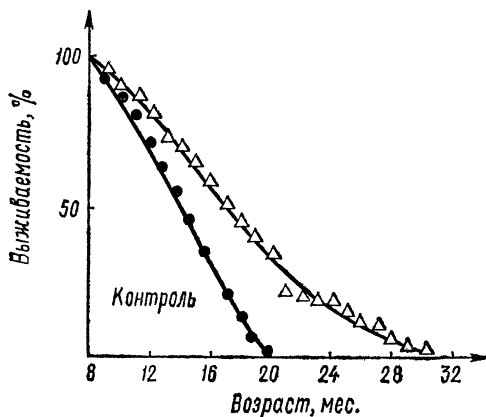


Рис. 9. Продление жизни животных при введении в пищу геропротектора хлоргидрата 2-этил—6-метил—3-оксипиридина: кружки — контроль, треугольники — опыт

В первом случае (рис. 10, кривые I) длительность жизни всей группы животных возрастает на равную величину. Это приводит к параллельному перемещению кривой выживаемости вправо по оси времени, к увеличению средней и максимальной продолжительности жизни.

Во втором случае геропротектор уменьшает скорость гибели животных. Это наблюдается для долгоживущих линий. Кинетическая кривая выживаемости при этом показывает, что старение начинается в тот же момент времени, но протекает медленнее (рис. 10, кривые II).

В случае короткоживущих мышей наблюдается удлинение «латентного периода» на кривой выживаемости, т. е. старение животных начинается значительно позже.

Максимальная продолжительность жизни при этом не меняется (рис. 10, кривые *III*).

В последнее время внимание к проблемам геронтологии во всем мире заметно возросло. Это и не удивительно. В современном мире, перенасыщенном информацией и событиями, всем стало казаться, что бег времени необычайно убыстрился. Человек же в этих условиях перестал чувствовать возраст, и только демографы периодически напоминают нам о существовании возрастных групп населения и таких понятий, как пожилые и старые люди.

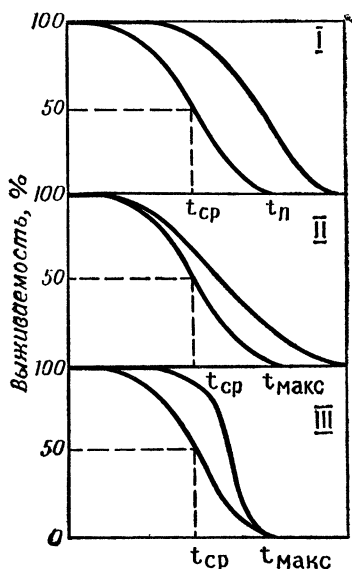


Рис. 10. Различные типы замедления старения:

*I* — длительность жизни всех животных увеличивается одинаково;  
*II* — уменьшается скорость гибели долгоживущих животных;  
*III* — увеличивается «латентный» период старения короткоживущих животных

Вера человека в возможность науки безгранична, и где-то в подсознании каждого таится мысль о том, что коль скоро растет в нашей стране от десятилетия к десятилетию средняя продолжительность жизни, то рост этот будет продолжаться неограниченно. Действительно, в 20-х годах люди у нас жили в среднем 44,3 года, в конце 50-х годов — 68 лет, а в настоящее время — уже свыше 70 лет.

И вместе с тем законы биологической науки строго и объективно свидетельствуют, что это увеличение возраста возможно лишь до некоторой установленной природой в процессе эволюции границы, характерной для

человека как биологического вида. Большинство ученых считают верхней видовой границей возраст 100—110 лет, хотя крупнейшие наши ученые И. И. Мечников и А. А. Богомолец говорили о возможности для человека жить до 150 лет.

Однако ученые не оставляют мысли о том, чтобы не только увеличить среднюю продолжительность жизни, но и выйти за видовую границу наступления старости благодаря применению различных химических препаратов и воздействию физических факторов. Этими проблемами и занимается современная геронтология.

Несомненно, что в результате эффективной координации работ ученых разных специальностей можно ожидать существенного прогресса в области геронтологии и скорейшего решения проблемы увеличения продолжительности активной жизни человека.

---



## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| От редакции . . . . .   | 3  |
| Д. Г. Жимерин, член-корреспондент АН СССР. Научно-технический прогресс и повышение эффективности производства . . . . . | 4  |
| Н. Г. Басов, академик. Перспективы развития квантовой электроники . . . . .   | 21 |
| Н. М. Эмануэль, академик. Химическая физика и некоторые проблемы биологии . . . . .                                     | 41 |

**Составитель Валентина Ивановна Доставалова**  
**ФИЗИКА И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС**  
Сборник

Редактор К. А. Кутузова  
Гл. отраслевой редактор И. Г. Вирко  
Мл. редактор Т. И. Полякова  
Обложка Г. М. Басырова  
Худож. редактор М. А. Гусева  
Техн. редактор Т. В. Пичугина  
Корректор Р. С. Колокольчикова

Т — 16006. Индекс заказа 75010. Сдано в набор 8/VIII-77 г.  
Подписано к печати 23/IX-77 г. Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага типографская № 2. Бум. л. 1. Печ. л. 2. Усл. печ. л. 3,36. Уч.-изд. л. 3,14. Тираж 49790 экз. Издательство «Знание». 101835. Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 1401. Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.  
Цена 11 коп.

