

**1917**  **1977**

**К 60-ЛЕТИЮ  
ВЕЛИКОЙ ОКТЯБРЬСКОЙ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ**

УДК 541.64:53

**УСПЕХИ ФИЗИКИ ПОЛИМЕРОВ**

За 60 лет, прошедшие после Великой Октябрьской социалистической революции, советский народ под руководством Коммунистической партии Советского Союза построил развитое социалистическое общество, коренным образом преобразовал общественные отношения.

XXV съезд КПСС разработал великую созидательную программу строительства коммунистического общества, воплощение в жизнь которой — дело всего советского народа.

Генеральный секретарь ЦК КПСС, Председатель Президиума Верховного Совета СССР Л. И. Брежнев подчеркнул, что «первоочередной задачей остается ускорение научно-технического прогресса» (материалы XXV съезда КПСС, Политиздат 1976 г., стр. 47). Создание материально-технической базы коммунизма требует разработки фундаментальных проблем науки и быстрейшей передачи ее достижений промышленности и сельскому хозяйству.

Советские химики и физики, работающие в области науки о полимерах, постоянно вносят свой вклад в труд всего нашего народа. Физика полимеров всегда была тесно связана с достижениями смежных наук и оказывала вместе с ними воздействие на прогресс многих отраслей народного хозяйства.

Рассмотрим основные итоги развития физики полимеров в Советском Союзе за 60 лет существования Советской власти.

Крупным достижением советской науки и промышленности явилось широкое промышленное производство синтетического каучука по способу С. В. Лебедева (1931—1932 гг.). При этом было обнаружено существенное различие в механических свойствах синтетического натрий-бутадиенового и натурального каучуков. Это различие, особенно ярко проявившееся при применении синтетического каучука в шинах и амортизаторах, привело к необходимости постановки исследований основных закономерностей механического поведения каучуков и резин при разных температурах в условиях статических и динамических силовых воздействий, а также теплообразования при периодических нагрузлениях различных частот.

Применение полимеров (резина, эbonит, полистирол) в качестве электроизоляционных материалов уже в начале 30-х годов обнаружило существенное влияние их механических свойств на электрические характеристики изделия, содержащего твердые полимерные диэлектрики. Особенно неожиданными оказались сильные зависимости свойств от температуры и длительности (или частоты) внешних механических и электрических воз-

действий. Обусловленная этими релаксационными явлениями нестабильность механических и электрических характеристик изделий также требовала постановки соответствующих физических исследований. Изучение температурной зависимости механических свойств было необходимым и для рационального применения полимеров, в частности полиметилметакрилата в качестве органических стекол.

Начавшееся в 1931 г. в СССР производство фото- и кинопленки привело к обнаружению нестабильности ее размеров, снижавшей качество пленки как вследствие искажения фотографического изображения, так и вследствие возникавшего при этом нарушения перфорации. Высокая чувствительность этих эффектов к температуре и длительности хранения пленки также привела к развитию исследований механических свойств основы пленки (нитроцеллюлозы) и влияния на них условий формования пленки.

В эти же годы производство искусственного волокна (вискозы) столкнулось со значительной усадкой волокна и изменением его свойств с течением времени, резко увеличивающимся с ростом температуры и влажности. Необходимость стабилизации длины и механических свойств волокна потребовали постановки физических исследований как структуры и свойств самого волокна, так и влияния на них условий волокнообразования.

Развитие в первой и второй пятилетках ряда других областей народного хозяйства, в которых применялись природные полимерные материалы, например кожевенной и обувной промышленности, требовало создания полноценных заменителей, и прежде всего кожи. Это вызвало постановку исследований, направленных на изучение структуры и механических свойств коллагена – основного вещества натуральной кожи, а также различных природных волокнистых материалов, натурального и синтетических каучуков, которые в то время рассматривались как возможные исходные материалы для заменителей кожи.

Все это вместе взятое привело в СССР уже в середине 30-х годов к началу систематических структурных и феноменологических физических исследований полимеров, прежде всего текучести и термодинамических свойств растворов полимеров, механических и электрических свойств полимерных тел. Таким образом, возникновение и развитие физики полимеров в Советском Союзе неразрывно связано с успехами химии высокомолекулярных соединений и созданием промышленных производств изделий из синтетических каучуков, полимерных электроизоляционных материалов, органического стекла, искусственного волокна, искусственной кожи, фото- и кинопленки.

На самом начальном этапе развития физических исследований полимеров существенное влияние на них оказывала коллоидная химия. В то время предполагали, что полимеры являются коллоидными системами и поэтому микрогетерогенны и термодинамически неравновесны. Соответственно все исследования были направлены в сторону изучения строения и размеров мицелл, поверхностных явлений и других коллоидно-химических вопросов. С этой же позиции изучалось и влияние структуры на механические свойства. Такими наиболее характерными в те годы были работы С. И. Соколова с сотр. [1], изучавшими строение, механические и оптические релаксационные свойства каучука, коллагена и производных целлюлозы.

Первые фундаментальные физические исследования полимеров были начаты в Советском Союзе почти одновременно в Ленинградском физико-техническом институте АН СССР (ныне им. А. Ф. Иоффе) П. П. Кобеко, А. П. Александровым, Я. И. Френкелем, С. Н. Журковым, Е. В. Кувшинским, Г. П. Михайловым, М. О. Корнфельдом, Ю. С. Лазуркиным и в Физико-химическом институте им. Л. Я. Карпова В. А. Каргиным, Г. Л. Слонимским, Д. И. Лейпунской, В. Л. Карповым, А. А. Тагер, Т. И. Соголо-  
2652

вой, П. И. Зубовым. В области физики эластомеров фундаментальные исследования проводились в МИТХТ им. М. В. Ломоносова Б. А. Догадиным, Г. М. Бартеневым, В. Е. Гулем и другими. Все эти работы с самого начала были тесно связаны с рядом отраслевых институтов и производств, прежде всего со Всесоюзным институтом искусственного волокна (З. А. Роговин, С. П. Папков, Н. В. Михайлов), Научно-исследовательским кинофотоинститутом (П. В. Козлов), НИИ шинной промышленности (В. Ф. Евстратов), Всесоюзным научно-исследовательским институтом синтетического каучука, Охтинским химкомбинатом и др. Следует заметить, что эти исследования опередили аналогичные зарубежные работы.

Начальный этап развития физики полимеров в СССР характеризуется тем, что в центре внимания исследователей были, прежде всего, механические свойства полимеров и свойства растворов полимеров.

Интерес к механическим свойствам определялся помимо необходимости их стабилизации и задач переработки полимеров в изделия также тем, что именно этими свойствами полимеры выгодно отличаются от своих низкомолекулярных аналогов того же химического состава и строения; изучение свойств концентрированных растворов полимеров диктовалось развитием технологии формования волокон и пленок из растворов полимеров, а изучение свойств разбавленных растворов полимеров имело своей целью определение важнейших характеристик отдельных макромолекул. Одновременно велись также исследования диэлектрических и оптических свойств полимеров, получивших значительное развитие лишь в последующие годы.

Естественно, что сразу же возникла и задача исследования структуры полимерных тел, ее изменений при различных воздействиях и установления связи между структурными характеристиками и макроскопическими свойствами. Следует подчеркнуть, что уже в самом начале исследований В. А. Каргин выдвинул фундаментальную идею о принципиальном значении структурного подхода для всех областей физики полимеров и развивал ее на протяжении всей своей жизни. Соединение исследований структуры и механических свойств является крупным вкладом советской физики полимеров в мировую науку. Однако существовавшие в то время прямые методы исследования структуры полимеров (рентгеноструктурный анализ, электронография, световая микроскопия) были недостаточно эффективны и не приводили к крупным новым результатам, хотя и обнаруживали особенности дифракции на аморфных полимерных объектах. В то же время изучение механических и других физических свойств аморфных, а позднее и кристаллических полимеров различного химического строения (особенно релаксационных свойств, кристаллизации) накопило многочисленные и надежные косвенные данные, указывавшие на принципиальные особенности и сложность физической структуры полимерных тел. Поэтому электронная микроскопия с самого начала ее возникновения была активно использована в СССР для изучения структуры полимеров и позволила обнаружить прямым путем исключительное богатство форм физической (надмолекулярной) структуры полимерных тел. В дальнейшем применение быстро развивающихся новых физических методов исследования структуры твердых и жидких тел привело к существенному расширению структурно-физических исследований полимерных тел, продолжающих развиваться и в настоящее время.

Создание основных представлений о строении макромолекул и о надмолекулярной структуре полимерных тел явилось надежным базисом для дальнейшего развития исследований диэлектрических и оптических свойств, а также для теплофизических исследований структурных превращений в полимерах. Естественно, что поведение полимерных тел и растворов полимеров в термодинамическом равновесии и в условиях его отсутствия явилось предметом исследований с точки зрения общей и статистической термодинамики, а также физической кинетики.

Развитие всесторонних структурно-физических исследований полимерных тел диктовалось также и прикладными задачами, решение которых требовало знания закономерностей растворения полимеров, смешения полимеров друг с другом, а также с наполнителями, пластификаторами и другими веществами. При этом, естественно, возникала потребность в развитии представлений о механизме растворения и о природе растворов и гелей полимеров, о механизмах пластификации и наполнения, о структуре и свойствах смесей полимеров, о когезии полимеров и об их адгезии к поверхностям различной природы, о механизмах разрушения полимерных тел и трения их о контратело и т. д. Все это, а также успехи химии высокомолекулярных соединений, выразившиеся в появлении все новых и новых классов полимерных веществ, весьма активизировало развитие физики полимеров, превратившейся к настоящему времени в раздел науки, тесно взаимосвязанный с общей физикой твердых и жидких тел, химией высокомолекулярных соединений и технологией многих производств. Нельзя не отметить, что появление и развитие современной физики биологических полимеров (белков и нукleinовых кислот) во многом обязано методам и идеям физики полимеров.

Перейдем теперь к изложению развития основных разделов физики полимеров, а именно: физики растворов полимеров, механики, электрофизики, оптики и теплофизики полимерных тел. Исследования структуры макромолекул и полимерных систем, связанные с изучением их свойств, представлялось целесообразным изложить в тех из упомянутых разделов, к которым они непосредственно относятся. Чисто структурные исследования рассмотрены в отдельном разделе. К сожалению, лимитированный объем статьи не позволяет сколько-нибудь детально изложить содержание даже важнейших физических исследований полимеров, поскольку физика полимеров за последние годы развивалась в СССР очень интенсивно и в разных направлениях. Поэтому во многих случаях пришлось ограничиться лишь ссылками на основные соответствующие работы.

### Физика растворов полимеров

На протяжении многих лет растворы полимеров рассматривались как растворы лиофильных коллоидов. Однако начатые в 30-е годы В. А. Каргинским, С. П. Папковым и З. А. Роговиным детальные исследования природы и свойств растворов полимеров, направленные на создание научных основ производства искусственного волокна и пленочных материалов, формуемых из растворов полимеров, привели к необходимости отказа от коллоидно-химических представлений о гетерогенном (мицеллярном) строении полимеров и их растворов и к разработке представлений о гомогенном (молекулярном) строении растворов полимеров.

Эти работы [2–6], которые явились в СССР началом физического направления исследований растворов полимеров, коренным образом изменили основную научную концепцию в этой области: если до того главной задачей являлось изучение кинетики распада коллоидного раствора полимера на фазы, то с новой точки зрения главной научной задачей исследования молекулярных растворов полимеров явилось изучение их термодинамических равновесий.

Термодинамические исследования растворов полимеров показали применимость к ним правила фаз Гиббса и известных для молекулярных растворов термодинамических закономерностей [2–8], но одновременно обнаружили и существенные различия в растворимости и в поведении молекулярных растворов высокомолекулярных и низкомолекулярных веществ. Эти различия сразу же были правильно связаны с большими размерами и цепным строением молекулы полимеров и таким образом был раскрыт физический механизм процесса растворения полимеров, проходящего в случае гибкоцепных макромолекул через стадию набухания.

Было обращено внимание на то, что энтропия смешения полимера с растворителем на два-три десятичных порядка величины превышает значения идеальной энтропии смешения двух компонентов [8–10], и дано правильное качественное объяснение этому, основанное на учете гибкости макромолекул. Полная количественная теория термодинамических свойств растворов полимеров была дана вскоре после этого Флори и Хаггинсом [11–14].

В последующие годы термодинамические исследования растворов полимеров развивались в СССР В. А. Каргиным, С. П. Папковым, А. А. Тагер и другими во все более широких масштабах и продолжаются до настоящего времени [15–24, 36, 76–78, 400–402].

Обнаружение молекулярного строения растворов полимеров сразу же привело к изучению характеристик отдельных макромолекул на основе исследования свойств разбавленных растворов полимеров, в которых полимерное вещество распадается до макромолекул. В Советском Союзе Б. А. Догадкиным [408], В. В. Коршаком, С. Р. Рафиковым, С. А. Павловой [37–40] в Москве, С. Е. Бреслером, С. Я. Френкелем, И. Я. Поддубным [41–46] в Ленинграде была начата и на протяжении многих лет проводилась систематическая разработка методов оценки средних молекулярных масс, молекулярно-массовых распределений (ММР), геометрических и конформационных параметров макромолекул термодинамическими (осмометрия, эбулиоскопия, криоскопия, седиментация и т. п.), вискозиметрическими, диффузионными и другими физическими методами.

Существенное развитие получили исследования разбавленных растворов полимеров с целью определения конформационных, оптических и гидродинамических свойств макромолекул различного строения. Начатое еще в 40-е годы последовательное изучение основных закономерностей и механизма двойного лучепреломления в текущих растворах полимеров, а также в растворах полимеров, помещенных в электрическое или магнитное поле, закономерностей рассеяния света, диффузии и седиментации в растворах полимеров, диэлектрических свойств привело В. Н. Цветкова и его сотрудников В. Е. Эскина, И. Н. Штенникова, Е. И. Рюмцева и других [47–56] к развитию молекулярной гидродинамики и оптики разбавленных растворов полимеров, к созданию новой ветви физики полимеров — молекулярной морфологии, а также к разработке ряда методов и высокочувствительных и точных приборов, позволяющих оценивать многие геометрические и физические параметры макромолекул. Это направление приобрело особенное значение в последнее десятилетие в связи с синтезом макромолекул различной жесткости, появлением макромолекул сложного строения (лестничного, звездного, гребнеобразного, блочного и т. п.), синтезом новых классов полизелектролитов.

Теоретические исследования в области статистической теории растворов полимеров были выполнены М. В. Волькенштейном, О. Б. Птицыным, Ю. Я. Готлибом, Т. М. Бирштейн [57–61], использовавшими в своих работах выдвинутые М. В. Волькенштейном представления о роли поворотной изомерии в конформационных превращениях макромолекул.

Развитию современных представлений о надмолекулярном строении растворов полимеров предшествовало большое число исследований, в которых растворы полимеров рассматривались с позиций колloidной химии, т. е. как системы, свойства которых определяются устойчивостью ассоциатов макромолекул (мицелл). Такими исследователями были, прежде всего, С. М. Липатов [406], С. А. Гликман [99].

В 1950 г. Е. В. Кувшинский [64] развел первую физическую фундаментальную теорию реологических свойств растворов полимеров и подтвердил ее основные выводы экспериментально.

В 1956 г. П. А. Ребиндер и Л. В. Иванова-Чумакова [68] провели систематические реологические исследования растворов полизобутилена

и впервые охарактеризовали механические свойства полимерных растворов во всем интервале концентраций.

В дальнейшем большой цикл реологических исследований растворов полимеров, на протяжении многих лет проводившихся Г. В. Виноградовым, А. А. Трапезниковым, А. А. Тагер, А. Я. Малкиным, В. Е. Древалем и другими, был направлен на изучение закономерностей течения растворов полимеров при различных концентрациях, температурах, напряжениях сдвига, скоростях деформации, а также влияния химического строения и физических характеристик макромолекул и природы растворителя на реологические свойства [23, 65–71].

Следует также заметить, что в СССР было выполнено много структурных и других физических исследований концентрированных растворов полимеров, направленных на раскрытие механизмов формования пленок и лакокрасочных покрытий из растворов, установление закономерностей пластификации полимеров, раскрытие природы kleящего действия полимерных kleев, определение свойств растворов полимеров в полимерах (смеси полимеров). Они привели к ряду важных теоретических и практических результатов, но целесообразнее рассмотреть их позже, в других разделах физики полимеров.

К растворам полимеров следует отнести и очень широкий круг полимерных гелей (студней), являющихся растворами полимеров, лишенными обычной текучести вследствие образования в растворе пространственной сетки физической или химической природы.

Предпринятые в этой области еще в начале 40-х годов В. А. Каргинным и П. И. Зубовым исследования привели к возникновению молекулярных представлений о структуре гелей [72–75]. В дальнейшем в Советском Союзе на протяжении многих лет С. П. Папковым, П. И. Зубовым, С. А. Гликманом и другими велись работы по исследованию физической структуры, механизма образования, механических и других физических свойств полимерных гелей различных классов [76–99, 403]. В результате этих работ были раскрыты различные механизмы гелеобразования, приводящие поликомпонентные растворы полимеров как к однофазным, так и к двух-(много-)фазным гелям, оценена стабильность гелей, их структурные и фазовые превращения. Полученные результаты широко используются в технологии искусственного и синтетического волокна, пленочных материалов, пищевой промышленности и др.

В заключение следует отметить, что начавшееся в 30-е годы развитие молекулярной физики растворов полимеров привело на первом этапе к противопоставлению растворов полимеров коллоидным растворам как принципиально различных типов растворов: равновесных молекулярных растворов, являющихся единой термодинамической фазой, и неравновесных микрогетерогенных двух-(много-)фазных систем. Такое размежевование привело к существенному прогрессу физики полимеров, большой вклад в который сделан советскими учеными. Однако уже в 50-е годы выяснилась необходимость сближения молекулярного и коллоидно-химического подходов [101]. Это диктовалось не только существованием действительно коллоидных растворов полимеров, например латексов, но и обнаружением надмолекулярной структуры аморфных и кристаллических полимерных систем, предсказанной в 1957 г. В. А. Каргиним, А. И. Китайгородским и Г. Л. Слонимским [102] и вскоре обнаруженной во всех физических состояниях аморфных и кристаллических полимеров [63, 103–109], в том числе и в неразбавленных растворах полимеров. На этом втором этапе развития физики полимеров (разделившейся на две взаимосвязанные ветви – молекулярную и надмолекулярную), продолжающемся и в настоящее время, происходит весьма прогрессивное взаимное влияние физики полимеров и коллоидной химии. Рассмотрение вызванной надмолекулярным структурообразованием микрогетерогенности химически однородных полимеров и их растворов широко представлено в настоящее

время в работах советских ученых. Естественно, что микрогетерогенность полимерных тел и систем еще более разнообразна и качественно отлична в случае химически неоднородных полимеров (смесей полимеров, блок-сополимеров).

Таким образом физика полимеров весьма плодотворно обогащается коллоидно-химическими подходами. Одновременно с этим происходит и обогащение самой коллоидной химии вследствие появления совершенно нового типа микрогетерогенных систем, а именно: полимерных тел и растворов полимеров, обладающих надмолекулярной структурой. Все это относится не только к физике растворов полимеров, но и ко всем другим разделам физики полимеров.

### Структура полимеров

Структурные исследования представляют собой один из важнейших разделов физики любого твердого тела независимо от того, построено ли оно из полимерных цепей или низкомолекулярных частиц. Это естественно, поскольку знание структуры необходимо, с одной стороны, для построения молекулярной физической теории, с другой,— для разработки методов регулирования структуры, а также для синтеза новых полимеров и создания рациональных процессов переработки и придания материалам необходимого комплекса свойств.

Структурные исследования всегда играли важную роль и в физике полимеров. Следует подчеркнуть, что в развитие современного учения о надмолекулярной структуре полимеров крупный вклад внесли работы советских ученых и прежде всего работы В. А. Каргина и его школы. Именно В. А. Каргину принадлежит заслуга в распространении структурно-физических подходов и представлений во все основные области физики, физической химии и химии высокомолекулярных соединений. И в этом состоит несомненная заслуга советской физики полимеров.

В истории развития структурных исследований, в том числе исследований отечественных, имеются два больших периода. Первые структурные модели в виде хорошо известной «сеточной» модели аморфных полимеров и «бахромчато-мицеллярной» модели кристаллических полимеров были созданы за рубежом вначале 30-х годов и просуществовали вплоть до второй половины 50-х годов.

Однако уже в те годы в дифракционных исследованиях структуры целлюлозы и ее эфиров, проведенных В. А. Каргиным совместно с Д. И. Лейпунской, В. Л. Карповым, З. Г. Пинскером [122, 123], было установлено большое своеобразие строения полимеров. В результате этих исследований В. А. Каргиным были выдвинуты представления об аморфном состоянии гидратцеллюлозы, которые вызвали широкую научную дискуссию. Главным результатом этих исследований явилось установление высокоупорядоченного строения полимерных стекол. В последующие годы изучение механических, реологических и других свойств полимеров привело к фактам, не вполне согласующимся с имеющимися моделями. На это же указывали и данные электронно-микроскопических исследований структуры аморфных полимеров [103, 106, 409].

В 1957 г. В. А. Каргин, А. И. Китайгородский и Г. Л. Слонимский выдвинули и развили фундаментальное представление об упорядоченности макромолекул во всех физических состояниях полимеров [102]. Упорядоченность макромолекул, т. е. надмолекулярная структура, рассматривалась как следствие теплового движения взаимодействующих макромолекул, образующих, подобно молекулам обычной жидкости, упорядоченные области флюктуационной природы (рои). Цепное строение и большой продольный размер макромолекул придают их роям ряд особенностей (большой размер и значительная продолжительность существования упорядоченных областей; приблизительно параллельное расположение сосед-

них участков различных макромолекул), что дало основание для введения понятия «пачка макромолекул». Пачечная модель оказалась весьма плодотворной не только для объяснения целого комплекса физико-механических свойств аморфных полимеров, которые нельзя было понять в рамках прежних моделей, но и для установления новых структурных подходов к модификации свойств полимеров.

В. А. Каргину и Н. Ф. Бакееву принадлежат первые работы по экспериментальному обнаружению глобуллярных и пачечных структур в аморфных полимерах [103, 106].

В последующие годы существование упорядоченных областей в аморфных полимерах нашло многочисленные экспериментальные подтверждения, в первую очередь, с привлечением прямых структурных методов [108, 206, 410–412]. Дальнейшее накопление экспериментальных фактов позволило С. А. Аржакову, Н. Ф. Бакееву и В. А. Кабанову [167] на основе пачечных представлений развить «доменно-фибриллярную» модель, связавшую упорядоченное строение аморфных линейных гибкоцепных полимеров с возможностью проявления молекуллярных характеристик отдельных цепей в комплексе физико-механических свойств аморфных полимеров.

В настоящее время еще многие вопросы строения аморфных полимеров требуют дальнейшего изучения, тем не менее заслуга отечественной физики полимеров состоит в том, что впервые эти проблемы были поставлены советскими учеными и в значительной степени решены. Именно благодаря этим работам структура аморфных полимеров привлекает в последние годы самое пристальное внимание ученых многих стран.

Существенный вклад был внесен советскими учеными и в изучение структуры кристаллических полимеров.

В области исследования кристаллических полимеров, так же как и аморфных, 1957 г. имел важное, решающее значение: он совпал с открытием в полимерах монокристаллов и появлением концепции кристаллитов со складчатыми цепями [166]. Это также заставило критически пересмотреть старые представления о «бахромчато-мицеллярном» строении полимеров и инициировало широкие исследования структуры и свойств кристаллических полимеров.

Структурные исследования в нашей стране проводились в основном в двух направлениях: собственно структурные или морфологические исследования и изучение влияния различных факторов (температура, механические напряжения и т. д.) на структурные превращения в кристаллических полимерах.

Следует отметить, что В. А. Каргиным и Г. Л. Слонимским [164] еще до открытия полимерных монокристаллов при анализе особенностей строения кристаллических полимеров впервые были высказаны соображения об отборе в процессе кристаллизации полимеров пластинчатых и игольчатых форм кристаллитов, в которых главные цепи валентностей макромолекул располагаются в направлениях наименьшего размера кристаллита, т. е. попрек оси иглы или плоскости пластинки. В последующих исследованиях В. А. Каргина и его школы [108, 160, 413–418, 421, 422], С. Я. Френкеля, В. Г. Баранова с сотр. [382, 383, 419, 420] и других были изучены процессы структурообразования в кристаллических полимерах и установлено, что различные сочетания фибриллярных и пластинчатых структур приводят к необычайно широкому разнообразию морфологических типов кристаллических структур в полимерах.

Важный вклад был внесен советскими исследователями в изучение структуры ориентированных полимерных систем — волокон и пленок. Эти исследования проводились Д. Я. Цванкиным с сотр. [423–425], С. Н. Журковым, А. И. Слуцкером с сотр. [207, 426–429] и С. Я. Френкелем с сотр. [109, 430] и другими. Следует отметить создание Д. Я. Цванкиным [423–425] теории малоугловой дифракции на фибрillе, состоящей из областей разной плотности, нашедшей широкое применение во многих исследовани-

ях; доказательство гетерогенного строения микрофибрилл ориентированных полимеров [426]; установление особенностей строения неупорядоченных областей в аморфно-кристаллической фибрилле [109].

В результате всех этих исследований было установлено влияние химического строения полимерных цепей и условий кристаллизации на особенности надмолекулярного строения полимеров и показано, что благодаря цепной природе макромолекул процесс кристаллизации полимеров может носить многоступенчатый характер, в результате чего возникают различного типа метастабильные кристаллические структуры.

Среди исследований, посвященных изучению влияния различных факторов на структурные превращения в полимерах, следует прежде всего отметить работы, связанные с изучением процессов изменения структуры при ориентационной вытяжке кристаллических полимеров. Эти исследования независимо проводились в Москве Д. Я. Цванкиным, В. И. Герасимовым [431–433], Ю. А. Зубовым с сотр. [434–436] и в Ленинграде С. Н. Журковым, А. И. Слуцкером с сотр. [375, 437, 438] и С. Я. Френкелем, В. Г. Бараповым с сотр. [439–441] и другими. Основными результатами этих исследований явилось установление пластического характера деформации кристаллитов по плоскостям скольжения; доказательство того, что пластическая деформация сопровождается рекристаллизационными процессами; установление некоторых структурных закономерностей процесса ориентации, т. е. перехода от ламелярных структур в изотропных полимерах к фибрillярным структурам ориентированных полимеров.

Важное практическое и научное значение имели исследования, посвященные изучению влияния температуры и одновременного влияния температуры и механических полей на структурные превращения кристаллических полимеров. Особенно следует отметить получение впервые в ориентированном полистилене путем отжига под высоким давлением кристаллов с выпрямленными цепями и исследования рекристаллизационных процессов, приводящих к образованию таких кристаллов [442, 443]. На основании этих результатов Н. Ф. Бакеевым и Ю. А. Зубовым был разработан подход для количественного описания процессов рекристаллизации при отжиге и деформации кристаллических полимеров [324, 444], что имело важное практическое значение, поскольку кристаллические полимеры являются метастабильными системами, способными претерпевать существенные структурные перестройки в процессе хранения и эксплуатации.

Наряду с указанными, были проведены систематические и оригинальные исследования в области изучения структуры и процессов кристаллизации каучуков [445], изучения особенностей надмолекулярного строения лаков и покрытий [446], природных и синтетических волокон [447], совершиенно оригинальные работы в области структурообразования в процессах полимеризации [448, 449] и ряд других.

В. А. Каргиным и Н. А. Платэ [327, 450] впервые были изучены особенности надмолекулярной структуры привитых полимеров на основе кристаллических полимеров и предложен структурно-химический подход к регулированию свойств таких модифицированных полимерных систем.

Все эти исследования сыграли важную роль в создании современных представлений о надмолекулярной структуре полимеров.

### Механика полимеров

После упомянутых работ С. И. Соколова [1] началось систематическое развитие механики полимеров в СССР. Первыми явились работы 1937–1939 гг. П. П. Кобеко, Е. В. Кувшинского, Г. И. Гуревича [110], Я. И. Френкеля [111], А. П. Александрова и Ю. С. Лазуркина [112, 113], Г. И. Гуревича и П. П. Кобеко [114], Г. Л. Слонимского [115], в которых была впервые раскрыта сложность деформации полимеров, состоящей из

трех слагающих — двух обратимых (упругой и высокоэластической) и необратимой [110], обращено внимание на релаксационные закономерности развития высокоэластической деформации [110—115]. Это сразу же привело к пониманию принципиального значения кинетического подхода к изучению и характеристике деформативности полимерных тел, созданию представлений о кинетической природе стеклования полимеров и к разработке двух эквивалентных подходов к количественному описанию релаксационных закономерностей деформации полимеров — температурно-частотной характеристикой (метод Александрова — Лазуркина) [112—113] и применением [115] теории упругого последействия Больцмана — Вольтерры. Широкое применение в научных и прикладных исследованиях полимеров получили разработанные в те же годы А. П. Александровым и Ю. С. Лазуркиным [112, 113] и М. О. Корнфельдом [116, 117] динамические приборы для исследования механических релаксационных явлений.

Все эти работы послужили толчком к развитию научных представлений о ряде ранее наблюдавшихся явлений, например об усадке вискозных волокон, пленок эфиров целлюлозы, о потере резинами способности к значительным деформациям при низких температурах или очень быстрых воздействиях, об обратимости размягчения твердых пластиков и искажении формы изделий из них при нагревании, о гистерезисных явлениях в резинах и о связанном с ними теплообразовании в автомобильных шинах и т. д.

Релаксационные явления в искусственных волокнах, кинопленочных материалах, каучуках и резинах были подробно исследованы В. А. Каргинским совместно с Н. В. Михайловым [118], П. В. Козловым [119] и Г. Л. Слонимским [120, 121] и связаны с кинетикой процессов перегруппировки цепных макромолекул при механических воздействиях на полимерное тело. Эту связь удалось установить в результате исследований механизма образования (из растворов) вискозного волокна и нитроцеллюлозной пленки. Начатые детальные рентгеноструктурные исследования ориентации макромолекул в волокнах и пленках и влияния на нее механических воздействий, температуры и влажности [118, 119], а также уже упоминавшиеся исследования тонких пленок гидратцеллюлозы и эфиров целлюлозы методом дифракции электронов [122, 123] привели к выводу, что гидратцеллюлоза имеет упорядоченное аморфное строение, а не микрокристаллическое, т. е. является высокоупорядоченным стеклом. Эти результаты были тогда весьма прогрессивными и хорошо согласовывались с новыми данными о молекулярной природе растворов полимеров.

Все эти работы, опубликованные в 1939—1943 гг., изменили и расширили представления о связи структуры и механических свойств полимеров, а в дальнейшем способствовали разработке методов получения высокопрочных и более стабильных волокон, а также механически изотропных и прочных пленок.

В период Великой Отечественной войны 1941—1945 гг. все научные работы советских ученых, работавших в области полимеров, были направлены на решение конкретных оборонных задач, непрерывно возникавших перед механикой и физикой полимеров в связи с производством и развитием всех видов военной техники. Следует подчеркнуть, что созданные советскими физиками и химиками в предвоенные годы основы учения о растворах полимеров и о релаксационной природе деформативности полимерных тел были эффективно использованы в прикладных работах военных лет.

Накопленные при этом многочисленные наблюдения, неизбежно возникавшие их обобщения, а также постановка новых сложных прикладных проблем, требовали серьезного научного анализа и привели к созывам 1-й и 2-й конференций по высокомолекулярным соединениям, состоявшимся в сентябре 1943 г. и в мае 1944 г. [124]. В итоге этих конференций полу-

чили дальнейшее развитие представления о прочности кристаллизующихся полимеров [125], об особенностях течения полимеров и их растворов [126, 127], о релаксационных свойствах пленок [128], о морозостойкости полимеров [129], о механизме стеклования полимеров [130], о механических свойствах студней полимеров и пластифицированных полимеров [131]. Все это создало хорошие условия для быстрого развития разных ветвей механики полимеров в первые же послевоенные годы.

Уже в 1945–1947 гг. В. А. Каргин и Т. И. Соголова [132, 133] с целью изучения природы деформации полимерных тел провели систематические исследования механических свойств аморфных линейных полимеров в широком интервале температур, в результате которых было развито представление о трех физических состояниях полимерных тел, изучен переход из высокогибкого состояния в вязкотекучее, впервые экспериментально разделены обратимая (высокогибкая) и необратимая деформации полимерного тела, развивающиеся в процессе его течения, измерены значения истинных вязкостей высокомолекулярных линейных полимеров, обращено внимание на высокогибкую природу аномалий вязкого течения полимеров. Разработанный ими термомеханический метод [132] и соответствующий прибор (динамометрические весы) оказались весьма информативными при изучении изменений физического состояния полимерного тела, влияющих на его деформативность, и широко используются [134] для научных целей и производственного контроля качества полимера. Установленная [132, 136] количественная связь температуры текучести со степенью полимеризации позволила определять молекулярную массу линейных аморфных гибкоцепных полимеров термомеханическим методом без перевода полимера в растворенное состояние (интересно, что соответствующая формула как по ее форме, так и по общим соображениям, лежавшим в основе ее вывода, очень близка к известному соотношению Вильямса – Ландела – Ферри [140], предложенному на несколько лет позднее).

Одновременно В. А. Каргин и Г. Л. Слонимский предложили и рассчитали механическую модель линейного аморфного полимера [135–137]. Эта модель, в основу которой были положены представления о гибких цепных макромолекулах, явилась первой физически обоснованной моделью полимера (несколько позднее появились другие аналогичные модели [138, 139]), расчет которой дал спектр времен релаксации и его количественное описание, а также положение на температурной шкале и протяженность областей существования трех физических состояний аморфных полимеров в зависимости от молекулярных характеристик, обнаружил возможность существования двух механизмов стеклования и двух механизмов пластификации, позволил учитывать влияние жесткости макромолекул на деформативность и получить ряд других качественных и количественных закономерностей.

Завершением довоенного цикла работ в области механических релаксационных явлений был заложен фундамент физических представлений о природе и основных закономерностях развития неравновесных деформаций аморфных полимеров. В те же годы и до настоящего времени ведутся многочисленные исследования релаксационных явлений в полимерах различных классов, в разных физических состояниях и в условиях внешних воздействий различной природы (агрессивные среды, радиация, звуковое поле и др.). Среди этих работ следует особенно отметить разработку идеи о зависимости времени релаксации от механического напряжения, предполагавшую еще Максвеллом [141], физически обоснованную для полимеров А. П. Александровым [129, 142] и всесторонне развитую Г. И. Гуревичем для стеклообразных полимеров сначала для одноосной деформации, а затем для общего случая деформации [143–145]. Эту же идею в применении к эластомерам в те же годы развили Б. А. Догадкин, Г. М. Бартенев, М. М. Резниковский [146]. В последующие годы это на-

правление релаксационной теории привлекало внимание многих других исследователей.

Иной подход к теории релаксационных процессов был развит в 1961–1971 гг. Г. Л. Слонимским [147, 148], обосновавшим известные ранее эмпирические закономерности [149], широко применяемые при описании механических и электрических релаксационных процессов.

В конце 40-х годов, наряду с аморфными полимерами, все большее значение стали приобретать новые полимеры кристаллического строения, прежде всего полиэтилен и полиамиды. В начале 50-х годов В. А. Каргин и Т. И. Соголова изучили [150, 151] в широких интервалах температуры и молекулярных масс деформативность и прочность ряда кристаллических полимеров и установили ряд новых закономерностей. Особое внимание было ими обращено на процесс холодной вытяжки кристаллических полимеров (в особенности на процесс образования «шейки»), который они описали как фазовое превращение (рекристаллизация) в механическом поле, имеющее своим следствием скачкообразное возникновение или изменение анизотропии тела при его деформации.

При этом впервые было экспериментально показано, что такая рекристаллизация может происходить путем плавления кристаллитов и образования новых кристаллитов, ориентированных соответственно приложенному механическому полю.

Ю. С. Лазуркин [152–154], изучая вынужденную высокоэластичность (холодную вытяжку) при растяжении стеклообразных полимеров, выдвинул и обосновал представление о релаксационном механизме этого процесса, в котором время релаксации резко убывает с ростом величины напряжения, и указал на общность внешних закономерностей образования «шейки» у аморфных и кристаллических полимерных тел. В связи с этим было отмечено [155, 404], что такая общность должна быть следствием надмолекулярной упорядоченности стеклообразных полимерных тел, в которых, как и в кристаллических полимерах, могут происходить скачкообразные структурные превращения, сопровождающиеся, естественно, и релаксационными процессами. Новые в то время представления о надмолекулярной структуре полимерных тел привели к углублению понимания механизма образования «шейки», т. е. механизма развития вынужденной высокоэластической деформации [404], а также к расширению понятия о рекристаллизации кристаллических полимеров при их деформации. В работах [155, 169–171] рекристаллизация была рассмотрена как структурное превращение, которое может развиваться не только путем переплава кристаллитов, но и путем превращений надмолекулярных образований на любом уровне физической структуры полимерного тела. Все эти идеи о механизме вынужденной высокоэластической деформации кристаллических и стеклообразных полимеров легли в основу современных представлений о деформативности твердых полимерных тел [108, 156–160]. Оригинальная теория процесса образования «шейки» была развита Г. И. Баренблаттом [161–163].

В результате развития механических и структурных исследований кристаллических полимеров В. А. Каргин и Г. Л. Слонимский в 1955 г. [164] глубоко проанализировали представления о кристаллическом строении полимеров и подчеркнули принципиальное различие строения и свойств кристаллических полимерных тел и низкомолекулярных кристаллитов, расхождение структурных и термодинамических критериев фазового состояния в случае полимеров и связанную с этим относительность понятий «фаза» и «компонент». Они обратили также внимание на сходство некоторых свойств кристаллических полимеров и растворов мыл, т. е. на микрогетерогенность этих систем и обусловленные этим общие коллоидные свойства. Идея о необходимости соединения молекулярного и коллоидно-химического подходов была развита ими позднее в других работах [108, 156, 165].

Структура кристаллических полимеров изучалась многими исследователями, например [62, 108, 109, 160, 166, 168, 172], и было показано, что упорядоченность макромолекул приводит к возникновению различной степени сложности кристаллических образований, в которых более мелкие элементы являются исходными кирпичиками для построения более крупных элементов структуры, т. е. надмолекулярная структура кристаллических полимеров имеет многоступенчатый характер [208].

В начале 60-х годов В. А. Карагин с Т. И. Соголовой [155, 170–175], Г. П. Андриановой и Н. Ф. Бакеевым [31, 160], Л. А. Игонин с сотр. [32] и несколько позднее В. Е. Гуль [157, 176, 177], Г. М. Бартенев [178, 179], М. С. Акутин [180, 181] и многие другие исследовали связи между характером надмолекулярной структуры кристаллических и аморфных полимерных тел и их механическими свойствами. Эти работы привели к созданию научных основ структурной механики полимеров и к открытию различных путей регулирования надмолекулярной структуры и свойств полимерных тел, т. е. методов физической модификации полимеров, получившей к настоящему времени значительное практическое применение для производства из одного и того же полимерного вещества различных по свойствам полимерных материалов, для улучшения перерабатываемости полимеров и стабилизации свойств полимерных изделий [173, 182–184].

Созданные на основе представлений о надмолекулярной структуре полимеров новые методы физической модификации позволили также углубить понимание известных ранее ее методов (изменение физических свойств полимерных тел путем ориентации, изменение температурно-временного и механического режимов переработки полимеров в изделия и др.) и развить их. Структурно-механические исследования полимерных тел ведутся в настоящее время в Советском Союзе во всевозрастающих масштабах как в направлениях развития представлений о формах структуры, их взаимосвязи с химическим строением макромолекул и условиями структурообразования, связи с различными механическими и физическими свойствами, так и в направлениях управления структурообразованием во всех физических состояниях полимерного вещества, а также в условиях синтеза и химических превращений макромолекул, изучения стабильности возникающих форм надмолекулярной структуры, изыскания путей повышения качества полимерных материалов и более прогрессивных форм переработки полимеров в изделия.

Другой ветвью механики полимеров следует считать разработку представлений о деформативности полимеров, основанную на расчете конформаций макромолекул и их изменений при механических воздействиях. Это направление, возникшее в Советском Союзе еще в конце 30-х годов в результате влияния фундаментальных работ Марка, Гута и Куна [185, 186], привело к большому числу оригинальных исследований, использовавших методы статистической физики и термодинамики для описания равновесной высокоэластической деформации полимерных тел [57, 58, 179, 187].

С. Е. Бреслер и Я. И. Френкель первыми обратили внимание [188] на необходимость учета потенциального барьера при рассмотрении внутреннего вращения в макромолекулах, а М. В. Волькенштейн с сотр. [57, 58] предложили и развили весьма плодотворное представление о перераспределении поворотных изомеров в макромолекуле, как о причине изменения ее конформации при деформации.

Рассмотрение деформации полимера как кинетического процесса перегруппировки гибких макромолекул, начатое Я. И. Френкелем еще в 1938 г. [111], получило существенное развитие в его книге [189] и лежит в основе современной физики полимеров. В последние 10–15 лет возможности изучения элементов структуры полимерного тела и их подвижности и превращений (при различных температурах и разнообразных внешних воздействиях) существенно увеличились.

Применение к полимерам современного рентгеноструктурного анализа, ЭПР, ЯМР, ИК-спектроскопии, комбинационного рассеяния света, дифракции поляризованного монохроматического света, РТЛ, световой и электронной микроскопии, масс-спектрометрии, акустических и диэлектрических методов, калориметрии, а также ряда других методов позволило получить разнообразную и надежную информацию о подвижности отдельных групп атомов, сегментов, макромолекул и различных элементов надмолекулярной структуры в зависимости от строения макромолекул, характера их взаимной упорядоченности, внешних условий [47, 51–53, 103 106, 108, 155, 190–208].

Еще в 1944 г. Я. И. Френкель обратил внимание на возможность разрывов макромолекул в процессе течения раствора полимера [209]. Идея о механическом разрыве макромолекул получила в конце 40-х и особенно в 50-х годах существенное развитие в работах В. А. Каргина, Г. Л. Слонимского и их сотр. [108, 210, 211] (механизм утомления эластомеров при многократных деформациях), В. А. Каргина, М. С. Акутина и их сотр. [212, 213] (синтез блок-привитых сополимеров), Н. К. Барамбайма [214, 215] (деструкция твердых полимеров), А. А. Берлина с сотр. [216, 217] (криолиз полимеров), Г. Л. Слонимского с сотр. [218] (образование и переработка резиновых смесей), В. А. Каргина и Т. И. Соголовой [100, 219] (открытие химического течения полимеров), А. С. Кузьминского с сотр. [407] (механическая активация окисления полимеров). Весь этот цикл работ привел в Советском Союзе к созданию крупной ветви физики и физической химии полимеров — механохимии полимеров, т. е. учения о химических превращениях в полимере, инициируемых свободными макрорадикалами, образующимися вследствие разрывов макромолекул при механических воздействиях, в частности в условиях переработки полимеров и эксплуатации изделий из них. Позднее механохимические представления были положены в основу кинетической теории прочности полимерных тел.

Проблема прочности полимеров систематически разрабатывается советскими физиками, химиками и механиками в различных направлениях. Так, например, в области изучения процессов разрушения эластомеров, происходящих в условиях статических и динамических нагрузений, а также в условиях сложного напряженного состояния, Г. М. Бартеневым с сотр. [220] и В. Е. Гулем с сотр. [157, 158] выполнены большие циклы работ. Следует также упомянуть и работы Г. А. Патрикеева [221] и Ю. С. Зуева [222, 223]. Сопротивление жестких полимерных материалов представлено работами А. К. Малмейстера, В. П. Тамужа, Г. А. Тетерса [224], Ю. М. Тарнопольского и А. М. Скудра [225], А. Л. Рабиновича [226] и других, прочность волокон — Н. В. Михайлова [227], В. А. Берестнева [228, 229], Г. Н. Кукина [230], С. Я. Френкеля [109], К. Е. Перепелкина [405], прочность пленок — П. В. Козлова с сотр. [119, 231].

Значительное число исследований посвящено сравнительному изучению прочности и деформативности различных представителей одного и того же класса полимеров, например полиолефинов, полиметакрилатов и полиакрилатов, полидиенов, эфиров целлюлозы, полиамидов, гетероцепочных полиэфиров, полиимидов, полисилоксанов и т. д., и возможностей влияния на них путем химической и физической модификации, наполнения, пластификации, радиации. Наиболее крупные исследования такого рода принадлежат В. В. Коршаку, К. А. Андрианову, С. В. Виноградовой, Г. Л. Слонимскому, А. А. Жданову, А. А. Аскадскому и их сотр. [232–237], Б. А. Догадкину с сотр. [238–240], М. М. Котону, С. Я. Френкелю, Е. В. Кувшинскому и их сотр. [241, 242].

Эти и многочисленные другие исследования, которые невозможно даже перечислить в рамках данной статьи, привели к раскрытию общих закономерностей влияния химического строения разных классов полимеров на комплекс их механических свойств и к разработке эффективных приемов повышения прочности искусственных и синтетических волокон, пленок,

резин, пластмасс; существенное развитие получили представления о прочности и деформативности теплостойких полимерных материалов; было обращено внимание на то, что теплостойкие материалы обладают большей работоспособностью при нормальных, а также пониженных температурах, чем нетеплостойкие.

В последние годы исследования [243] прочности и деформативности различных классов полимеров при сверхнизких температурах (от 300 до 4,2° К) дали новую информацию о зависимости механических свойств полимеров при гелиевых температурах от химического строения макромолекул, надмолекулярной структуры и физического состояния полимерного тела.

Перспективным направлением явилось изучение возможностей расчета свойств полимерных тел исходя из данных об их химическом строении, которое привело [36, 159, 244, 245] к расчетным схемам, позволяющим количественно определить по данным о химическом строении звена макромолекулы некоторые свойства, а именно: плотность, температуры стеклования и плавления, коэффициент объемного расширения, оптический коэффициент напряжения, показатель преломления, плотность энергии когезии. Этим открыт путь к проектированию структуры макромолекул, обеспечивающему заданный комплекс свойств полимерного тела.

Необходимость оценки работоспособности полимерных изделий в условиях воздействий газовых и жидкых агрессивных сред вызвала значительное число исследований механических свойств различных полимеров, находящихся в агрессивной среде. Ю. С. Зуев с сотр. [220, 246, 247] разработали ряд новых методов испытаний резин и других полимеров в жидких и газовых агрессивных средах и раскрыли закономерности разрушения полимерных тел в средах разной природы и в условиях различных напряженных состояний. Особенности деформационного поведения полимеров в жидких средах были также исследованы А. Н. Тынним с сотр. [248], Н. Ф. Бакеевым с сотр. [249, 250], П. В. Козловым с сотр. [33, 34].

В последние годы большое значение приобрела проблема получения высокопрочных материалов, которая развивается на основе всей совокупности структурно-физических представлений о полимерах. Практически получение новых высокопрочных материалов базируется на армировании полимерного вещества высокопрочными неорганическими и органическими волокнами, тканями и другими материалами, позволившими получить многие ценные полимеры, среди которых следует, прежде всего, упомянуть стекловолокнистые анизотропные материалы, разработанные и изученные А. К. Буровым, Г. Д. Андреевской и их сотр. [251], создание полимерных тел со сложной химической и физической структурами, в частности взаимопроникающих сеток, а также многокомпонентных композиций полимеров с высокодисперсными активными наполнителями и другими веществами, в создание и изучение которых большой вклад внесли Н. С. Ениколопян с сотр., Ю. С. Липатов с сотр. и многие другие. Механические свойства армированных пластиков и методы расчета изделий и конструкций из стеклопластиков были предметом систематических исследований, выполненных А. Л. Рабиновичем [226], Ю. М. Тарнопольским и А. М. Скудрав [225] и другими [252].

Совсем другое направление исследований прочности полимерных тел возникло в связи с проблемой получения широко используемых в промышленности трения и антифрикционных полимерных материалов. Эта проблема выдвинула фундаментальную теоретическую задачу создания представлений о механизме трения полимерных тел и их износа. Начатые еще в конце 30-х годов И. В. Крагельским [253] исследования внешнего трения полимерных тел, работающих в контакте с другими полимерными или металлическими телами, широко развиваются им до последнего времени и привели к созданию разных типов трения полимерных мате-

риалов и к раскрытию происходящих в зоне контакта сложных взаимодействующих процессов деформирования, лежащих в основе трения и износа полимеров, а именно: процессов теплообразования, разрушения, химических и механохимических превращений, физических структурных превращений, трибоэлектрических явлений.

Г. М. Бартеневым и В. В. Лаврентьевым [254] раскрыты принципиальные особенности механизма трения полимеров в высокоэластическом состоянии, а С. Б. Ратнером с сотр. [255] изучены механизмы и основные закономерности износа полимерных тел.

В. В. Коршаком, И. А. Грибовой и их сотр. [256—258] были проведены всесторонние исследования связей коэффициента трения с химическим строением макромолекул ряда классов полимеров и влияния на трение различных других компонентов, входящих в композицию с полимером. В результате этих работ помимо развития общих представлений о механизме трения полимеров были получены новые типы антифрикционных полимерных материалов высокого качества.

В. А. Белым с сотр. [259, 260] на протяжении ряда лет исследовалась связь форм надмолекулярной структуры с фрикционными характеристиками полимерных материалов. Показана необходимость учета физической структуры тела при рассмотрении его фрикционных свойств.

Принципиально новым в теории прочности полимеров был пересмотр физических представлений о прочности твердых тел, приведший к современной концепции о кинетической природе прочности. Начиная еще с 20-х годов, в ряде исследований (например, [261]) делались выводы о существовании временной и температурной зависимости прочности, а затем появились первые формулировки концепции термофлюктуационной природы элементарных актов распада межмолекулярных [262] и межатомных связей [263] в процессе разрушения.

Однако систематическая и глубокая разработка кинетической теории прочности была начата лишь в 1952 г. Развитие С. Н. Журковым и его сотр. В. Р. Регелем, А. И. Слуцкером, Э. Е. Томашевским и др., а также Г. М. Бартеневым [207, 264, 265, 267—269] и В. Е. Гулем [157, 270] представления о кинетической природе прочности полимерных и вообще твердых тел получили широкое применение, прежде всего, для ориентированных твердых полимерных тел. Тем не менее, весьма прогрессивный кинетический подход к проблеме прочности, т. е. долговечности нагруженных тел, требует в области полимеров дальнейшего развития, а именно: учета влияния надмолекулярной структуры, физического состояния полимера, обобщения на случаи сложного напряженного состояния и сложного нагружения, учета возможности ведущей роли нарушения межмолекулярных взаимодействий (например, в случае глобулярных жесткоцепных полимерных тел, а также при хрупком разрушении высокоориентированных твердых полимеров, растягиваемых поперек направления ориентации). Эти вопросы, а также связь между процессами разрушения и деформирования полимерных тел явились предметом ряда исследований советских физиков в последние годы. Применение современных структурных и физико-химических методов исследования, позволяющих следить за тонкими изменениями структуры напряженного полимерного тела, и детальное количественное изучение зависимости долговечности полимерных тел от их структуры и условий нагружения, несомненно, приведут в ближайшие годы к дальнейшему прогрессу кинетической концепции прочности, имеющей глубокую физическую основу и позволяющую прогнозировать долговечность полимерных изделий пока в простейших, а в будущем и в любых реальных условиях их эксплуатации.

Развитие техники постоянно требует получения новых полимерных материалов с ранее неизвестным сочетанием механических и других физических свойств. Решение этого возможно различными путями — разработкой новых композиций и синтезом новых классов полимеров. Оба эти пути

широко представлены в советской химии, физике и технологии полимеров. Весьма перспективными приемами создания новых материалов явилось смешение двух и более полимеров, примененное еще в 40-е годы для получения новых типов резин, а также заменителей кожи. Здесь сразу же возник вопрос о физической природе такой смеси и о совместности полимеров. С. С. Воюцкий и В. И. Алексеенко с сотр. [271—274] считали, что для хорошей совместимости полимеров, т. е. для образования однородной системы, необходима близкая полярность смещающихся полимеров.

В результате систематических исследований смесей каучуков и ряда других пар полимеров [275—277] был сделан вывод, что смешение двух полимеров следует рассматривать как образование раствора полимера в полимере, к которому, следовательно, применима термодинамика растворов, и что хорошая взаимная совместимость двух аморфных линейных полимеров возможна только при экзотермическом смешении. Поскольку этот случай встречается весьма редко, то смеси полимеров следует рассматривать как микрогетерогенные системы. Эти результаты были существенно развиты в работах Б. А. Догадкина, С. С. Воюцкого, В. Н. Кулезнева, В. Е. Гуля и их сотр. [266, 278—284]. Были обнаружены и детально исследованы переходные слои между двумя различными по составу типами микрообластей смеси, показана их роль в формировании свойств полимерного тела, подчеркнута необходимость учета ассоциации макромолекул (надмолекулярного структурообразования) при оценке совместимости двух полимеров.

Создание разных типов армированных и вообще композиционных высоконаполненных полимерных материалов, т. е. макро- и микрогетерогенных систем, потребовало развития фундаментальных исследований в области поверхностных явлений в полимерах и определения роли этих явлений в формировании свойств полимерных материалов. Ю. С. Липатов с сотр. провел систематические теоретические и экспериментальные исследования адсорбции полимеров [285], термодинамики межфазных явлений в смесях полимеров [286], молекулярной подвижности в адсорбционном и поверхностном слоях [287, 288], позволившие выяснить особенности и количественные закономерности релаксационных процессов, стеклования и кристаллизации в граничных слоях [289—291], а также развить новые представления о различных уровнях микрогетерогенности в композиционных материалах [292, 293].

Проблема адгезии полимеров, играющая столь крупную роль в композиционных материалах, являлась уже давно предметом многих исследований ряда ученых, прежде всего, С. С. Воюцкого [294—297], А. А. Берлина и В. Е. Басина [298], В. Е. Гуля [157, 296, 299, 300], В. Л. Вакулы [296, 301], В. А. Белого [302] и их сотрудников. Эта проблема оказалась столь сложной, что остается до сих пор далеко неисчерпанной. Роль адгезионного взаимодействия при трении металл-полимерных и полимер-полимерных пар были рассмотрена С. Б. Айнбиндером [303, 304].

Другое направление создания ранее неизвестных материалов — синтез новых классов полимеров — привело за последние 10—15 лет к синтезу множества сополимеров с макромолекулами статистического, блочного, разветвленного, в частности гребнеобразного строения, полимеров с макромолекулами лестничного строения, с макромолекулами, содержащими объемистые сложные звенья, с макромолекулами весьма различной жесткости и т. д. Появление такого разнообразия новых типов полимеров выдвинуло на первый план ряд физических задач их исследования: во-первых, определения геометрических и физических характеристик макромолекул, о чем упоминалось в разделе «Физика растворов полимеров»; во-вторых, изучения надмолекулярного структурообразования в таких полимерных телах и в композициях на основе этих полимеров; в-третьих, изучения влияния молекулярного строения и надмолекулярной структуры на механические и другие физические свойства полимерных тел, образо-

ванных упомянутыми типами макромолекул; в-четвертых, поиска путей управления физическим структурообразованием в этих системах в целях получения из одного и того же полимерного вещества материалов с различными комплексами свойств. Из многочисленных исследований такого рода, начатых в самое последнее время, следует упомянуть цикл работ Н. А. Платэ с сотр. [305, 306], выполнивших комплексное исследование структуры и физико-химических свойств полимеров с цепными боковыми группами (гребнеобразные полимеры), позволившее сформулировать основные принципы, лежащие в основе их поведения в различных физических состояниях, и выделить эти полимеры в особый класс разветвленных полимерных систем. Одним из интересных результатов этих исследований является то, что аморфные гребнеобразные поликарилметакрилаты способны к обратимой высокоэластической деформации за счет существенного изменения внутренней энергии системы, обусловленной, по-видимому, взаимодействием алифатических фрагментов в боковых цепях. Особое внимание в этих работах было также обращено на фазовое состояние гребнеобразных полимеров, способных к образованию термообратимых гелей, кристаллических и жидкокристаллических тел, обладающих слоевой упорядоченностью. Другим циклом работ в области изучения новых классов полимеров явились исследования К. А. Андрианова, В. Н. Цветкова и др. [307–311], посвященные молекулярной и надмолекулярной структуре и механическим свойствам лестничных кремнийорганических полимеров, в которых была обнаружена значительная обратимая деформативность таких полимеров, способность их к образованию в аморфном (стеклообразном) состоянии различных форм надмолекулярной структуры, а также обращено внимание на особый характер гибкости таких макромолекул.

Не имея возможности рассмотреть ряд других интересных работ советских физиков, изучающих многие новые типы полимеров, необходимо обратить внимание на то, что усложнение строения звеньев и самих макромолекул имеет своим непосредственным следствием появление в полимерах множественных структурных превращений, происходящих при изменении температуры, деформации, воздействия окружающей среды и т. п. Образование различных форм надмолекулярной структуры также является источником различных физических структурных превращений. Все это привело к постановке многих исследований физических структурных превращений в полимерах. При этом в настоящее время применяются практически все современные методы физических исследований. Большой цикл работ такого рода выполнен Ю. В. Зеленевым с сотр. [312–315], а также И. И. Перепечко с сотр. [197], причем для работ Ю. В. Зеленева характерно применение различных методов к большому разнообразию полимеров, а для И. И. Перепечко — систематическое изучение полимеров акустическими методами.

Изучение влияния акустических воздействий на релаксационные процессы в полимерах проводилось рядом исследователей [316–319] и привело к разработке методов акустического исследования химических превращений в твердых полимерах. Систематическое применение акустических методов для неразрушающей оценки свойств полимерных тел проводится на протяжении ряда лет Ю. С. Уржумцевым с сотр. [319].

Значительное число работ советских физиков и химиков посвящено изучению механических свойств и структуры полимеров при высоких давлениях. В работах Н. И. Шишкина [320], С. А. Аржакова [321, 322], С. Б. Айнбindera [323] и их сотр. изучено влияние температуры и давления на сжимаемость, коэффициент Пуассона, модуль Юнга, динамические характеристики полимеров, температуры стеклования и кристаллизации, а также на другие структурные превращения и свойства. Обобщением этих исследований является оригинальная монография [323], в которой приведен обширный список литературы по всем этим вопросам.

Еще одним направлением физики и физикохимии полимеров явились исследования диффузии в полимерных системах. Поскольку высокоэластические деформации являются результатом диффузионного движения сегментов гибких макромолекул, то естественно, интерес к диффузии возник сразу же при возникновении механики эластомеров, т. е. еще в 30-е годы. Работы по диффузии низкомолекулярных веществ в полимерном теле явились источником информации о подвижности макромолекул и одновременно о физико-химических свойствах пленочных и других полимерных материалов. Изучение диффузии макромолекул в разбавленном растворе было широко использовано для оценки их размеров, формы и гибкости. Основные результаты исследований диффузии в полимерах и их газопроницаемости приведены в работах С. А. Рейтлингера [325], Р. М. Васенина, А. Е. Чалых [25–27, 326], а представления о диффузионном характере подвижности макромолекул в полимере и его растворе, и результаты исследований – в книгах Я. И. Френкеля [189], В. Н. Цветкова, В. Е. Эскина, С. Я. Френкеля [47] и многочисленных оригинальных публикациях.

Закономерности пластификации полимеров были изучены С. Н. Журковым [28, 29] и В. А. Каргиным с Ю. М. Малинским [30], установившими правила, согласно которым понижение температуры стеклования пропорционально либо мольной, либо объемной доле пластификатора в полимере. Эти правила, верные в предельных случаях полярного и ненаполярного полимера соответственно, играют важную роль.

Использованию пластификации, наполнения и ориентации для получения новых видов полимерных материалов с улучшенными свойствами посвящено большое число исследований технологического характера, на которых здесь нет возможности останавливаться. Тем не менее следует подчеркнуть большое значение для развития представлений о связи структуры полимерных тел с их механическими свойствами, а также для промышленного производства высокопрочных волокон и пленок больших циклов исследований по ориентации полимеров, выполненных В. А. Каргиным, Н. В. Михайловым и их сотр. [107, 108, 118, 120, 227–229], С. Н. Журковым с сотр. [130, 329], С. Я. Френкелем с сотр. [109, 328]. Развиваемые в последние годы С. Я. Френкелем с сотр., а также С. П. Папковым с сотр. [109, 330] исследования жидкокристаллического состояния полимеров заложили базис новой ветви физики полимеров и их растворов. Эти работы, развитые совместно с технологами, привели к новым принципам формования ориентированных полимерных изделий. Большой обзор по жидкокристаллическим полимерам, в том числе гребнеобразного строения опубликован недавно В. П. Шибаевым и Н. А. Платэ [331].

Обнаруженная В. А. Каргиным, П. В. Козловым [107, 332] структурная пластификация полимеров была ими подробно исследована и использована для повышения качества пленочных полимерных материалов. Этот прием существенного изменения свойств полимерного тела введением в него малого количества веществ, наряду с другими приемами физической модификации, явился одним из доказательств большой роли надмолекулярной структуры в формировании свойств полимерного тела.

Наряду с изучением структуры и механических свойств полимеров в кристаллическом, стеклообразном и высокоэластическом состояниях большое внимание было уделено механическим свойствам полимеров в вязко-текучем состоянии, т. е. их реологическим свойствам. Поскольку реологические исследования растворов полимеров были рассмотрены в первом разделе, то здесь следует остановиться на работах по реологии расплавов полимеров.

Г. В. Виноградов с сотр. [333–336] поставил и выполнил всесторонние реологические исследования расплавов полимеров. В этих работах были установлены количественные закономерности течения полимеров в разных механических режимах, оценено влияние полидисперсности на реологиче-

ские свойства полимера, разработан ряд новых прецизионных приборов для всесторонних реологических исследований полимеров и их растворов. Этот развивающийся и в настоящее время цикл работ Г. В. Виноградова и его ближайших сотрудников — А. Я. Малкина, Ю. Г. Яновского, А. И. Лепонова — явился фундаментом для развития научных основ технологии переработки полимеров. Тесно связаны с этим направлением работы Л.-А. Файтельсона с сотр. [337—339], изучавших реологические свойства расплавов различных по строению полиэтиленов и влияние на эти свойства наполнителей разной природы.

Систематические исследования реологических свойств полимеров на протяжении ряда лет проводил Г. М. Бартенев с сотр. [340—343], которым на примере каучуков и резиновых смесей удалось установить некоторые закономерности вязкого течения полимеров и влияния на него молекулярной и надмолекулярной структур. Течение каучуков и резиновых смесей изучалось также Р. В. Торнером с сотр. [344].

В работах В. Н. Кулезнева с сотр. [284] получены систематические данные о текучести смесей полимеров друг с другом и развиты представления о связи реологических свойств смесей с их физической структурой.

### Электрофизика полимеров

Электрофизические исследования полимеров возникли в СССР в связи с применением полимерных материалов в качестве диэлектриков. Систематические фундаментальные исследования диэлектрических свойств и электропроводности полимеров были начаты еще в 30-е годы П. П. Кобеко с сотр. [345], продолжены Г. П. Михайловым [346—350], а затем Б. И. Сажиным [351], Т. И. Борисовой [205], С. Н. Колесовым [451]. В этих всесторонних исследованиях были раскрыты два типа релаксационных процессов развития поляризации полимеров — обусловленный подвижностью обладающих электрическим дипольным моментом отдельных групп атомов в макромолекуле (дипольно-групповая поляризация) и обусловленный подвижностью сегментов макромолекулы (дипольно-сегментальная поляризация). Изучение зависимостей диэлектрических потерь, обусловленных этими релаксационными процессами, и диэлектрической проницаемости от температуры, молекулярной массы, различных особенностей химического строения макромолекул, надмолекулярной структуры, от типа и содержания пластификаторов, наполнителей, от степени ориентации, от физического и фазового состояний, от механических воздействий, от химических превращений макромолекул, от воздействия радиации и других факторов привело к созданию глубоко и всесторонне развитой в настоящее время феноменологической и структурной теории диэлектрических свойств полимеров и их растворов, а также полимерных композиционных материалов, изложенной в ряде монографий, учебников и энциклопедий (см., например, [23, 351—353]).

Значительное развитие получили исследования электропроводности и электрической прочности полимеров, оценка которых, как и диэлектрических характеристик, остро необходима для практического использования полимерных материалов в качестве электроизоляционных и электропроводящих материалов. В этой области помимо огромного объема прикладных исследований были также выполнены исследования влияния структурных параметров, наполнения, пластификации и других факторов [351, 353]. Оригинальные исследования проведены Б. А. Догадкиным и К. А. Печковской [354], показавшими при изучении электропроводности возникновение цепочечных структур наполнителя в смеси его с каучуком; В. Е. Гуль с сотр. [355] изучили механизмы структурообразования в системах полимер — электропроводящий высокодисперсный наполнитель, показали роль

цепочечных структур в формировании электропроводности, обнаружили возможность управления формированием электропроводящих цепочечных структур наполнителя в диэлектрической полимерной среде путем наложения на формирующуюся тело внешних магнитных или электрических полей и получили при этом новые ценные электропроводящие (электрически изотропные и анизотропные) полимерные материалы [356, 357].

М. С. Акутин, В. Е. Гуль с сотр. [182] исследовали влияние электрического и магнитного полей на процессы синтеза и переработки полимеров и показали, что воздействием этих полей можно регулировать формирование механических свойств пластмасс, развивающиеся во время этих процессов.

Изучая заряды, возникающие при деформации полимеров, В. Е. Гуль и сотр. [358, 359] получили новые типы электретов.

А. В. Топчиев, В. А. Каргин, Б. А. Кренцель и их сотр. [360] сообщили в 1959 г. о получении ими в результате химического превращения поликарилонитрила полимерного полупроводника. Это вызвало синтез многих новых типов макромолекул, содержащих цепи сопряженных связей, и получение большого числа полимерных полупроводников. Все они были всесторонне изучены физическими методами, применяемыми для исследования полупроводниковых материалов (см., например, [23, 361]).

Большое значение приобрели исследования статической электризации полимерных материалов, направленные на выяснение механизма образования зарядов статического электричества, определение влияния на него химического и физического строения полимеров, а также различных внешних факторов, и изыскание путей снижения электризации.

Еще одной важной ветвью электрофизики полимеров явилось применение всего разнообразия электромагнитных методов исследования подвижности любых элементов структуры, обладающих электрическими или магнитными моментами, и ее изменений под влиянием температуры, деформации, химических превращений и т. п. Эти исследования, особенно быстро развивающиеся в последние годы, направлены на изучение влияния химического строения макромолекул на электрические и магнитные релаксационные процессы в полимерах, а также на изучение различных процессов химического и физического структурообразования в полимерах. Такого рода исследования существенно стимулировались, с одной стороны, синтезом многих новых типов макромолекул, а с другой — повышением точности и информативности методов ЭПР, ЯМР, ЯКР и др. [109, 190, 193—195, 198, 202, 207].

В настоящее время электрофизика является большим развивающимся разделом структурной физики полимеров, имеющим крупное научное и прикладное значение.

### Оптика полимеров

Оптические методы широко применяются для исследования полимеров, их растворов и различных композиций. Еще в 30-е годы С. И. Соколов с сотр. [1] изучал релаксацию двойного лучепреломления в растянутых полимерных пленках.

Интерес к двойному лучепреломлению в полимерных телах не ослабевает на протяжении десятков лет в связи с тем, что, во-первых, двойное лучепреломление тесно связано с анизотропией тела, т. е. с ориентацией макромолекул или их агрегатов, и является хорошим источником информации о структуре макромолекул и полимерного тела, об ее изменениях при различных воздействиях, в частности при деформации, набухании, воздействиях гидродинамического и электрического полей и т. п. [47, 57]; во-вторых, изучение двойного лучепреломления полимеров, особенно его релаксации, остро необходимо для научно обоснованного применения моделей из полимерных материалов в целях изучения механических напряжений в

сложных металлических изделиях и конструкциях, работающих в сложном напряженном состоянии. Естественно, что и изучение связи показателя преломления света со структурой изотропного полимера также постоянно было в поле зрения исследователей.

Другой крупной ветвью оптики полимеров было использование всех видов спектроскопии, прежде всего, обычной и поляризационной ИК-спектроскопии, для исследования строения макромолекул, меж- и внутримолекулярных взаимодействий, изменений взаимодействий при различных воздействиях [196, 362–373].

Для исследования структуры полимерных тел постоянно применялась световая микроскопия, а позднее и электронная. Следует заметить, что применение световой микроскопии к полимерам первоначально шло по линии изучения форм и грубого строения поперечных сечений натуральных, искусственных и синтетических волокон, грубой структуры кожи, распределения наполнителя в полимере и т. п. Поляризационно-оптические исследования волокон и пленок позволили (через изучение двойного лучепреломления) подойти к изучению ориентационных процессов, но только после открытия надмолекулярной структуры световая микроскопия совместно с электронной микроскопией [62, 106, 108, 109, 160, 172, 174, 175, 206, 374–377] получили широкое развитие и позволили раскрыть все богатство форм надмолекулярной структуры, их изменчивость при различных воздействиях и совместно с механическими исследованиями открыть пути физической модификации структуры и свойств полимерных тел.

В. Н. Цветковым с сотр. [47] широко развивались поляризационно-интерференционные методы исследования диффузии и седиментации в растворах полимеров, приведшие к существенному развитию представлений о конформационных и геометрических параметрах макромолекул различного строения, а также об их подвижности.

Дифракционные методы исследования полимеров развивались в СССР с середины 30-х годов, когда В. А. Каргин, Н. В. Михайлов, П. В. Козлов с их сотр. [118, 119] применили рентгеноструктурный анализ для изучения ориентационных процессов в волокнах и пленках. В. А. Каргин, Д. И. Лейпунская, В. Л. Карпов и З. Г. Пинскер [122, 123] использовали дифракцию электронов для изучения строения пленок целлюлозы и ее эфиров. Впоследствии рентгеноструктурный анализ полимеров получил в СССР очень широкое распространение, и его методы были существенно развиты, особенно А. И. Китайгородским, Д. Я. Цванкиным и их сотр. [378, 379], А. И. Слуцкером [380], Ю. А. Зубовым [324], а также Б. К. Вайнштейном [191].

С. Я. Френкель с сотрудниками, используя лазерную технику, развили теоретические и экспериментальные исследования дифракции монохроматического поляризованного света на полимерных объектах различной структуры [109, 381–383].

В. Е. Эскин с сотр. [384] разработали первый отечественный фотоэлектрический нефелометр высокой чувствительности и эффективно применили его для исследования рассеяния света в растворах полимеров в целях изучения полидисперсности полимеров, равновесной гибкости и конформационных превращений макромолекул, свойств сополимеров в растворе, взаимодействия макромолекул с растворителем и пр.

Следует также упомянуть и о развитии в 60–70-е годы ряда других направлений оптических исследований полимеров, в частности радиотермолюминесценции, комбинационного рассеяния света, воздействия лазерного и других излучений на структуру полимеров.

Все эти и другие оптические исследования полимеров и их растворов, рассмотренные более подробно в разделе статьи, посвященном структуре полимеров, сыграли большую роль в формировании структурных представлений физики полимеров и привели к созданию еще одного важного ее раздела – оптики, продолжающей быстро развиваться.

## Теплофизика полимеров

Этот раздел физики полимеров на протяжении ряда лет имел вспомогательное значение при изучении механических свойств полимеров, а также свойств их растворов. Развитая в 1945 г. В. В. Тарасовым [385] теория теплоемкости полимеров при низких температурах хотя и вызвала серьезные возражения [345], но стимулировала интерес к теплофизическим исследованиям полимеров.

Среди теплофизических исследований (термохимические работы в данном обзоре не рассматриваются) особенно важное значение имели работы С. Н. Журкова и Б. Я. Левина [386, 387], в которых была изучена температурная зависимость теплоемкости полимеров в области стеклования и показано, что скорость нагревания влияет лишь на форму кривой теплоемкости; работы [276, 277] по теплотам смещения полимеров, работы по теплотам растворения и разбавления полимеров, выполненные А. Л. Тагеф [24], Н. В. Михайловым, Л. Г. Токаревой и Э. З. Файнбергом [388], С. М. Липатовым, С. И. Меерсон и сотр. [389—391], исследовавшими зависимость этих теплот от химического строения полимера, в частности от молекулярной массы, фазового состояния, природы растворителя; работы по термографии полимеров Б. Я. Тейтельбаума с сотр. [35].

В дальнейшем, особенно за последние 10 лет, теплофизика полимеров получила в СССР значительное развитие благодаря работам Ю. С. Липатова с сотр. [392], Г. Л. Слонимского и Ю. К. Годовского [393—395], И. В. Сочавы с сотр. [396, 397] и других. Эти работы были направлены на изучение тепловых эффектов и кинетики структурных превращений в полимерах, в частности кинетики кристаллизации, а также на изучение энергетики деформации; особое внимание было обращено на влияние строения макромолекул и надмолекулярной структуры на теплофизические характеристики полимеров.

Следует особо отметить исследования В. Е. Эскина с сотр. [398, 399], в которых были изучены теплофизические свойства самих макромолекул.

Все эти работы, раскрывшие информативность современной калориметрии в исследованиях полимеров и их растворов, естественно, привлекли внимание ряда ученых и получили дальнейшее развитие. Другим серьезным фактором, стимулирующим фундаментальные и прикладные теплофизические исследования полимеров, является развитие технологии переработки полимеров, для научной разработки которой остро необходимо знание теплоемкостей, теплопроводностей, коэффициентов теплового расширения, теплообразования при деформациях в различных механических режимах и других теплофизических характеристик полимеров в различных их физических состояниях, а также знание влияния на теплофизические характеристики полимерных систем особенностей строения макромолекул, состава композиций и т. д.

## Заключение

Все изложенное выше позволяет понять истоки и пути развития физики полимеров в Советском Союзе, науки, возникшей в связи с решением крупных промышленных задач первых пятилеток, развивавшейся в теснейшем взаимодействии с химией и технологией высокомолекулярных соединений, а также с физикой, биологией и другими науками.

Огромную роль в расширении объема физических исследований полимеров сыграл майский Пленум ЦК КПСС 1958 года, когда в результате его решений резко возросли возможности научных исследований полимеров.

Реализация решений XXV съезда КПСС, поставивших перед советскими учеными новые задачи по дальнейшему развитию народного хозяйства, быстрейшему решению научных проблем, выдвигаемых промышленностью, и внедрению результатов научных разработок, несомненно, приведет как

к повышению эффективности производства полимерных изделий и повышению их качества, так и к дальнейшему развертыванию фундаментальных научных исследований, в том числе и в области физики полимеров.

За годы Советской власти возникло большое число научно-исследовательских институтов, в которых на высоком современном уровне ведутся физические исследования всех видов полимерных материалов. Такими наиболее известными научными центрами являются институты АН СССР (Ленинградский физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Институт высокомолекулярных соединений, Институт элементоорганических соединений, Институт нефтехимического синтеза, Институт химической физики, Институт физической химии), институты республиканских Академий наук (Институт химии высокомолекулярных соединений АН УССР, Институт механики полимеров АН ЛатвССР, Институт механики металло полимерных систем АН БССР), крупные промышленные институты (Физико-химический институт им. Л. Я. Карпова, Всесоюзный электротехнический институт им. В. И. Ленина, Научно-исследовательский институт шинной промышленности, Научно-исследовательский институт резиновой промышленности, Всесоюзный научно-исследовательский институт синтетического каучука им. С. В. Лебедева, Институт химии и технологии полимеров им. В. А. Каргина, Владимирский научно-исследовательский институт синтетических смол, Всесоюзный научно-исследовательский институт искусственного волокна). Всесторонние исследования физических и физико-химических свойств полимеров и полимерных материалов проводятся в университетах (Московском, Ленинградском, Уральском, Саратовском, Казанском и др.), высших технических учебных заведениях (Московский химико-технологический институт им. Д. И. Менделеева, Московский институт тонкой химической технологии им. М. В. Ломоносова, Московский технологический институт мясной и молочной промышленности и др.), в научно-производственных объединениях («Пластполимер», «Пластмассы», «Пластик») и других.

Развитие химии и физики полимеров привело к созданию журналов «Высокомолекулярные соединения» и «Механика полимеров», объединивших основную массу исследователей полимеров, изданию ряда уникальных монографий, энциклопедии полимеров, учебников для высшей школы и оригинальных обобщающих трудов, значительная часть которых приведена в списке литературы.

Начиная с 1943 г., конференции по высокомолекулярным соединениям созываются систематически и играют огромную роль в развитии исследований по физике полимеров.

Развитие физики полимеров в СССР четко подразделяется на два крупных этапа. Начальный этап, охватывающий период от середины 30-х до середины 50-х годов, характеризуется отказом от коллоидно-химических представлений и переходом к представлениям о молекулярной природе полимеров и их растворов. Ряд направлений этого этапа исследований продолжается до настоящего времени. Современный этап, начавшийся в 1957 г. в связи с обнаружением надмолекулярной структуры полимеров, характеризуется открытием различных ее форм во всех состояниях полимеров, разработкой физических представлений о флюктуационной природе и закономерностях упорядоченности макромолекул, раскрытием влияния надмолекулярной структуры на свойства полимеров, разработкой принципов управления физическим структурообразованием в полимерных телах.

Однако за последние 10–15 лет, прошедшие после создания фундаментальных представлений современной физики полимеров, существенно изменился характер физических исследований. Это изменение обусловлено рядом причин, прежде всего, синтезом большого числа различных новых типов макромолекул, применением к полимерам созданных к этому времени многочисленных новых точных физических методов исследования твердых и жидких тел, существенным расширением областей применения по-

лимерных материалов в связи с быстрым техническим прогрессом, значительным ростом числа исследователей, изучающих полимеры.

В результате работы исследователей за последние 10–15 лет, наряду с планомерным развитием принципиальных проблем, собран огромный ценный фактический материал по всем разделам физики полимеров и для всех классов полимеров, существенно укрепивший и расширивший созданные ранее основы этой науки, а также позволяющий более эффективно применять полимерные материалы.

В приведенном выше кратком изложении успехов физики полимеров в СССР, естественно, невозможно было ни охватить во всей полноте огромный объем исследований, выполненных за десятки лет (вне обзора, например, полностью остались физические исследования биополимеров, полимерных натуральных и искусственных пищевых веществ, работы по оценке микроструктуры полимерных цепей, механические исследования в области создания теории сопротивления полимерных материалов), ни даже перечислить всех советских ученых, работавших в этой области. В какой-то мере это может быть дополнено обширной библиографией, приведенной в цитированных обзорах и книгах.

Следует подчеркнуть, что советская физика полимеров всегда развивалась с учетом новейших достижений отечественных и зарубежных исследований. Результаты работ советских ученых по ряду направлений физики полимеров прочно вошли в мировую сокровищницу науки.

Научные работники, работающие в области полимерной науки, используют все свои знания и силы для дальнейшего развития фундаментальных исследований полимеров и полимерных материалов, для быстрейшего практического внедрения новых научных идей, для реализации разработанной XXV съездом КПСС программы строительства коммунистического общества.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сб. Строение и физико-механические свойства каучука, коллагена и производных целлюлозы, под ред. С. И. Соколова, Изд-во легкой пром-сти, 1937.
2. С. П. Папков, З. А. Роговин, В. А. Каргин, Ж. физ. химии, 10, 157, 1937.
3. С. П. Папков, В. А. Каргин, З. А. Роговин, Ж. физ. химии, 10, 607, 1937.
4. З. А. Роговин, С. П. Папков, В. А. Каргин, Ж. физ. химии, 10, 793, 1937.
5. В. А. Каргин, С. П. Папков, З. А. Роговин, Ж. физ. химии, 13, 206, 1939.
6. С. П. Папков, З. А. Роговин, В. А. Каргин, Acta Physicochim. URSS, 8, 647, 1938.
7. А. А. Тагер, В. А. Каргин, Ж. физ. химии, 15, 1029, 1941.
8. А. А. Тагер, В. А. Каргин, Коллоидн. ж., 10, 455, 1948.
9. В. А. Каргин, З. А. Роговин, А. А. Тагер, Коллоидн. ж., 3, 509, 1941.
10. А. А. Тагер, Сб. Высокомолекулярные соединения, Госхимиздат, 1945, вып. 3 стр. 1.
11. P. J. Flory, J. Chem. Phys., 9, 660, 1941.
12. P. J. Flory, J. Chem. Phys., 10, 51, 1942.
13. M. L. Huggins, J. Chem. Phys., 9, 440, 1941.
14. M. L. Huggins, J. Phys. Chem., 46, 151, 1942.
15. А. А. Тагер, Успехи химии, 18, 557, 1947.
16. А. А. Тагер, В. А. Каргин, Коллоидн. ж., 14, 367, 1952.
17. Т. В. Гаговская, В. А. Каргин, А. А. Тагер, Ж. физ. химии, 29, 883, 1955.
18. А. А. Тагер, Докторская диссертация, Москва, НИФХИ им. Л. Я. Карпова, 1956.
19. А. А. Тагер, В. Е. Древаль, Докл. АН СССР, 145, 136, 1962.
20. А. А. Тагер, М. В. Цилипогина, В. Е. Древаль, О. В. Нечаева, Высокомолек. соед., 5, 94, 1963.
21. А. А. Тагер, В. Е. Древаль, Н. Г. Троянова, Докл. АН СССР, 151, 140, 1963.
22. А. А. Тагер, Растворы высокомолекулярных соединений, Госхимиздат, 1951.
23. А. А. Тагер, Физико-химия полимеров, «Химия», 1964.
24. А. А. Тагер, Высокомолек. соед., A14, 2690, 1972.
25. Р. М. Васенин, А. Е. Чалых, Высокомолек. соед., 8, 2091, 1966.
26. А. Е. Чалых, Р. М. Васенин, Высокомолек. соед., 7, 586, 1965; 8, 1910, 1966.
27. С. П. Орлова, Р. М. Васенин, А. Е. Чалых, Высокомолек. соед., A9, 1739, 1967; A10, 1778, 1968.
28. С. Н. Журков, Докл. АН СССР, 47, 493, 1945.
29. С. Н. Журков, Р. И. Лерман, Докл. АН СССР, 47, 109, 1945.
30. В. А. Каргин, Ю. М. Малинский, Докл. АН СССР, 73, 967, 1950.
31. Г. П. Андрианова, Н. Ф. Бакеев, В. А. Каргин, Докл. АН СССР, 150, 334, 1963.

32. А. В. Ермолина, Л. А. Игонин, Л. А. Носова, И. И. Фарберова, К. Н. Власова, Докл. АН СССР, 138, 614, 1961.
33. С. А. Казакевич, П. В. Козлов, А. П. Писаренко, Физ.-химич. мех. материалов, 4, 247, 585, 1968.
34. Я. Мухаммед, Н. В. Перцов, Н. Ф. Бакеев, П. В. Козлов, Физ.-химич. мех. материалов, 7, 68, 1971.
35. Б. Я. Тейтельбаум, Н. П. Аношина, Успехи химии, 35, 142, 1967.
36. А. А. Аскадский, Л. К. Колмакова, А. А. Тагер, Г. Л. Слонимский, В. В. Коршак, Высокомолек. соед., A19, 1004, 1977.
37. В. В. Коршак, С. Р. Рафиков, Введение к изучению высокомолекулярных соединений, Изд-во АН СССР, 1946.
38. С. Р. Рафиков, С. А. Павлова, И. И. Твердохлебова, Методы определения молекулярных весов и полидисперсности высокомолекулярных соединений, Изд-во АН СССР, 1963.
39. И. И. Твердохлебова, Т. А. Ларина, Успехи химии, 14, 367, 1975.
40. В. В. Коршак, С. Р. Рафиков, Синтез и исследование высокомолекулярных соединений, Изд-во АН СССР, 1949.
41. И. И. Жуков, И. Я. Поддубный, А. В. Лебедев, Сб. Исследования в области высокомолекулярных соединений, Изд-во АН СССР, 1949, стр. 238.
42. И. И. Жуков, И. Я. Поддубный, А. В. Лебедев, Коллоидн. ж., 10, 423, 1948.
43. С. Е. Бреслер, С. Я. Френкель, Ж. техн. физики, 23, 1502, 1953.
44. С. Я. Френкель, Успехи физ. наук, 53, 161, 1954.
45. С. Я. Френкель, Высокомолек. соед., 2, 731, 1960.
46. С. Е. Бреслер, И. Я. Поддубный, С. Я. Френкель, Ж. техн. физики, 24, 169, 1954.
47. В. Н. Цветков, В. Е. Эскин, С. Я. Френкель, Структура макромолекул в растворах, «Наука», 1964.
48. В. Н. Цветков, Успехи физ. наук, 81, 51, 1963.
49. В. Н. Цветков, Успехи химии, 38, 1674, 1969.
50. В. Н. Цветков, Высокомолек. соед., A11, 132, 1969.
51. В. Е. Эскин, Докторская диссертация, Ленинград, ИВС АН СССР, 1968.
52. И. Н. Штеникова, Докторская диссертация, Ленинград, ИВС АН СССР, 1973.
53. Е. И. Рюмчев, Докторская диссертация, Ленинград, ЛГУ, 1976.
54. В. Н. Цветков, Высокомолек. соед., A18, 1621, 1976.
55. В. Н. Цветков, К. А. Андрианов, Е. И. Рюмчев, И. Н. Штеникова, Н. В. Погодина, Г. Ф. Колбина, Н. Н. Макарова, Высокомолек. соед., A17, 2493, 1975.
56. В. Н. Цветков, Высокомолек. соед., A16, 944, 1974.
57. М. В. Волькенштейн, Конфигурационная статистика полимерных цепей, Изд-во АН СССР, 1959.
58. Т. М. Бирштейн, О. Б. Птицын, Конформации макромолекул, «Наука», 1964.
59. О. Б. Птицын, Успехи физ. наук, 69, 371, 1959.
60. Ю. Я. Готлиб, М. В. Волькенштейн, Ж. техн. физики, 23, 1936, 1953.
61. Ю. Я. Готлиб, М. В. Волькенштейн, Докл. АН СССР, 89, 821, 1953.
62. М. Ф. Бухина, Кристаллизация каучуков и резин, «Химия», 1973.
63. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Б. И. Айходжаев, Докл. АН СССР, 120, 1277, 1958.
64. Е. В. Кувшинский, Докторская диссертация, Ленинград, ЛФТИ им. А. Ф. Иоффе, 1950.
65. А. А. Трапезников, А. Г. Пылаева, Докл. АН СССР, 185, 135, 1969.
66. А. А. Трапезников, А. С. Морозов, Г. Г. Петржик, Докл. АН СССР, 133, 637, 1960.
67. А. А. Трапезников, А. С. Морозов, Г. Г. Петржик, Коллоидн. ж., 22, 761, 1960.
68. Л. В. Иванова-Чумакова, П. А. Ребиндер, Коллоидн. ж., 18, 429, 1956.
69. А. А. Тагер, В. Е. Древаль, Ф. А. Хасина, Высокомолек. соед., 5, 432, 1963.
70. В. Е. Древаль, Докторская диссертация, Москва, НИФХИ им. Л. Я. Карпова, 1973.
71. Н. К. Блинова, С. И. Сергеенков, А. Я. Малкин, Ю. Г. Яновский, Г. В. Виноградов. Механика полимеров, 1973, 132.
72. П. И. Зубов, З. Н. Журкина, В. А. Каргин, Коллоидн. ж., 9, 109, 1947.
73. П. И. Зубов, З. Н. Журкина, В. А. Каргин, Коллоидн. ж., 9, 367, 1947.
74. П. И. Зубов, З. Н. Журкина, В. А. Каргин, Докл. АН СССР, 67, 659, 1949.
75. П. И. Зубов, Докторская диссертация, Москва, НИФХИ им. Л. Я. Карпова, 1949.
76. С. П. Папков, Студнеобразное состояние полимеров, «Химия», 1974.
77. С. П. Папков, Докторская диссертация, Москва, НИФХИ им. Л. Я. Карпова, 1967.
78. С. П. Папков, Физико-химические основы переработки растворов полимеров, «Химия», 1971.
79. М. М. Иовлева, С. П. Папков, Высокомолек. соед., 8, 855, 1966.
80. М. М. Иовлева, С. П. Папков, Высокомолек. соед., A16, 627, 1974.
81. С. П. Папков, М. М. Иовлева, Высокомолек. соед., A16, 534, 1974.
82. П. И. Зубов, З. Н. Журкина, В. А. Каргин, Коллоидн. ж., 16, 139, 1954.
83. Н. Ф. Прошлиякова, П. И. Зубов, В. А. Каргин, Коллоидн. ж., 20, 199, 1958.
84. П. И. Зубов, Н. Ф. Прошлиякова, В. А. Каргин, Коллоидн. ж., 20, 202, 1958.
85. Г. Л. Слонимский, Б. М. Коварская, С. И. Клаз, Коллоидн. ж., 16, 390, 1954.
86. Л. З. Роговина, Г. Л. Слонимский, Успехи химии, 43, 1102, 1974.
87. Г. Л. Слонимский, А. И. Китайгородский, Е. М. Белавцева, В. Б. Толстогузов, И. И. Мальцева, Высокомолек. соед., B10, 640, 1968.

88. Л. З. Роговина, Г. Л. Слонимский, Л. Л. Аксенова, Высокомолек. соед., A13, 1451, 1971.
89. Л. З. Роговина, Г. Л. Слонимский, Л. С. Гембицкий, Е. А. Серова, В. А. Григорьева, Е. Н. Губенкова, Высокомолек. соед., A15, 1256, 1973.
90. В. А. Григорьева, Л. З. Роговина, Г. Л. Слонимский, Высокомолек. соед., A17, 143, 1975.
91. В. А. Каргин, Н. Я. Рапопорт-Молодцов, Т. А. Богаевская, Т. А. Корецкая, Т. И. Соголова, Докл. АН СССР, 155, 1171, 1964.
92. Л. Н. Верхотина, Е. Н. Губенкова, Л. О. Гембицкий, Высокомолек. соед., B13, 625, 1971.
93. Процессы структурообразования в растворах и гелях полимеров под ред. В. М. Аверьяновой, Изд-во Саратовского ун-та, 1971.
94. Ю. С. Липатов, П. И. Зубов, Высокомолек. соед., I, 88, 432, 711, 1959.
95. Н. А. Платэ, В. П. Шибаев, Высокомолек. соед., A13, 410, 1971.
96. В. П. Шибаев, Р. В. Тальрове, Б. С. Петрухин, Н. А. Платэ, Высокомолек. соед., B13, 4, 1971.
97. С. Я. Френкель, Введение в статистическую теорию полимеризации, «Наука», 1965.
98. Ю. С. Липатов, Н. Ф. Прошлякова, Успехи химии, 26, 768, 1961.
99. С. А. Гликман, Введение в физическую химию высокополимеров, Изд-во Саратовского ун-та, 1959.
100. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Сб. Проблемы физической химии, Госхимиздат, 1958, вып. 1, стр. 18.
101. В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский, Успехи химии, 24, 785, 1955.
102. В. А. Каргин, А. И. Китайгородский, Г. Л. Слонимский, Коллоидн. ж., 19, 131, 1957.
103. В. А. Каргин, Н. Ф. Бакеев, Коллоидн. ж., 19, 133, 1957.
104. Б. И. Айходжаев, Т. И. Соголова, В. А. Каргин, Ж. физ. химии, 31, 2551, 1957.
105. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Т. К. Метельская, Высокомолек. соед., 4, 601, 1962.
106. Н. Ф. Бакеев, ЖВХО им. Д. И. Менделеева, 9, 630, 1964.
107. П. В. Козлов, ЖВХО им. Д. И. Менделеева, 9, 660, 1964.
108. В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский, Краткие очерки по физико-химии полимеров, «Химия», 1967.
109. С. Я. Френкель, Дополнения I и II в кн. Ф. Х. Джейла «Полимерные монокристаллы», «Химия», 1968, стр. 478.
110. П. П. Кобеко, Е. В. Кувшинский, Г. И. Гуревич, Изв. АН СССР, серия физич., I, 329, 1937.
111. J. Frenkel, Acta Physicochim. URSS, 9, 235, 1938.
112. А. П. Александров, Ю. С. Лазуркин, Ж. техн. физики, 9, 1249, 1939.
113. Ю. С. Лазуркин, Ж. техн. физики, 9, 1261, 1939.
114. Г. И. Гуревич, П. П. Кобеко, Ж. техн. физики, 9, 1267, 1939.
115. Г. Л. Слонимский, Ж. техн. физики, 9, 1791, 1939.
116. М. О. Корнфельд, Каучук и резина, 1939, № 9, 29; 1940, № 3, 14.
117. М. О. Корнфельд, В. Поздняк, Ж. техн. физики, 9, 275, 1939.
118. В. А. Каргин, Н. В. Михайлов, Ж. физ. химии, 14, 195, 1940.
119. П. В. Козлов, Физико-химия эфироцеллюлозных пленок, Госкиноиздат, 1948.
120. В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский, В кн. Совещание по вязкости жидкостей и коллоидных растворов, т. 1, Изд-во АН СССР, 1941, стр. 117.
121. В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский, Ж. техн. физики, 11, 341, 1941.
122. V. Kargin, V. Karpov, Z. Pinsker, Acta Physicochim. URSS, 7, 646, 1937.
123. В. А. Каргин, Д. И. Лейпунская, Ж. физ. химии, 14, 312, 1940; 15, 1011, 1941.
124. Труды первой и второй конференций по высокомолекулярным соединениям, под ред. акад. А. Ф. Иоффе, Изд-во АН СССР, 1945.
125. А. П. Александров, [124], стр. 7.
126. В. А. Каргин, [124], стр. 10.
127. Е. В. Кувшинский, [124], стр. 11.
128. П. В. Козлов, [124], стр. 12.
129. А. П. Александров, [124], стр. 49.
130. С. Н. Журков, [124], стр. 66.
131. В. А. Каргин, [124], стр. 60.
132. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Ж. физ. химии, 23, 530, 1949.
133. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Ж. физ. химии, 23, 540, 551, 1949.
134. Т. И. Соголова, В кн. Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов, т. III, «Машиностроение», 1973, стр. 81.
135. В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский, Докл. АН СССР, 62, 239, 1948.
136. В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский, Ж. физ. химии, 23, 563, 1949.
137. Г. Л. Слонимский, Докторская диссертация, Москва, НИФХИ им. Л. Я. Карпова, 1948.
138. R. B. Blizzard, J. Appl. Phys., 22, 730, 1951.
139. P. E. Rouse, Jr., J. Chem. Phys., 21, 1272, 1953.
140. M. L. Williams, R. F. Landel, J. D. Ferry, J. Amer. Chem. Soc., 77, 3701, 1955.
141. Cl. Maxwell, Phil. Trans., 157, 52, 1867.

142. А. П. Александров, Докторская диссертация, Ленинград, ЛФТИ им. А. Ф. Иоффе, 1941.
143. Г. И. Гуревич, Докл. АН СССР, 55, 497, 1947.
144. Г. И. Гуревич, Ж. техн. физики, 17, 1491, 1947.
145. Г. И. Гуревич, Деформируемость сред и распространение сейсмических волн, «Наука», 1974.
146. Б. А. Догадкин, Г. М. Бартенев, М. М. Резниковский, В кн. Исследования в области высокомолекулярных соединений, Изд-во АН СССР, 1949, стр. 297.
147. Г. Л. Слонимский, Докл. АН СССР, 140, 343, 1961.
148. Г. Л. Слонимский, Высокомолек. соед., A13, 450, 1971.
149. S. Havriliak, S. Negami, J. Polymer Sci., C14, 99, 1966.
150. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Докл. АН СССР, 88, 867, 1953.
151. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Ж. физ. химии, 27, 1039, 1208, 1213, 1325, 1953.
152. Ю. С. Лазуркин, Р. Л. Фогельсон, Ж. техн. физики, 21, 267, 1951.
153. Ю. С. Лазуркин, Докторская диссертация, Москва, Институт физических проблем АН СССР, 1954.
154. Yu. Sazurkin, J. Polymer Sci., 30, 595, 1958.
155. Т. И. Соголова, Докторская диссертация, Москва, НИФХИ им. Л. Я. Карпова, 1963.
156. V. A. Kargin, G. L. Slonimsky, Encyclopedia of Polymer Science and Technology, chapt. «Mechanical Properties», v. 8, p. 445, Interscience publishers, USA, 1968.
157. В. Е. Гуль, Структура и прочность полимеров, «Химия», 1971.
158. В. Е. Гуль, В. Н. Кулезнев, Структура и механические свойства полимеров, «Высшая школа», 1972.
159. А. А. Аскабский, Деформация полимеров, «Химия», 1973.
160. Г. П. Андрианова, Физико-химия полиолефинов, «Химия», 1974.
161. Г. И. Баренблatt, Прикл. матем. и мех., 28, 1048, 1964.
162. Г. И. Баренблatt, Мех. твердого тела, 1972, № 6, 96.
163. G. J. Barenblatt, Rheol. Acta, 13, 924, 1974.
164. В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский, Успехи химии, 24, 785, 1955.
165. Г. Л. Слонимский, Механика полимеров, 1972, 387.
166. Ф. Х. Джайл, Полимерные монокристаллы, «Химия», 1968.
167. С. А. Аржаков, Н. Ф. Бакеев, В. А. Кабанов, Высокомолек. соед., A15, 1154, 1973.
168. Б. Вундерлих, Физика макромолекул, «Мир», 1976.
169. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, В. М. Рубштейн, Высокомолек. соед., A10, 2017, 1968.
170. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Л. И. Надарейшивили, Высокомолек. соед., 6, 169, 1272, 1407, 1964.
171. Л. И. Надарейшивили, Т. И. Соголова, Доклад на XIII конференции по высокомолекулярным соединениям, 1962, стр. 8.
172. Т. И. Соголова, Механика полимеров, 1965, № 1, стр. 5.
173. Т. И. Соголова, ЖВХО им. Д. И. Менделеева, 21, 502, 1976.
174. Т. И. Соголова, Механика полимеров, 1966, 643; 1972, 395.
175. Т. И. Соголова, Сб. Успехи химии и физики полимеров, «Химия», 1970, стр. 232.
176. В. Е. Гуль, Н. Н. Туркова, М. Г. Голубева, Докл. АН СССР, 199, 135, 1971.
177. В. Е. Гуль, В. В. Коврига, А. М. Вассерман, Докл. АН СССР, 146, 656, 1962.
178. Г. М. Бартенев, Ю. В. Зеленев, Механика полимеров, 1969, 30.
179. Г. М. Бартенев, Ю. В. Зеленев, Курс физики полимеров, «Химия», 1976.
180. М. С. Акутин, Б. В. Андрианов, М. В. Котрелев, В. А. Каргин, Высокомолек. соед., 8, 2053, 1966.
181. М. С. Акутин, А. Н. Шабадаш, З. И. Салина, В. А. Голубев, Н. П. Бессонова, Высокомолек. соед., B14, 769, 1972.
182. М. С. Акутин, В. Е. Гуль, Г. Л. Слонимский, ЖВХО им. Д. И. Менделеева, 21, 486, 1976.
183. Т. И. Соголова, М. С. Акутин, Д. Я. Цванкин, М. Л. Кербер, Б. Г. Муджири, А. Ш. Чедрабаев, Высокомолек. соед., A17, 2505, 1975.
184. В. А. Бельй, В. А. Довгalo, О. Р. Юркевич, Полимерные покрытия, «Наука и техника», Минск, 1976.
185. E. Guth, H. Mark, Monatsch., 65, 93, 1934.
186. W. Kuhn, Kolloid-Z, 68, 2, 1934; 76, 258, 1936.
187. С. Е. Бреслер, Б. Л. Ерусалимский, Физика и химия макромолекул, «Наука», 1965.
188. С. Е. Бреслер, Я. И. Френкель, Ж. эксперим. и теор. физ., 9, 1094, 1939.
189. Я. И. Френкель, Кинетическая теория жидкостей, Изд-во АН СССР, 1945.
190. И. Я. Слоним, А. Н. Любимов, Ядерный магнитный резонанс в полимерах, «Химия», 1966.
191. Б. К. Вайнштейн, Дифракция рентгеновых лучей на цепных молекулах, Изд-во АН СССР, 1963.
192. Ю. К. Годовский, Сб. Успехи химии и физики полимеров, «Химия», 1970, стр. 173.
193. И. Я. Слоним, там же, стр. 386.
194. А. Л. Бучаченко, Я. С. Лебедев, М. Б. Нейман, там же, стр. 409.
195. А. Л. Бучаченко, А. Л. Коварский, А. М. Вассерман, Сб. Успехи химии и физики полимеров, «Химия», 1973, стр. 31.
196. И. В. Кумпаненко, К. С. Казанский, там же, стр. 64.
197. И. И. Перепечко, Акустические методы исследования полимеров, «Химия», 1973.

198. А. И. Маклаков, Докторская диссертация, Казань, Казанский гос. университет, 1970.
199. В. Н. Цветков, Сб. Синтез и модификация полимеров, «Наука», 1976, стр. 139.
200. Ю. С. Липатов, там же, стр. 175.
201. В. Е. Эскин, там же, стр. 183.
202. А. И. Маклаков, там же, стр. 192.
203. В. Г. Никольский, Д. Н. Сапожников, В. А. Точин, Высокомолек. соед., Б12, 19, 1970.
204. С. М. Самойлов, В. А. Аулов, Высокомолек. соед., А18, 984, 1976.
205. Т. И. Борисова, Докторская диссертация, Ленинград, ИВС АН СССР, 1976.
206. Н. Ф. Бакеев, Докторская диссертация, Москва, ИНХС им. А. В. Топчиева, 1967.
207. В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский, Кинетическая природа прочности твердых тел, «Наука», 1974.
208. В. А. Каргин, Успехи химии, 35, 1006, 1966.
209. J. Frenkel, Acta Physicochim. URSS, 19, 51, 1944.
210. В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский, Докл. АН СССР, 105, 751, 1955.
211. Г. Л. Слонимский, В. А. Каргин, Г. Н. Буйко, Е. В. Резцова, М. Льюис-Риера, Докл. АН СССР, 93, 523, 1953.
212. В. А. Каргин, Б. М. Коварская, Л. И. Голубенкова, М. С. Акутин, Г. Л. Слонимский, Химич. пром-сть, 1957, № 2, 13; Докл. АН СССР, 112, 485, 1957.
213. Б. М. Коварская, Л. И. Голубенкова, М. С. Акутин, П. И. Левантовская, Высокомолек. соед., 1, 1042, 1959.
214. Н. К. Барамбайм, Успехи химии, 28, 878, 1959.
215. Н. К. Барамбайм, Механохимия высокомолекулярных соединений, «Химия», 1971.
216. А. А. Берлин, Успехи химии, 27, 94, 1958.
217. А. А. Берлин, Е. А. Пенская, Докл. АН СССР, 110, 586, 1956.
218. Г. Л. Слонимский, Химич. наука и пром-сть, 1959, № 1, 73.
219. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Докл. АН СССР, 108, 662, 1956; Ж. физ. химии, 31, 1328, 1957.
220. Г. М. Бартенев, Ю. С. Зуев, Прочность и разрушение высокоэластических материалов, «Химия», 1964.
221. Г. А. Патрикес, Механика полимеров, 1971, 221.
222. Ю. С. Зуев, М. А. Ревазова, М. Ф. Бухина, Высокомолек. соед., Б11, 898, 1969.
223. Ю. С. Зуев, А. П. Комоликова, Высокомолек. соед., А18, 1503, 1976.
224. А. К. Малмейстер, В. П. Тамуж, Г. А. Тетерс, Сопротивление жестких полимерных материалов, изд. II, Рига, 1972.
225. Ю. М. Тарнопольский, А. М. Скудра, Конструкционная прочность и деформативность стеклошлистиков, Рига, 1966.
226. А. Л. Рабинович, Введение в механику армированных полимеров, «Наука», 1970.
227. Н. В. Михайлов, В. А. Каргин, Сб. Труды четвертой конференции по высокомолекулярным соединениям, Изд-во АН СССР, 1948, стр. 138.
228. А. В. Орлова, В. А. Берестнев, В. А. Каргин, Высокомолек. соед., 1, 740, 1959.
229. В. А. Берестнев, К. Х. Разиков, В. А. Каргин, Химия волокна, 1962, № 4, 51.
230. Г. Н. Кукин, Сб. Химия и физико-химия высокомолекулярных соединений, Изд-во АН СССР, 1952, стр. 298.
231. П. В. Козлов, Г. И. Брагинский, Химия и технология полимерных пленок, «Искусство», 1965.
232. В. А. Коршак, С. В. Виноградова, Гетероцепные полизэфиры, Изд-во АН СССР, 1958.
233. В. В. Коршак, Термостойкие полимеры, «Наука», 1969.
234. В. В. Коршак, Химическое строение и температурные характеристики полимеров, «Наука», 1970.
235. К. А. Андрианов, Полимеры с неорганическими главными цепями молекул, «Наука», 1962.
236. А. А. Аскадский, Г. Л. Слонимский, Успехи химии, 44, 1688, 1975.
237. К. А. Andrianov, G. L. Slonimsky, A. A. Zhdanov, V. Yu. Levin, Yu. K. Godovsky, V. A. Moskalenko, J. Polymer Sci., 10, A-1, 23, 1972.
238. Б. А. Догадкин, В. Н. Кулезинев, Коллоидн. ж., 20, 674, 1958.
239. Б. А. Догадкин, Б. К. Кармин, Коллоидн. ж., 9, 348, 1947.
240. Б. А. Догадкин, Химия и физика каучука, Госхимиздат, 1947.
241. Л. Н. Коржавин, Н. Р. Прокопчук, Ю. Г. Баклагина, Ф. С. Флоринский, Н. В. Ефanova, А. М. Дубнова, С. Я. Френкель, М. М. Котон, Высокомолек. соед., А18, 707, 1976.
242. Н. С. Суркова, Г. Т. Ткаченко, Е. А. Сидорович, Г. М. Толстопятов, А. И. Марей, Е. В. Кувшинский, Высокомолек. соед., А16, 1241, 1974.
243. Т. И. Соголова, М. И. Демина, Механика полимеров, 1975, № 5, 771; 1977, 387.
244. Г. Л. Слонимский, А. А. Аскадский, А. И. Китайгородский, Высокомолек. соед., А12, 494, 1970.
245. А. А. Аскадский, Г. Л. Слонимский, Ю. И. Матвеев, В. В. Коршак, Высокомолек. соед., А18, 2067, 1976.
246. Ю. С. Зуев, Разрушение полимеров под действием агрессивных сред, «Химия», 1972.
247. Ю. С. Зуев, Докторская диссертация, Москва, МИТХТ им. М. В. Ломоносова, 1963.

248. А. Н. Тынный, Прочность и разрушение полимеров под воздействием жидкокомпозиций, «Наукова думка», 1975.
249. А. Л. Волынский, А. Г. Алекскеров, Т. Е. Гроховская, Н. Ф. Бакеев, Высокомолек. соед., A18, 2114, 1976.
250. А. Л. Волынский, А. Г. Алекскеров, Т. Б. Заварова, А. Е. Скоробогатова, С. А. Аржаков, Н. Ф. Бакеев, Высокомолек. соед., A19, 845, 1977.
251. Г. Д. Андреевская, Высокопрочные ориентированные стеклопластики, «Наука», 1966.
252. Физико-химия и механика ориентированных стеклопластиков, «Наука», 1967.
253. И. В. Крагельский, Трение и износ, «Машиностроение», 1968.
254. Г. М. Бартенев, В. В. Лаврентьев, Трение и износ полимеров, «Химия», 1972.
255. С. Б. Ратнер, Е. Г. Лурье, Докл. АН СССР, 166, 909, 1966.
256. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. П. Краснов, А. Н. Чумаевская, Г. Л. Слонимский, А. А. Аскадский, С. В. Виноградова, Механика полимеров, 1970, 481.
257. И. А. Грибова, А. В. Виноградова, С. А. Павлова, А. Н. Чумаевская, Л. В. Дубровина, А. П. Краснов, В. А. Хомутов, В. В. Коршак, Механика полимеров, 1974, 634.
258. В. В. Коршак, И. А. Грибова, А. В. Виноградова, Я. В. Генин, А. П. Краснов, Д. Я. Цванкин, Б. В. Локшин, Г. Л. Гладышев, И. П. Лапутина, Механика полимеров, 1976, 649.
259. В. А. Белый, А. И. Свириденок, М. И. Петроковец, В. Г. Савкин, Трение полимеров, «Наука», 1972.
260. В. А. Белый, А. И. Свириденок, М. И. Петроковец, В. Г. Савкин, Трение и износ материалов на основе полимеров, «Наука и техника», 1976.
261. См. [207], стр. 76.
262. В. Е. Гуль, Н. Я. Сиднева, Б. А. Догадкин, Коллоидн. ж., 13, 422, 1951.
263. В. Р. Регель, Ж. техн. физики, 21, 287, 1951.
264. С. Н. Журков, Б. Н. Нарзуллаев, Ж. техн. физики, 23, 1677, 1953.
265. С. Н. Журков, Э. Е. Томашевский, Ж. техн. физики, 25, 66, 1955.
266. В. Н. Кулезнёв, Сб. Многокомпонентные полимерные системы, под ред. Р. Голда, «Химия», 1974, стр. 10.
267. С. Н. Журков, С. А. Абасов, Высокомолек. соед., 3, 441, 450, 1961; 4, 1703, 1962.
268. Г. М. Бартенев, Изв. АН СССР, Отд. техн. н., 1955, 53.
269. Г. М. Бартенев, Механика полимеров, 1966, 700.
270. В. Е. Гуль, Сб. Успехи химии и технологии полимеров, Госхимиздат, 1957, 202.
271. Р. А. Резникова, А. Д. Зайончковский, С. С. Воюцкий, Коллоидн. ж., 15, 108, 1953.
272. С. С. Воюцкий, А. Д. Зайончковский, В. А. Каргин, Р. А. Резникова, Докл. АН СССР, 94, 1093, 1954.
273. В. И. Алексеенко, И. У. Мишустин, Коллоидн. ж., 18, 257, 1956.
274. С. С. Воюцкий, В. И. Алексеенко, Л. Е. Калинина, Коллоидн. ж., 20, 20, 1958.
275. Г. Л. Слонимский, Н. Ф. Комская, Ж. физ. химии, 30, 1529, 1746, 1956.
276. Г. Л. Слонимский, Г. В. Струминский, Ж. физ. химии, 30, 1941, 2144, 1956.
277. G. L. Slonimsky, J. Polymer Sci., 30, 625, 1958.
278. В. Н. Кулезнёв, Б. А. Догадкин, Коллоидн. ж., 24, 306, 1962.
279. В. Н. Кулезнёв, Б. А. Догадкин, В. Д. Клыкова, Коллоидн. ж., 30, 255, 1968.
280. С. С. Воюцкий, В. Л. Вакула, Успехи химии, 33, 205, 1964.
281. С. С. Воюцкий, А. Н. Каменский, Н. М. Фодиман, Механика полимеров, 1966, 446.
282. В. Е. Гуль, Е. А. Пепская, В. Н. Кулезнёв, С. Г. Арутюнова, Докл. АН СССР, 160, 154, 1965.
283. См. [158], гл. IX.
284. В. Н. Кулезнёв, Докторская диссертация, Москва, МИТХТ им. М. В. Ломоносова, 1973.
285. Ю. С. Липатов, Л. М. Сергеева, Адсорбция полимеров, «Наукова думка», 1972.
286. А. Е. Нестеров, Ю. С. Липатов, Обращенная газовая хроматография в термодинамике полимеров, «Наукова думка», 1976.
287. Yu. Lipatov, F. J. Fabuljak, J. Appl. Polymer Sci., 16, 2131, 1972.
288. Yu. Lipatov, Plaste und Kautschuk, 20, 738, 1973.
289. Ю. С. Липатов, В кн. Успехи коллоидной химии, «Наука», 1973, стр. 309.
290. Ю. С. Липатов, Физическая химия наполненных полимеров, «Химия», 1977.
291. Ю. С. Липатов, В. П. Привалко, Высокомолек. соед., A14, 1643, 1972.
292. Yu. Lipatov, Advances Polymer Sci., 22, 2, 1976.
293. Yu. Lipatov, Pure Appl. Chem., 43, 273, 1975.
294. С. С. Воюцкий, Адгезия, Изд-во АН СССР, 1949.
295. С. С. Воюцкий, Аутогезия и адгезия полимеров, Ростехиздат, 1960.
296. Сб. Адгезия полимеров, под ред. П. В. Козлова, Изд-во АН СССР, 1963.
297. Л. Ф. Плиско, К. К. Острайко, В. В. Лаврентьев, В. Л. Вакула, С. С. Воюцкий, Высокомолек. соед., A15, 2579, 1973.
298. А. А. Берлин, В. Е. Басин, Основы адгезии полимеров, «Химия», 1974.
299. В. Е. Гуль, С. В. Генель, Л. Л. Фомина, Механика полимеров, 1970, 203.
300. В. Е. Гуль, М. А. Задоя, Высокомолек. соед., A18, 2000, 1976.
301. В. Л. Вакула, Докторская диссертация, Москва, МИТХТ им. М. В. Ломоносова, 1974.

302. В. А. Белый, Н. И. Егоренков, Ю. М. Плескачевская, Адгезия полимеров к металлу, «Наука и техника», 1971.
303. С. Б. Айнбinder, Механика полимеров, 1975, 421.
304. С. Б. Айнбinder, Механика полимеров, 1976, 831.
305. Н. А. Платэ, В. П. Шибаев, Р. В. Тальрозе, Сб. Успехи химии и физики полимеров, «Химия», 1973, стр. 127.
306. N. A. Plate, V. P. Shibaev, J. Polymer Sci., Macromolec. Rev., 8, 117, 1974.
307. К. А. Андрианов, Г. Л. Слонимский, Я. В. Генин, В. И. Герасимов, В. Ю. Левин, Н. Н. Макарова, Д. Я. Цвакин, Докл. АН СССР, 187, 1285, 1969.
308. К. А. Андрианов, Г. Л. Слонимский, В. Ю. Левин, Ю. П. Квачев, Н. Н. Макарова, Г. Н. Козлова, Высокомолек. соед., Б12, 875, 1970.
309. К. А. Андрианов, Г. Л. Слонимский, Н. Н. Макарова, В. С. Папков, В. Ю. Левин, Высокомолек. соед., Б14, 7, 1972.
310. К. А. Andrianov, G. L. Slonimsky, A. A. Zhdanov, D. Yu. Tsvankin, V. Yu. Levin, V. S. Papkov, Yu. P. Kvachev, E. M. Belavtseva, J. Polymer Sci., Polymer Chem. Ed., 14, 1205, 1976.
311. В. Н. Цветков, К. А. Андрианов, Е. И. Рюмцев, И. Н. Штениникова, М. Г. Витовская, Н. Н. Макарова, Н. А. Курашева, Высокомолек. соед., А15, 400, 1973.
312. Ю. В. Зеленев, Г. М. Бартенев, Сб. Релаксационные явления в твердых телах, «Металлургия», 1968, стр. 685.
313. Г. М. Бартенев, Ю. В. Зеленев, Высокомолек. соед., А14, 998, 1972.
314. Ю. В. Зеленев, Спектроскопия полимеров, «Наукова думка», 1968.
315. Ю. В. Зеленев, А. З. Варисов, А. И. Филиппев, Высокомолек. соед., А18, 1885, 1976.
316. Г. Л. Слонимский, П. И. Алексеев, Докл. АН СССР, 106, 1053, 1956.
317. Г. М. Бартенев, Л. А. Шелковникова, Механика полимеров, 1972, 720.
318. Г. И. Баренблatt, Ю. И. Козырев, Н. И. Малинин, Д. Я. Павлов, С. А. Шестериков, Докл. АН СССР, 166, 813, 1966.
319. Ю. С. Уржумцев, Р. Д. Максимов, Прогностика деформативности полимерных материалов, Рига, 1975.
320. Н. И. Шишкун, Ж. техн. физики, 25, 188, 196, 1955; Физика твердого тела, 2, 350, 1960.
321. С. А. Аржаков, Г. Л. Слонимский, Б. П. Штаркман, В. А. Каргин, Высокомолек. соед., 5, 1854, 1963.
322. С. А. Аржаков, Г. Л. Слонимский, В. И. Арулин, Высокомолек. соед., 6, 253, 1964.
323. С. Б. Айнбinder, К. И. Алексе, Э. Л. Тюнина, М. Г. Лака, Свойства полимеров при высоких давлениях, «Химия», 1973.
324. Ю. А. Зубов, Докторская диссертация, Москва, НИФХИ им. Л. Я. Карпова, 1976.
325. С. А. Рейтлингер, Проницаемость полимерных материалов, «Химия», 1974.
326. А. Е. Чалых, Докторская диссертация, Москва, ИФХ АН СССР, 1975.
327. Н. А. Платэ, В. П. Шибаев, ЖВХО им. Д. И. Менделеева, 9, 637, 1964.
328. В. А. Ашеров, Б. М. Гинзбург, С. Я. Френкель, Высокомолек. соед., А18, 1316, 1976.
329. С. С. Журков, Р. И. Лерман, Докл. АН СССР, 47, 109, 1945.
330. С. П. Папков, Высокомолек. соед., А19, 3, 1977.
331. В. П. Шибаев, Н. А. Платэ, Высокомолек. соед., А19, 923, 1977.
332. В. А. Каргин, П. В. Козлов, Р. М. Асимова, Л. И. Ананьев, Докл. АН СССР, 135, 357, 1960.
333. Г. В. Виноградов, Высокомолек. соед., А13, 294, 1971.
334. Г. В. Виноградов, Сб. Синтез и модификация полимеров, «Наука», 1976, стр. 156.
335. Г. В. Виноградов, Реология полимеров, «Химия», 1977.
336. Г. В. Виноградов, А. Я. Малкин, Ю. Г. Яновский, В. Ф. Шумский, Е. А. Дзюра, Механика полимеров, 1969, 164.
337. Л. А. Файтельсон, М. Г. Циприн, Механика полимеров, 1968, 515.
338. Л. А. Файтельсон, А. И. Алексеенко, Механика полимеров, 1976, 478.
339. И. П. Бриедис, Л. А. Файтельсон, Механика полимеров, 1975, № 3, 523; 1976, 120; 1976, 322.
340. Г. М. Бартенев, Ж. физ. химии, 24, 2007, 1955.
341. Г. М. Бартенев, Высокомолек. соед., 6, 335, 2155, 1964.
342. Г. М. Бартенев, Л. А. Вишницкая, Высокомолек. соед., 6, 751, 1964.
343. G. M. Bartenev, J. Polymer Sci., 8, A-1, 3417, 1970.
344. Р. В. Торнер, Л. Ф. Гудкова, Механика полимеров, 1968, 523.
345. П. П. Кобеко, Аморфные вещества, Изд-во АН СССР, 1952.
346. Г. П. Михайлов, Успехи химии, 24, 875, 1955.
347. G. P. Michailow, Makromolek. Chem., 35, 2. Sonderband, 26, 1960.
348. Г. П. Михайлов, Л. Л. Бурштейн, Успехи физ. наук, 74, 3, 1961; Высокомолек. соед., 6, 1713, 1964; 7, 866, 1965.
349. Г. П. Михайлов, Т. И. Борисова, Успехи физ. наук, 83, 63, 1964; Успехи химии, 30, 895, 1961.
350. Г. П. Михайлов, Т. И. Борисова, Л. Л. Бурштейн, Сб. Синтез, структура и свойства полимеров, «Наука», 1970, стр. 94.

351. *Б. И. Сажин, А. М. Лобанов, М. П. Эйдельштадт, С. Н. Жуков, О. С. Романовская*, Электрические свойства полимеров, «Химия», 1970.
352. Энциклопедия полимеров, т. I, «Советская энциклопедия», 1972, стр. 743.
353. *В. Е. Гуль, Л. И. Царский, Н. С. Майзель, Л. З. Шепфиль, В. С. Журавлев, Н. Г. Щибрэ*, Электроизводящие полимерные материалы, «Химия», 1968.
354. *Б. А. Догадкин, К. А. Печковская, Коллоидн. ж., 14, 250, 1952; Каучук и резина, 1957, № 8, 1.*
355. *В. Е. Гуль, Н. С. Майзель, Коллоидн. ж., 26, 1, 1964.*
356. *В. Е. Гуль, М. Г. Голубева, Коллоидн. ж., 29, 62, 1967; 30, 13, 1968.*
357. *В. Е. Гуль, Н. Г. Щибрэ, Докл. АН СССР, 185, 1297, 1969.*
358. *В. Е. Гуль, Г. А. Лущейкин, Б. А. Догадкин, Докл. АН СССР, 149, 302, 1963.*
359. *В. Е. Гуль, Г. А. Лущейкин, В. М. Фридман, Кристаллография, 7, 797, 1962.*
360. *А. В. Топчиев, М. А. Гайдерих, Б. Э. Давыдов, В. А. Каргин, Б. А. Кренцель, И. М. Кустанович, Л. С. Полак, Докл. АН СССР, 128, 329, 1959.*
361. Сб. Органические полупроводники, под ред. В. А. Каргина, «Наука», 1968.
362. Сб. Колебательные спектры и молекулярные процессы в каучуках, «Химия», 1965.
363. *С. Н. Жуков, В. И. Веттергель, И. И. Новак, К. С. Кашинцева, Докл. АН СССР, 176, 623, 1967.*
364. *В. Е. Корсуков, В. И. Веттергель, И. И. Новак, Механика полимеров, 1970, 167.*
365. *И. И. Новак, М. В. Шаблыгин, П. М. Пахомов, В. Е. Корсуков, Механика полимеров, 1975, 1077.*
366. *А. И. Куриленко, И. И. Новак, А. А. Шункевич, В. Е. Корсуков, Высокомолек. соед., A17, 2254, 1975.*
367. *П. М. Пахомов, М. Шерматов, В. Е. Корсуков, В. С. Куксенко, Высокомолек. соед., A18, 132, 1976.*
368. *В. Н. Никитин, М. В. Волькенштейн, Б. З. Волчек, Ж. техн. физики, 25, 2486, 1955.*
369. *Н. В. Михайлова, В. Н. Никитин, А. В. Сидорович, Н. А. Адрюса, Ю. Г. Баклагина, А. М. Дубнова, Н. В. Ефанова, Высокомолек. соед., A19, 1030, 1977.*
370. *А. И. Губанов, Механика полимеров, 1967, 608; 1967, 771.*
371. *В. А. Кособукин, Механика полимеров, 1970, 971; 1971, 579; 1972, 3.*
372. *Н. А. Соловьотова, Докторская диссертация, Москва, НИФХ им. Л. Я. Карпова, 1971.*
373. *Э. Ф. Олейник, Колебательная спектроскопия, в Энциклопедии полимеров, т. I, стр. 1062, «Советская энциклопедия», 1972.*
374. *В. А. Марихин, Л. П. Мясникова, М. Ш. Тухватуллина, Механика полимеров, 1972, 963.*
375. *С. Н. Жуков, В. А. Марихин, Л. П. Мясникова, А. И. Слуцкер, Высокомолек. соед., 7, 1041, 1965.*
376. *В. А. Марихин, Л. П. Мясникова, И. И. Новак, В. А. Сучков, М. Ш. Тухватуллина, Высокомолек. соед., A14, 2457, 1972.*
377. *В. И. Веттергель, В. А. Марихин, Л. П. Мясникова, А. Чмель, Высокомолек. соед., A17, 1546, 1975.*
378. *Д. Я. Цванкин, Докторская диссертация, Ленинград, ИВС АН СССР, 1970.*
379. *А. И. Китайгородский, Молекулярные кристаллы, «Наука», 1971.*
380. *А. И. Слуцкер, Докторская диссертация, Ленинград, ЛФТИ, 1968.*
381. *С. Я. Френкель, Т. И. Волков, В. Г. Баранов, Л. Г. Шалтыко, Высокомолек. соед., 7, 854, 1965.*
382. *В. Г. Баранов, Т. И. Волков, С. Я. Френкель, Высокомолек. соед., 7, 1565, 1965.*
383. *В. Г. Баранов, Докторская диссертация, Ленинград, ИВС АН СССР, 1972.*
384. *В. Е. Эскин, Рассеяние света растворами полимеров, «Наука», 1973.*
385. *В. В. Тарасов, Докл. АН СССР, 46, 22, 117, 1945; 54, 803, 1946.*
386. *С. Н. Жуков, Б. Я. Левин, Докл. АН СССР, 71, 89, 1949; 72, 269, 1950.*
387. *С. Н. Жуков, Б. Я. Левин, Сборник, посвященный семидесятилетию академика А. Ф. Иоффе, Изд-во АН СССР, 1950, стр. 260.*
388. *Н. В. Михайлова, Л. Г. Токарева, Э. З. Файнберг, Высокомолек. соед., 1, 404, 1959.*
389. *С. М. Липатов, С. И. Меерсон, Коллоидн. ж., 8, 143, 238, 1946.*
390. *С. М. Липатов, Б. Карцовник, Л. Бабич, Коллоидн. ж., 10, 349, 1948.*
391. *С. М. Липатов, С. И. Меерсон, Коллоидн. ж., 17, 230, 1955.*
392. *Ю. С. Липатов, Ю. Ю. Керча, Л. М. Сергеева, Структура и свойства полиуретанов, «Наукова думка», 1970.*
393. *Г. Л. Слонимский, Ю. К. Годовский, Высокомолек. соед., 7, 621, 1965; 8, 718, 1966.*
394. *Ю. К. Годовский, Сб. Успехи химии и физики полимеров, «Химия», 1970, стр. 173.*
395. *Ю. К. Годовский, Теплофизические методы исследования полимеров, «Химия», 1976.*
396. *И. В. Сочава, О. Н. Трапезникова, Докл. АН СССР, 113, 784, 1957; Вестник ЛГУ, серия физ. и хим., 13, 65, 1958; 20, 71, 1965.*
397. *И. В. Сочава, Докл. АН СССР, 190, 126, 1960; Вестник ЛГУ, серия физ. и хим., 16, 70, 1961; 19, 56, 1964.*
398. *В. Е. Эскин, О. З. Короткина, Высокомолек. соед., A14, 2058, 1972; A16, 41, 1974.*

399. А. И. Киппер, Г. В. Котельников, В. Е. Эскин, Высокомолек. соед., A18, 1173, 1976.
400. В. Е. Гуль, Коллоидн. ж., 13, 99, 1951.
401. В. Е. Гуль, Г. С. Клитеник, Коллоидн. ж., 16, 171, 1954.
402. В. Е. Гуль, В. А. Берестнев, Коллоидн. ж., 19, 552, 1957.
403. С. И. Меерсон, С. М. Липатов, Коллоидн. ж., 9, 423, 1947; 18, 447, 1956; 20, 353, 1958.
404. П. В. Козлов, В. А. Кабанов, А. А. Фролова, Высокомолек. соед., 1, 324, 1959.
405. К. Е. Перепелкин, Структурная обусловленность механических свойств высокопротивоударных волокон, ВНИИВ, 1970.
406. С. М. Липатов, Физико-химия коллоидов, Госхимиздат, 1948.
407. А. С. Кузьминский, М. Г. Майзельс, Н. Н. Лежнев, Докл. АН СССР, 21, 319, 1950.
408. Б. А. Догадкин, И. Соболева, М. Архангельская, Сб. Исследования в области высокомолекулярных соединений, Изд-во АН СССР, 1949, стр. 253.
409. В. А. Каргин, Н. Ф. Бакеев, Х. Вергин, Докл. АН СССР, 122, 97, 1958.
410. Ю. К. Овчинников, Г. С. Маркова, В. А. Каргин, Высокомолек. соед., A11, 329, 1969.
411. Э. В. Боян, Ю. К. Овчинников, Г. С. Маркова, Н. Ф. Бакеев. Высокомолек. соед., A16, 376, 1974.
412. У. К. Ovchinnikov, E. M. Antipov, G. S. Markova, N. F. Bakeev, Makromolek. Chem., 177, 1567, 1976.
413. П. В. Козлов, Н. Ф. Бакеев, А. С. Кафтанова, Ли-Пан-Тун, Высокомолек. соед., 3, 1734, 1961.
414. В. А. Каргин, Н. Ф. Бакеев, Т. С. Очаковская, Ли-Ли-шен, Высокомолек. соед., 2, 280, 1960.
415. Л. П. Василевская, П. В. Козлов, Н. Ф. Бакеев, Высокомолек. соед., 7, 2178, 1965.
416. В. А. Каргин, Т. А. Корецкая, Т. А. Богаевская, Высокомолек. соед., 6, 441, 1964.
417. М. Б. Константинопольская, З. Я. Берестнева, В. А. Каргин, Коллоидн. ж., 25, 174, 1963.
418. М. Б. Константинопольская, З. Я. Берестнева, В. А. Каргин, Высокомолек. соед., 5, 1702, 1963.
419. В. Г. Баранов, Высокомолек. соед., 8, 2117, 1966.
420. К. А. Гаспарян, В. Г. Баранов, С. Я. Френкель. Высокомолек. соед., A10, 192, 1968.
421. В. А. Каргин, И. И. Горина, Высокомолек. соед., 7, 220, 1965.
422. В. А. Каргин, И. И. Горина, Докл. АН СССР, 165, 1108, 1965.
423. Д. Я. Цванкин, Высокомолек. соед., 6, 2078, 2083, 1964.
424. Д. Я. Цванкин, Кристаллография, 12, 555, 1967.
425. Ю. А. Зубов, Д. Я. Цванкин, Высокомолек. соед., 6, 2131, 1964.
426. В. А. Марихин, А. И. Слуцкер, А. А. Ястребинский, Физика твердого тела, 7, 441, 1965.
427. С. Н. Журков, А. И. Слуцкер, А. А. Ястребинский, Физика твердого тела, 6, 3601, 1964.
428. В. А. Марихин, Л. П. Мясникова, Н. М. Викторова, Высокомолек. соед., A18, 1302, 1976.
429. В. А. Марихин, Физика твердого тела, 19, 1038, 1977.
430. Б. М. Гинзбург, Л. Н. Коржавин, С. Я. Френкель, Л. А. Лайус, Н. А. Гуроева, Высокомолек. соед., 8, 278, 1966.
431. В. И. Герасимов, Д. Я. Цванкин, Высокомолек. соед., A11, 2652, 1969; A12, 2599, 1970.
432. Я. В. Тенин, В. И. Герасимов, Д. Я. Цванкин, Высокомолек. соед., A15, 1798, 1973.
433. V. I. Gerasimov, Ya. V. Genin, D. Ya. Tsvankin, J. Polymer Sci., Polymer Phys. Ed., 12, 2035, 1974.
434. Ю. А. Зубов, В. И. Селихова, В. А. Каргин, Высокомолек. соед., A9, 353, 1967.
435. А. Н. Озерин, М. Б. Константинопольская, Ю. А. Зубов, Высокомолек. соед., A16, 2511, 1974.
436. Ю. А. Зубов, Б. С. Петрухин, В. П. Шибаев, Высокомолек. соед., B12, 290, 1970.
437. А. Е. Громов, А. И. Слуцкер, Сб. Карбоцепные высокомолекулярные соединения, Изд-во АН СССР, 1963, стр. 247.
438. А. Е. Громов, А. И. Слуцкер, Высокомолек. соед., 7, 546, 1965.
439. К. А. Гаспарян, Н. Голоубек, В. Г. Баранов, С. Я. Френкель, Высокомолек. соед., A10, 86, 1968.
440. Т. И. Волков, В. И. Громов, В. Г. Баранов, С. Я. Френкель, Механика полимеров, 1969, 771.
441. Б. М. Гинзбург, Ш. Туйчиев, И. Т. Монева, С. Я. Френкель, Высокомолек. соед., A13, 2218, 1971.
442. Ю. А. Зубов, В. И. Селихова, М. Б. Константинопольская, А. П. Коробко, Г. П. Белов, Высокомолек. соед., B12, 570, 1970.
443. Ю. А. Зубов, А. Н. Озерин, Н. Ф. Бакеев, Н. М. Котов, В. И. Селихова, В. С. Ширец, Г. П. Белов, Докл. АН СССР, 217, 1118, 1974.

444. Ю. А. Зубов, А. Н. Озерин, Н. Ф. Бакеев, Докл. АН СССР, 221, 121, 1975.
445. М. Ф. Бухина, Докторская диссертация, Москва, НИФХИ им. Л. Я. Карпова, 1976.
446. Л. А. Сухарева, Докторская диссертация, Москва, ИФХ АН СССР, 1972.
447. Х. У. Усманов, Г. В. Никонович, Электронная микроскопия целлюлозы, Ташкент, 1962.
448. Н. А. Платэ, М. Азори, О. С. Матюхина, В. А. Каргин, Высокомолек. соед., 8, 1727, 1966.
449. Д. Н. Борт, Докторская диссертация, Москва, МГУ, 1976.
450. В. А. Каргин, J. Polymer Sci., C 4, 1627, 1964.
451. С. Н. Колесов, Структурная электрофизика полимерных диэлектриков, Ташкент, 1975.