

# ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ

Том (A) X

# СОЕДИНЕНИЯ

№ 5

1968

## ОБЗОРЫ

УДК 678-01:53

### ВКЛАД СОВЕТСКИХ УЧЕНЫХ В ИССЛЕДОВАНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРОВ

Т. И. Борисова, Л. Л. Бурштейн

Успехи химии, с которыми связано получение синтетических высокомолекулярных соединений, привели к развитию ряда направлений физики, обусловленных необходимостью исследования строения и свойств синтетических полимеров. Практическое использование полимерных материалов поставило задачу исчерпывающего описания комплекса их физических свойств в различных условиях, в частности в широком интервале температур. С точки зрения развития теории строения и свойств полимеров не менее актуальными были и остаются до настоящего времени исследования молекулярной и надмолекулярной структур, теплового движения и молекулярных взаимодействий, связанных с химическим строением высокомолекулярных соединений.

В первое десятилетие после Великой Октябрьской социалистической революции работами виднейших советских ученых Иоффе, Семенова, Френкеля и других были созданы предпосылки к успешному решению принципиально новых проблем физико-химии полимеров. В числе этих проблем важное место было отведено изучению диэлектрических свойств полимеров. В тридцатых годах в этой области развернулись экспериментальные работы под руководством Кобеко, Михайловым, Кувшинским и их сотрудниками были получены первые результаты, сыгравшие большую роль в формировании современных взглядов на природу диэлектрических свойств полимеров — электропроводность, диэлектрическую проницаемость и диэлектрические потери. Эти результаты в совокупности с данными исследований динамических измерений и др. послужили основой для развития представлений о релаксационных явлениях в полимерах. Александровым, Кобеко, Лазуркным и др. было получено экспериментальное подтверждение предположениям об общности процессов релаксации объема, электрической поляризации, механических напряжений. Было показано, что кинетические особенности макромолекулы и ее частей в ряде случаев определяют важнейшие физические свойства полимеров, например, переход из стеклообразного состояния в высокозластическое, свойства полимеров в вязко-текучем состоянии и пр. Диэлектрический метод начинает широко использоваться как средство изучения релаксационных явлений в полимерах.

Прогрессивное влияние на развитие теоретических воззрений на природу релаксационных явлений в полимерах оказало построение Каргиним и Слонимским механической модели полимерной цепи [1]. Модификации этой модели были положены в основу многих теоретических разработок советских и зарубежных авторов. К их числу должны быть отнесены и приводимые в настоящее время исследования Готлиба, в которых делается попытка дать математическое описание не только низкочастотных, но и высокочастотных, например, дипольно-групповых процессов в полимерах [2].

Изучение диэлектрической поляризации и ее релаксации в полимерных диэлектриках с целью установления ее закономерностей и связи со строением было начато около тридцати лет назад. Ведущая роль в развитии работ в этом направлении принадлежала научной школе Кобеко, и, в первую очередь, Михайлову.

В сороковых годах Кобеко и Михайловым были исследованы диэлектрические свойства полярных и неполярных полимеров, оценены значения тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости соединений, которые могли быть использованы в качестве низкочастотных или высокочастотных диэлектриков [3]. Им было показано существование в полярных полимерах двух типов релаксационных дипольных потерь: дипольно-эластических и дипольно-радикальных\*, связанных

\* В последние годы, как более конкретная, утвердилась новая терминология: дипольно-сегментальные и дипольно-групповые процессы релаксации поляризации.

ных с установлением поляризации в процессе теплового движения полимера при температуре выше температуры стеклования ( $T_c$ ) и в стеклообразном состоянии. Экспериментально были изучены некоторые закономерности влияния строения на диэлектрические потери в каучуках и пластмассах.

Кобеко, Михайлов и Новикова впервые исследовали диэлектрические свойства сополимеров, синтезированных из полярных и неполярных мономеров [4]. Они показали принципиальную возможность получения на основе сополимеров диэлектрика с пулевым температурным коэффициентом диэлектрической проницаемости, что важно при изготовлении конденсаторов для высокостабильной радиоэлектронной аппаратуры [5].

В работах Михайлова того времени были описаны также первые результаты изучения влияния ориентационной вытяжки [5, 6], пластификации и других факторов на релаксацию дипольной поляризации в полимерах.

Существенно новый этап исследований в области диэлектрических свойств полимеров возник с начала пятидесятых годов. Центр тяжести работ сосредоточился на систематическом изучении полимеров с моделированной структурой.

В 1950 г. Кобеко и Кумшацкой были изучены диэлектрические потери и проницаемость полимеров гомологического ряда эфиров метакриловой кислоты [7]. Результаты продемонстрировали закономерности изменения времен релаксации и энергии активации дипольной поляризации, изменения величин угла диэлектрических потерь при удлинении или разветвлении боковой цепочки и при введении в нее циклизованных групп.

В 1952 г. Фаттаховым опубликованы данные по изучению электрических свойств галоидозамещенных полистиролов [8]. Автор показал влияние распределения времен релаксации на характер частотных зависимостей коэффициента диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости.

Михайловым с сотр. было проведено обширное исследование диэлектрических потерь и релаксационных свойств полиэтилена высокого и низкого давления [9, 10]. Удалось установить связь степени окисленности и значения угла диэлектрических потерь полимера, проследить влияние режима тепловой обработки, определить зависимость диэлектрических характеристик полиэтилена низкого давления от остаточных количеств катализатора. Михайловым и Дмитренко была разработана специальная высокочастотная аппаратура для контроля диэлектрических потерь полиэтилена в области максимума коэффициента потерь [11]. Ее внедрение в практику заводских лабораторий намного увеличило надежность оценки качества данного диэлектрика.

Подбор в качестве объектов изучения полимеров с определенным строением химического звена или цепи в целом дал ответ на ряд вопросов о влиянии молекулярной и надмолекулярной структуры и молекулярных взаимодействий на тепловое движение и релаксационные процессы. Систематически и всесторонне были изучены процессы дипольной релаксации виниловых полимеров, звено которых имеет одинаковый химический состав, но разные изомерные боковые цепи [12], или включают группы, создающие стерическое торможение внутреннему вращению [13].

Температурно-частотные зависимости дипольных потерь и диэлектрической проницаемости позволяют изучить многообразие форм теплового движения в полимерах, оценить времена релаксации дипольной поляризации, связанной с каждым видом кинетически независимых единиц макромолекул, если такие являются полярными. Путем последовательного замещения в звене полимерной цепи неполярных групп полярными в работах Михайлова было исследовано влияние полярности и места присоединения дипольной группы на диэлектрические потери и температуру стеклования полимеров [14]. Было показано, что в стеклообразном состоянии в полимере сохраняют подвижность различного рода локальные атомные группировки в главной или боковой цепи. Михайлову с сотр. удалось впервые выявить методом диэлектрических потерь особенности теплового движения макромолекул блочных полимеров при температурах, намного превышающих  $T_c$ . В этих условиях релаксация поляризации, связанной с движением сегментов основной цепи и боковых привесков, совпадает по времени релаксации и энергии активации, т. е. практически сливается в один процесс. По своим характеристикам последний отличается от дипольно-групповых и дипольно-сегментальных процессов при температуре вблизи  $T_c$  и соответствует специфической форме теплового движения [15].

Особенностям дипольных процессов и теплового движения в каучукоподобных полимерах различного строения посвящены также работы Бартенева и Зеленева [16].

Разработка методов каталитической полимеризации и получение полимеров заданной стереорегулярности выдвинуло необходимость количественной оценки микротактичности молекулы полимера. В работах Михайлова было показано, что наряду с ядерным магнитным резонансом и ИК-спектроскопией сведения о микротактичности могут быть получены путем исследования как дипольных моментов, так и диэлектрических потерь полимеров, причем последний способ пригоден для изучения не только растворов, но и пленочных образцов [17].

С проблемой волокнообразования связана актуальность всестороннего исследования ориентированного состояния полимеров, поэтому в последние годы было интен-

сифицировано изучение диэлектрических свойств полимерных образцов, подвергнутых ориентационной вытяжке. Получены результаты, показывающие чувствительность диэлектрических измерений к структурным изменениям, вызванным ориентацией макромолекул полимера в высокомодулем и стеклообразном состояниях. Меняются характеристики дипольной релаксации — изменяются величины коэффициента потерь, ширина набора времен релаксации, появляется анизотропия диэлектрической проницаемости.

Представления Каргина, Слонимского и Китайгородского о существовании конкретных форм надмолекулярного строения внесли необходимость дополнений в оценке природы релаксационных явлений в полимерах. Прежде всего это относится к кристаллическим полимерам, но и в аморфных системах, в частности содержащих пластификатор, установлена связь дипольной релаксации с изменением надмолекулярной структуры [18].

В последние годы были развиты исследования специфики релаксации дипольной поляризации и броуновского движения макромолекул в разбавленных растворах [19, 20]. Установлено, что время релаксации практически не зависит от концентрации полимера при содержании последнего в растворе от 2% и меньше. Получены данные о преобладающем значении внутримолекулярных взаимодействий недипольного характера. Сопоставление параметров дипольной релаксации полимеров в блоке и растворе показывает, что процесс в растворе отличен и от дипольно-сегментального, и от дипольно-группового процессов в блочных полимерах.

Исследование диэлектрических свойств разбавленных растворов полярных полимеров в неполярной среде дает возможность оценить не только параметры дипольной релаксации, но и дипольный момент звена макромолекулы ( $\mu_0$ ) и параметр корреляции диполей ( $g$ ). Успех последнего зависит от того, в какой степени математическое выражение соотношения статической диэлектрической проницаемости с молекулярными величинами  $\mu_0$  и  $g$  отражает их реальную связь. Иными словами, точность оценки  $\mu_0$  и  $g$  определяется строгостью современных теорий поляризации и возможностью их применения к полимерам в растворе и в блоке.

Первой экспериментальной попыткой распространить теорию поляризации Дебая на «твердые» растворы полярных полимеров явилась работа Кобеко с сотр. по определению дипольных моментов в сополимерах метилметакрилата со стиролом и метилвинилкетона со стиролом [21]. Возможность применения теории полярных жидкостей Дебая для оценки дипольного момента полярного звена и анализа механизма смещения диполей в блочных полимерах определялась тем, что сополимер имитирует собой твердый раствор, в котором взаимодействие между полярными группами ослаблено из-за статистического чередования полярных и неполярных звеньев в цепи. Полученные результаты свидетельствовали о том, что теория поляризации может быть использована для полимеров в блочном состоянии. Аналогичные результаты, а также возможность расчета дипольных моментов полимеров в растворе были показаны в одной из первых работ по исследованию полимеров и сополимеров гомологического ряда эфиров метакриловой кислоты [2]. Эти работы имели принципиальное значение с точки зрения понимания молекулярного механизма, показывая, что в разбавленных растворах и в блочном состоянии при  $T > T_c$  макромолекула ориентируется в электрическом поле не как жесткое образование, а в результате парциального движения ее частей.

Развитие статистических теорий поляризации привело к возможности более широкого применения их к полимерам. В настоящее время расчет молекулярных параметров производится не только для слабополярных сополимеров, но и для полярных гомополимеров в стеклообразном и в высокомодулем состояниях. Получаемая информация позволяет проанализировать внутри- и межмолекулярное взаимодействие в полимерах различной структуры в широком интервале температур. Наиболее целесообразным является использование метода диэлектрической поляризации при анализе внутримолекулярного взаимодействия ближнего порядка, которое определяется заторможенностью внутреннего вращения в полимерной цепи. Эти исследования были начаты под руководством Кобеко при изучении дипольных моментов галоидопроизводных полистирола [23] и в дальнейшем развиты Михайловым с сотр.

В низкомолекулярных соединениях изолированная полярная молекула (в разбавленном растворе неполярного растворителя) характеризуется значением дипольного момента  $\mu_0$ , определяемого стереохимической структурой данного соединения. Дипольный момент полимерной молекулы определяется не только величиной  $\mu_0$  (дипольный момент звена), но и конформацией всей цепи. Каждая конформация характеризуется дипольным моментом, равным векторной сумме дипольных моментов полярных групп, расположенных вдоль цепи. Средний квадрат дипольного момента звена гибкой цепи рассматривается как эффективная величина и определяется из соотношения  $\bar{M}^2 / N = g\mu_0^2 = \mu_{\text{эфф}}^2$ , где  $\bar{M}^2$  — средний квадрат дипольного момента всей макромолекулы,  $N$  — число полярных звеньев в цепи.

Как было показано в ряде теоретических работ [24], корреляционный параметр  $g$  является функцией величин, характеризующих заторможенность внутреннего вращения в полимерной цепи. Экспериментальное определение корреляционного параметра основано на возможности применения статистических теорий поляризации при исследовании растворов полимеров и расчетом на их базе величины  $\mu_{\text{эфф}}$ . Сопоставле-

ние  $\mu_{\text{эфф}}$  и  $\mu_0$  (последний получают при исследовании низкомолекулярного аналога, например, гидрированного мономера в том же растворителе) дает величину  $g$ . На основании большого числа экспериментальных данных по изучению полимеров оказалось возможным оценить проявление заторможенного внутреннего вращения в полимерах различного строения звена или цепи. Наиболее важные результаты исследований дипольных моментов и корреляционных параметров, которые иллюстрируют большую чувствительность этих величин к условиям внутреннего вращения, приведены в таблице.

**Дипольные моменты и корреляционные параметры некоторых полимеров**

| Полимер   | $\mu^2_{\text{эфф}}/\mu^2_0 = g$ | Примечание           | Ссылка   |
|---|----------------------------------|----------------------|----------|
| Полифенилметакрилат, $\mu_0 = 1,75 \text{ Д}$     | 0,64                             | Полярность монозвена | [25]     |
| Полихлорфенилметакрилат, $\mu_0 = 2,73 \text{ Д}$ | 0,40                             |                      |          |
| Полиметилметакрилат                               | 0,58                             | Строение бокового    | [26, 27] |
| Полиэтилметакрилат                                | 0,60                             |                      |          |
| Полибутилметакрилат                               | 0,59                             | радикала             |          |
| Хлорстирол : стирол = 1 : 1                       | 0,50                             | Двойные связи в цепи | [28]     |
| Хлорстирол : изопрен = 1 : 1                      | 0,65                             |                      |          |
| Полиортокарбоэтоксифенилметакриламид              | 0,56                             | Водородная связь     | [29]     |
| Полипаракарбоэтоксифенилметакриламид              | 0,30                             |                      |          |

Изучение полимеров с различным дипольным моментом  $\mu_0$  [25] показало, что заторможенность внутреннего вращения при прочих равных условиях выше в полимерах с большим дипольным моментом монозвена. Например, для полифенилметакрилата ( $\mu_0 = 1,75 \text{ Д}$ ) и полихлорфенилметакрилата ( $\mu_0 = 2,73 \text{ Д}$ ) полученные величины  $g$  составляют  $0,64 \pm 0,05$  и  $0,40 \pm 0,05$ , что свидетельствует о большей корреляции полярных групп в более полярном полимере.

Систематическое исследование гомологических рядов полимеров [26, 27] убедительно показало независимость заторможенности внутреннего вращения при переходе от первых гомологов к последующим. В таблице это иллюстрировано дипольными моментами полиалкилметакрилатов, для которых  $g$  не зависит от длины бокового привеска.

Наличие двойных связей в цепи макромолекулы должно изменять условия внутреннего вращения вследствие увеличения гибкости полимера. Количественная оценка этого явления была дана при исследовании дипольных моментов сополимеров одной и той же полярности: хлорстирол со стиролом и хлорстирол с изопреном [28]. Увеличение  $g$  при замене стирола на изопрен характеризует изменение заторможенности внутреннего вращения и соответственного возрастания гибкости цепочки.

Большой интерес при исследовании структуры макромолекул представляет оценка влияния внутримолекулярной водородной связи на заторможенность внутреннего вращения в полимерах. Характерными в данном случае являются результаты исследования дипольных моментов полимеров *ortho*- и *para*-карбоэтоксифенилметакриламидов [29]. Наличие внутримолекулярной водородной связи между звеньями макромолекулы, установленной методом ИК-спектроскопии, приводит к резкому уменьшению величин  $g$  по сравнению с *ortho*-изомерами, где водородная связь реализуется внутри звена.

Зависимость эффективного дипольного момента и параметра корреляции от заторможенности внутреннего вращения, которая прежде всего связана с взаимодействием ближнего порядка, определила дальнейшее направление исследований в этой области. В настоящее время наиболее важным представляется изучение микроструктуры цепи, которое проводится в двух направлениях: исследование сополимеров и стереорегулярных гомополимеров.

При рассмотрении статистических сополимеров необходимо установление зависимости дипольного момента от состава сополимера, которая будет определяться строением и полярного и неполярного мономеров [30–32]. В то же время дипольный момент блок-сополимеров не зависит от состава [33, 34]. Эти данные свидетельствуют о том, что метод дипольных моментов может быть использован при анализе микроструктуры полимеров для контроля статистического чередования или блочной структуры в цепи сополимера.

Особо следует подчеркнуть развитие исследований статической дизелектрической поляризации растворов в зависимости от температуры. В случае стереорегулярных полимеров методом дипольных моментов впервые были обнаружены явления, указывающие на наличие конформационных переходов в изолированной макромолекуле при некоторой температуре [35].

В настоящее время исследование диэлектрической поляризации разбавленных растворов полярных полимеров методом дипольных моментов является одним из надежных структурных методов изучения специфического строения макромолекул, позволяющим получить важную информацию о внутримолекулярных взаимодействиях в полимерах.

Постановка исследований диэлектрической поляризации и ее релаксации в полимерах была бы невозможна без создания новой совершенной аппаратуры для измерения диэлектрических потерь и проницаемости в широком диапазоне частот и температур. Крупные разработки в этом направлении проводились Михайловым с сотр., Сканави с сотр. и др. Особое значение придавалось повышению сверхвысокочастотной границы измерений, что имеет не только теоретический смысл, но и практически важно при испытании высокочастотных диэлектриков.

Для измерений диэлектрических потерь полимеров Сажином применен метод электропроводности при постоянном токе, который расширяет диапазон в сторону низких частот [36].

Кобеко, Кувшинскому и Шишкому принадлежат работы по исследованию природы и закономерностей электропроводности, перекинувшие мост от низкомолекулярных жидкостей к полимерам.

Кувшинский исследовал прохождение тока через пластифицированную и непластифицированную ацетилцеллюлозу, показав явление формовки в полимерах [37]. Изучая зависимость удельного электрического сопротивления от температуры, Кобеко, Кувшинский и Шишков выявили наличие излома кривой  $\lg \rho_v = \phi(1/T)$  при температуре перехода аморфной модификации в кристаллическую [38, 39]. Такого же рода изломы в ходе температурных зависимостей  $\lg \rho_v$  были обнаружены и для большого числа полимеров вблизи  $T_c$  [40].

Кобеко и Шишковым проведены измерения удельного электрического сопротивления при постоянном объеме и при постоянном давлении [40].

Изучая электропроводность жидкостей и полимеров, Шишков сопоставил явления электропроводности, вязкости, диэлектрических потерь и диффузии, подвергнув анализу соответствующие значения энергии активации [41].

Позднее серия работ по электропроводности полимеров была выполнена Сажиным с сотр. Главным направлением этих работ следует считать установление связей электропроводности с молекулярной и надмолекулярной структурой полимеров [36].

Качественно новый этап науки об электропроводности полимеров был открыт с появлением полимерных полупроводников, макромолекулы которых включают большое количество сопряженных связей.

Накапливаются знания по проблеме электрической прочности полимеров и другим вопросам, которые могут быть объединены под общим понятием «электрические свойства полимеров».

Комплекс сведений о связи молекулярного и надмолекулярного строения полимеров с их диэлектрическими свойствами уже сейчас позволяет синтезировать полимерные диэлектрики с заданными диэлектрическими свойствами.

Физика диэлектрических свойств и релаксационных явлений в полимерах на данном этапе своего развития включает еще много неразрешенных проблем. Их решение обеспечит создание полимерных материалов с новым комплексом ценных свойств.

Институт  
высокомолекулярных соединений  
АН СССР

Поступила в редакцию  
6 VII 1967

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Каргин, Г. Л. Слонимский, Докл. АН СССР, 62, 239, 1948.
2. Ю. Я. Готлиб, Физика твердого тела, 6, 2938, 1964.
3. А. П. Вотинов, Н. П. Кобеко, Г. П. Михайлов, Ж. техн. физики, 14, 18, 1944.
4. Н. П. Кобеко, Г. П. Михайлов, З. И. Новикова, Ж. техн. физики, 14, 26, 1944.
5. Г. П. Михайлов, Ж. техн. физики, 21, 1395, 1951.
6. Г. П. Михайлов, Б. М. Файнштейн, Ж. техн. физики, 22, 759, 1952.
7. Н. П. Кобеко, Н. М. Кумшацкая, Сб. К 70-летию акад. А. Ф. Иоффе, Изд-во АН СССР, 1950, стр. 242.
8. К. З. Фаттахов, Ж. техн. физики, 22, 313, 1952.
9. Г. П. Михайлов, С. П. Кабин, Б. И. Сажин, Ж. техн. физики, 25, 590, 1955.
10. Г. П. Михайлов, Б. И. Сажин, Успехи химии, 29, 864, 1960.
11. Д. А. Дмитренко, Заводск. лаб., 32, 1139, 1966.
12. Г. П. Михайлов, Л. В. Краснер, Высокомолек. соед., 4, 1071, 1962.
13. Г. П. Михайлов, Т. И. Борисова, Н. Н. Иванов, А. С. Нигманходжаев, Высокомолек. соед., A9, 20, 1967.
14. Г. П. Михайлов, Т. И. Борисова, Высокомолек. соед., 6, 1778, 1964.
15. Г. П. Михайлов, Т. И. Борисова, Успехи физ. наук, 83, 63, 1964.
16. Ю. В. Зеленев, Г. М. Бартенев, Высокомолек. соед., 6, 1047, 1964.
17. Г. П. Михайлов, Л. Л. Бурштейн, Л. В. Краснер, Высокомолек. соед., 7, 870, 1965.

18. В. Г. Тимофеева, Т. И. Борисова, Г. П. Михайлов, П. В. Козлов, Сб. Целлюлоза и ее производные, Изд-во АН СССР, 1963, стр. 174.
19. П. Ф. Веселовский, В. К. Матвеев, Высокомолек. соед., 6, 1221, 1964.
20. Г. П. Михайлов, А. М. Лобанов, М. П. Платонов, Высокомолек. соед., 8, 692, 1966.
21. П. П. Кобеко, Г. П. Михайлов, З. И. Новикова, Ж. техн. физики, 19, 111, 1949.
22. Г. П. Михайлов, Л. В. Краснер, Ж. техн. физики, 23, 1931, 1953.
23. К. З. Фаттахов, Ж. техн. физики, 24, 1401, 1954.
24. Т. М. Бирштейн, О. Б. Птицын, Конформации макромолекул, изд-во «Наука», 1964.
25. Л. Л. Бурштейн, Г. П. Михайлов, Ж. техн. физики, 27, 694, 1957.
26. Г. П. Михайлов, Л. Л. Бурштейн, Ж. техн. физики, 29, 192, 1959.
27. Г. П. Михайлов, Л. Л. Бурштейн, Высокомолек. соед., 4, 270, 1962.
28. Г. П. Михайлов, Л. Л. Бурштейн, Высокомолек. соед., 1, 1824, 1959.
29. Г. П. Михайлов, Л. Л. Бурштейн, Высокомолек. соед., 8, 1214, 1966.
30. Т. М. Бирштейн, Л. Л. Бурштейн, О. Б. Птицын, Ж. техн. физики, 29, 896, 1959.
31. M. S. Shima, J. Polymer Sci., 56, 213, 1962.
32. M. S. Shima, A. Kotega, Makromolek Chem. B64, 172, 1963.
33. Г. П. Михайлов, Л. Л. Бурштейн, В. П. Малиновская, Высокомолек. соед., Б9, 162, 1967.
34. Г. П. Михайлов, Л. Л. Бурштейн, С. И. Кленин, В. П. Малиновская, А. Н. Черкасов, Л. А. Шибаев, Высомолек. соед., А10, 556, 1968.
35. Г. П. Михайлов, Л. Л. Бурштейн, Т. П. Андреева, Высокомолек. соед., А9, 2693, 1967.
36. Б. И. Сажин, Электропроводность полимеров, изд-во «Наука», 1964.
37. Е. В. Кувшинский, Ж. техн. физики, 3, 634, 1933; 4, 313, 1934.
38. П. П. Кобеко, Е. В. Кувшинский, Н. И. Шишкян, Ж. техн. физики, 10, 1074, 1940.
39. П. П. Кобеко, Н. И. Шишкян, Ж. техн. физики, 17, 27, 1947.
40. Н. И. Шишкян, М. П. Вершина, Физика твердого тела, 1, 5, 1959.
41. Н. И. Шишкян, Ж. техн. физики, 26, 1461, 1956.

---

### CONTRIBUTION OF SOVIET SCIENTISTS INTO STUDY OF DIELECTRIC BEHAVIOR OF POLYMERS

*T. I. Borisova, L. L. Burshtein*

#### Summary

The main stages of development of physics of polymeric dielectrics in the Soviet Union are described. Dielectric properties not only determine behavior of polymer in electric field but provide new important information on structure and molecular motion in polymers. The main achievements in the field of relaxation of dielectric polarization (dielectric losses and permeativity), static dielectric polarization and dipole moments of polymers, electroconductivity of polymers are represented.