

К

“КНИГИ ПОЛИТЕХА” — партнерский проект ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО МУЗЕЯ, издательств CORPUS, “АЛЬПИНА НОН-ФИКШН” и “БОМБОРА”.

В серии выходят лучшие современные и классические книги о науке и технологиях — все они отобраны и проверены учеными и отраслевыми специалистами.

Серия “Книги Политеха” — это пять коллекций, связанных с темами постоянной экспозиции Политехнического музея:

“Человек и жизнь” — мир живого, от устройства мозга до биотехнологий.

“Цифры и алгоритмы” — математика, искусственный интеллект и цифровые технологии.

“Земля и Вселенная” — происхождение мира, небесные тела, освоение космоса, науки о Земле.

“Материя и материалы” — устройство мира с точки зрения физики и химии.

“Идеи и технологии” — наука и технологии, их прошлое и будущее.



ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ

Политехнический музей представляет новый взгляд на экспозицию, посвященную науке и технологиям. Спустя столетие для музея вновь становятся важными мысль и идея, а не предмет, ими созданный.

Научная часть постоянной экспозиции впервые визуализирует устройство мира с точки зрения современной науки — от орбиталей электрона до черной дыры, от структуры ДНК до нейронных сетей.

Историческая часть постоянной экспозиции рассказывает о достижениях российских инженеров и изобретателей как части мировой технологической культуры — от самоходного судна Ивана Кулибина до экспериментов по термоядерному синтезу и компьютера на основе троичной логики.

Политехнический музей делает все, чтобы встреча человека и науки состоялась. Чтобы наука осталась в жизни человека навсегда. Чтобы просвещение стало нашим общим будущим.

Подробнее о Политехническом музее и его проектах — на polymus.ru

Оглавление

Предисловие	9
Введение	13
Глава 1 Империя длинных молекул	17
Глава 2 Биохимия тоже химия	92
Глава 3 Молекулярные механизмы и машины	131
Глава 4 Самая главная частица и ее жилище	157
Глава 5 От колбы к компьютеру	180
Глава 6 Ближайшие “родственники” углерода	192
Глава 7 Тысячелетия спрессованы в минуты	232
Глава 8 Новые грани ферроцена	247
Глава 9 Озарения, открытия, превратности судьбы	260
Глава 10 Всему своя цена	315
Глава 11 Всегда ли надо мыть посуду?	324
Глава 12 Лабораторные будни	330
Глава 13 Образный язык химиков	343
Глава 14 Вернемся к прочитанному	347
Список литературы	349

Предисловие

Для нас большая честь быть авторами предисловия к книге нашего друга и коллеги Михаила Левицкого. К сожалению, Михаила Моисеевича не стало в 2020 году; таким образом, эта книга становится и нашей данью памяти о его насыщенной, интересной жизни. “Лаборатория химических историй” — абсолютное отражение характера автора, его прекрасно узнаваемого стиля. В основе этого стиля, конечно же, блестящее знание химической науки. Упомянем, что профессиональный кругозор Михаила Моисеевича, в частности, позволил подготовить цикл статей для интернет-энциклопедии “Кругосвет” (www.krugosvet.ru) и написать несколько научно-популярных книг, одна из которых была переиздана в Китае (!).

Стоит отметить, что когда к научно-популярному жанру обращается профессиональный ученый, то это совершенно не рядовой случай. А Михаил Левицкий — крупный специалист, хорошо известный научной общественности собственными исследованиями, опубликованными более чем в сотне научных статей. Кроме того, две его монографии — “Металлорганосилоксаны. Современные концепции и методы” и “Металлоксидные кластеры в элементоорганических матрицах” — остаются на настоящий момент единственными книгами, описывающими необычные виды металлокомплексов — каркасные металлосил- и гермесквioxаны. Важно подчеркнуть, что впервые эти соединения были описаны именно в работах Левицкого. Читатель увидит несколько замечательных струк-

тур этих соединений на страницах “Лаборатории химических историй”.

При этом высокий профессиональный уровень отнюдь не делал Михаила Моисеевича скучным и назидательным. Напротив, его тонкая, интеллигентная манера общения очень располагала к себе. И прежде всего научную молодежь, которая в такой благожелательной атмосфере с удовольствием рассказывала о своих первых успехах. Искренний интерес к собеседникам делал эти академические посиделки вокруг Михаила Моисеевича любимой формой отдыха молодых специалистов в перерывах между совершением химических открытий. Неповторимый уют этих “микросеминаров” дополнительно усиливался угощением фирменным кофе (с лимоном!) и разгадыванием приносимых в лабораторию хитроумных головоломок.

Еще одной яркой особенностью научной карьеры Михаила Левицкого было активное участие в международных научных конгрессах. Только на симпозиум “Современная химическая физика” Михаил Моисеевич приезжал более 15 раз, не забывая и про знаменитые на весь химический мир металлургические конференции на волжском теплоходе. Бархатистый баритон барда Левицкого — замечательный саундтрек вечеров на этих конференциях, памятный очень многим.

Впрочем, Михаил Моисеевич был хорош и без гитары. Изящное чувство юмора и мастерство рассказчика делали свое дело, и прекрасных историй можно вспомнить множество. Чего стоит одна — про то, как в 1965 году Михаил Моисеевич, строго говоря, не самый большой футбольный фанат, ходил на матч СССР — Бразилия. Действительно, в тот летний день в Лужниках, помимо ста тысяч других людей, собралась отличная молодая компания — Пеле, Гарринча и Миша Левицкий.

Увлекательность повествования и включение в книгу про серьезную науку юмористических историй — тоже характерные черты “Лаборатории химических историй”, полностью соответствующие портрету автора. К сожалению, к моменту ухода Михаила Моисеевича из жизни книга еще не была полностью подготовлена к выпуску. Потребовался значительный вклад людей,

которых мы хотели бы упомянуть отдельно. Это сотрудники ИНЭОС РАН — аспирант Алина Комарова, а также доктора химических наук Дмитрий Перекалин и Алексей Биляченко. Большую работу по подготовке рукописи к изданию проделали специалисты “Альпины нон-фикшн” — корректор Елена Воеводина, руководитель проектов Александра Шувалова, генеральный директор Павел Подкосов, которых мы также хотели бы поблагодарить за то, что эта книга увидела свет.

Елена Соломоновна Шубина,

профессор

Владимир Иосифович Брегадзе,

профессор

Институт элементоорганических
соединений им. А. Н. Несмеянова

Российской академии наук (ИНЭОС РАН)

Введение

Эта книга рассказывает в первую очередь о самых выдающихся исследованиях в химии, этапах развития этой науки и главных ее достижениях. Отдельно упомянуты работы, отмеченные Нобелевской премией, — ведь именно эти исследования двигали всю науку вперед, при этом они очень интересны. Конечно, в книге пойдет речь и о самих лауреатах премии, кроме того, представлены интересные и значимые работы, не отмеченные этой премией. И рассказано это отнюдь не сложным научным языком, ведь авторы исследований приложили особые усилия, чтобы сделать полученные результаты понятными широкой аудитории. Кроме того, упомянуты некоторые почти забытые имена ученых, роль которых, с точки зрения автора книги, весьма заметна в развитии химии.

Книга состоит из четырнадцати глав, которые не связаны между собой хронологически, поэтому начинать чтение можно с любой главы. Так как в ряде случаев содержание разделов пересекается, в текст включены пометки, отсылающие к соответствующим другим главам. Некоторые рисунки дополнены QR-кодами, что позволяет читателю с помощью смартфона увидеть анимацию рисунка.

Первая глава “Империя длинных молекул” знакомит читателя с этапами развития полимерной химии, появившейся в середине XX в. и ставшей не просто крупной, а гигантской областью в химической науке. Столетиями полимеры использовались

в повседневной жизни, и этот накопленный опыт со временем привел к появлению новой ветви химии.

Вторая глава “Биохимия тоже химия” рассказывает о другой крупной области химии, которая сегодня стала самостоятельной наукой. Достижения в этой сфере за последние годы впечатляют не только ученых-химиков, но и далеких от науки людей: в конечном итоге биохимия — с ее кропотливыми и сложными исследованиями — работает на сохранение здоровья всего человечества.

Одно из самых современных направлений в химии — создание механических устройств, представляющих собой отдельные молекулы. Эти работы приближают эпоху квантовых компьютеров, о чем рассказано в третьей главе “Молекулярные механизмы и машины”.

Четвертая глава, которая называется “Самая главная частица и ее жилище”, расскажет об электроны — главной элементарной частице в химии, благодаря которой осуществляются все превращения. Каким образом электрон располагается у атомного ядра — не может представить даже самое буйное воображение. Однако об этом смогут рассказать ученые.

О новой науке — квантовой химии, позволяющей вычислить свойства пока не полученного вещества, будет рассказано в пятой главе “От колбы к компьютеру”. Современный мир уже немыслим без компьютеров, их успешное объединение с химией произошло при появлении квантовой химии.

Шестая глава — “Ближайшие «родственники» углерода” — познакомит читателя с изящной архитектурой молекул, полученных с участием двух элементов — кремния и германия, которые оказались исключительно значимыми в развитии современной химии.

Седьмая глава — “Тысячелетия спрессованы в минуты” — посвящена процессам, которые в течение тысячелетий происходили в земной коре — но теперь, когда их удалось воспроизвести в лабораторных условиях, все превращения можно наблюдать в течение нескольких минут.

В восьмой главе, которая называется “Новые грани ферроцена”, будет рассказано о неизвестных ранее полезных свойствах

вах соединения, полученного в середине XX в. Ферроцен обрел громадную популярность и буквально стал эмблемой элементо-органической химии, однако, несмотря на то, что процессы его превращений хорошо изучены, есть нечто, увеличивающее диапазон его использования.

В девятой главе “Озарения, открытия, превратности судьбы” читатель узнает о том, как к исследователю приходит озарение, как совершаются открытия, как они влияют на судьбу самих первооткрывателей и к каким драматическим поворотам могут привести.

Простые расчеты, описанные в десятой главе “Всею своя цена”, могут помочь принять правильное решение, найти компромисс между желаемым и достижимым: ведь как в науке, так и в жизни перед человеком постоянно встают сложные задачи, требующие разумных действий.

Химия — наука чистых экспериментов и точных результатов, но жизнь порой любит иронизировать. Иногда важные открытия совершались благодаря присутствию случайных примесей. Примеры приведены в одиннадцатой главе “Всегда ли надо мыть посуду?”.

В двенадцатой главе под названием “Лабораторные будни” описаны весьма забавные и необычные ситуации. Это опровергнет ваши представления о том, что рядовые дни химика и окружающая рабочая обстановка внешне малопривлекательны.

Тринадцатая глава “Образный язык химиков” расскажет о том, как ученые демонстрируют свою увлеченность химией, часто создавая образные названия веществ и дополняя их изображением различных бытовых предметов.

А четырнадцатая глава “Вернемся к прочитанному” поможет освежить полученные в процессе прочтения книги знания.

Добро пожаловать в увлекательный мир химии!

Империя длинных молекул

Люди стали использовать полимеры за много столетий до того, как появился сам термин “полимеры”. Из шкур животных делали одежду и обувь, мех служил для пошива теплой одежды, а шерстяные, хлопковые, льняные, конопляные (пенька) и джутовые волокна — для производства одежды, мешков и канатов. В этом ряду натуральных материалов упомянем и каучук. Со временем люди стали искать способы улучшить свойства природного сырья, появились новые технологии, что по существу и означает развитие цивилизации. В процессе развития различных ремесел мастера, совершенно не знавшие химии, начинали экспериментировать со всеми подручными материалами подряд — и находили исключительно удачные реагенты. Некоторые из таких рецептов сохранились до нашего времени и успешно используются.

Универсальный материал

Использование шкур животных для изготовления необходимых для жизни предметов началось задолго до того, как люди научились прясть и ткать. Важным было также создание пергамента — материала для письма из тонкой телячьей кожи, употреблявшегося до изобретения бумаги. Рукописи на пергаменте сохраняются в течение столетий.

Некоторые из перечисленных предметов используют и в наши дни. Сделать такие вещи из шкуры животного было

совсем не просто. После вымачивания в известковом молоке (водная суспензия $\text{Ca}(\text{OH})_2$) удаляли волосяной покров, на внутренней поверхности шкуры соскребали остатки мышечной ткани. Высушенная шкура напоминала лист фанеры. Затем ее снова замачивали и разминали, растирая на камне или на бревне, а позже стали использовать ребристые барабаны. Мастеров называли кожемяками, и, скорее всего, от названия ремесла появилась и распространенная русская фамилия Кожемякин. После обработки кожа становилась рыхлой, мягкой и как будто мыльной с обеих сторон. Далее следовала самая важная стадия в технологическом процессе — дубление, в результате которого кожа становилась упругой, прочной и водостойкой. Для дубления было испробовано множество различных средств: отвары коры различных деревьев, пищевые отходы. Существовало также малоэффективное жировое дубление, которое, благодаря простоте и быстроте, использовалось кочевниками.

В начале XV в. искусство выделки кожи было особенно развито в Турции. Кожа становилась необычайно мягкой за счет того, что вначале ее выдерживали в собачьих и птичьих экскрементах, затем в отрубях, инжире, меде и виноградном соке, после чего обрабатывали известью и растягивали на деревянной раме. Можно себе представить, какое было количество неудачных попыток, прежде чем удалось создать столь непростую технологию. Секреты ремесла хранились в строжайшей тайне. По преданию, знание этого секрета спасло жизнь пленному турку во время войны Турции с Венгрией в середине XV в. Пленного уже вели на повешение, но он уговорил отменить казнь в обмен на секрет, который сулил богатство местным жителям. Возможно, именно таким путем искусство высококачественной выделки кожи пришло в Европу. Невольно вспоминаются похожие истории: известно, что китайцы держали в секрете рецепты изготовления фарфора и шелка, однако европейцам все же удалось раздобыть тайны этих технологий.

Строение кожи сегодня хорошо изучено. Ее основу составляет белок коллаген, имеющий вытянутую нитевидную струк-

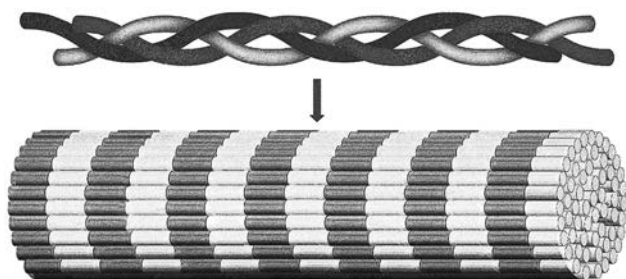


Рис. 1.1.

туру. Группы из трех сплетенных молекул укладываются параллельно, образуя коллагеновое волокно (рис. 1.1).

Одно из наиболее эффективных дубильных веществ, употреблявшихся в древние времена, содержалось в коре дуба, а также в чернильных орешках, образующихся иногда на дубовых листьях. Так появилось слово “дубление”. Отвары коры или орешков добавляли в чан с вымоченной кожей. В более поздних исследованиях было выявлено и действующее вещество — танины. Эта группа соединений представляет собой связанные бензольные ядра, содержащие гидроксильные группы, то есть фрагменты $-C_6H_4-OH$. Пример одного из веществ этой группы показан на рис. 1.2.

В молекулах коллагена, как и в любом белке, содержатся пептидные группы $-C-NH-C(=O)-C-$, и в процессе дубления между ними и молекулами танина образуются связи. В результате возникает пространственная сетка, придающая коже прочность, пластичность, водоустойчивость и износостойкость.

Процесс дубления был длительным — иногда до нескольких месяцев, однако, как это иногда бывает, различные жизненные обстоятельства вынудили мастеров искать более быстрые методы. Французский химик Арман Сеген, работавший некоторое время с великим ученым Лавуазье, во времена французской революции стал поставщиком кожи для обуви армий Наполеона. На обувь был огромный спрос, и возникла острая необходимость сократить продолжительность дубления. Сеген смог ре-

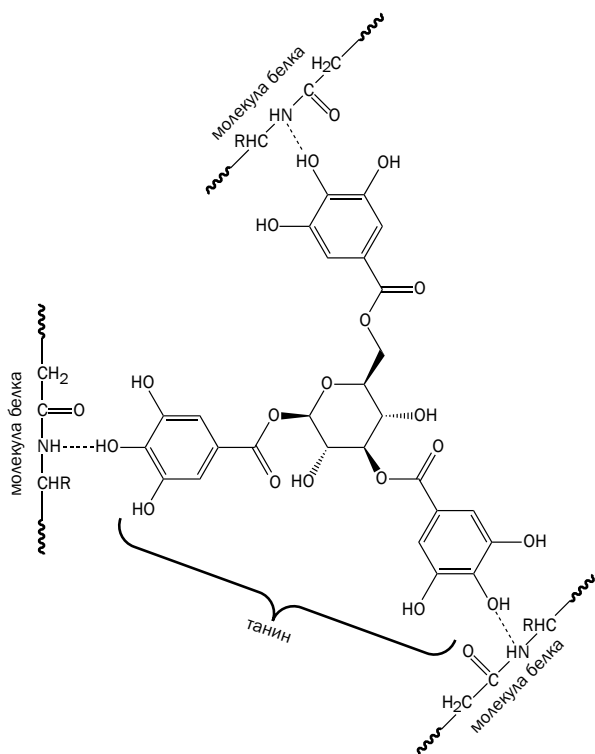


Рис. 1.2.

шить эту проблему: он стал использовать концентрированные спиртовые экстракты дубовой коры, что позволило сократить время дубления до нескольких дней. Более того, такая кожа превосходила по качеству ту, что была сделана старым методом.

Особо значимым событием стало изобретение немецкого ученого Л. Ф. Кнаппа в 1853 г. В качестве дубителей он предложил соли хрома, которые для тех же целей широко применяют и в наши дни. Механизм дубления приблизительно такой же, что показан на рис. 1.2 с таннином — в результате образуются поперечные шивки между молекулами коллагена.

Отходы кожевенного производства тоже оказались полезны. При умеренном нагревании в водных растворах тройной жгут из полимерных цепей расплетается, образуется желе, сильно

набухающее в воде, которое после высушивания становится стекловидной коричневой массой — это всем известный столярный клей. При аналогичной переработке отходов рыбного производства получают желатин, он состоит практически из тех же молекул коллагена. Его используют как пищевую добавку при изготовлении студней и желе. Кроме того, частицы светочувствительного бромида серебра, распределенные в желатине, представляют собой эмульсию, которую наносят на фотопленку и фотобумагу; набухая в воде, желатин позволяет проявителю и закрепителю проникать внутрь светочувствительного слоя. В биологических экспериментах желатин используют как среду для выращивания колоний различных бактерий. По мнению специалистов, желатин — лучший клей при изготовлении деревянных музыкальных инструментов.

Попутно отметим, что технологическая химия имеет свою специфику. Нельзя рассматривать кусочек натуральной кожи как реагент, который можно поместить в колбу и провести реакцию. В современных условиях взаимодействие синтетической и технологической химии складывается следующим образом: химики-синтетики берут в качестве реагента фрагмент молекулы белка, образующего коллаген, и проводят взаимодействие с различными веществами, которые предположительно могут оказаться дубителями — то есть осуществляют сшивание молекул. Часто удается выделить продукт взаимодействия в виде индивидуального соединения и изучить его строение. Иногда химикам удается получить нужный эффект от действия реагентов, которые ранее для этих целей не изучались. По результатам таких работ технологи начинают проводить испытания с образцами натуральной кожи. Результаты обычно представляют в виде таблиц, в которых указывается тип кожи, состав действующего реагента, температура, время выдержки (реагент должен проникнуть внутрь материала), испытания на влагостойкость, прочность и ряд других свойств. Это позволяет выбрать оптимальные реагенты и условия. Для объяснения полученных результатов используются схемы, которые предоставили химики-синтетики. Очень часто такое сотрудничество оказывается плодотворным.

В заключение вспомним, что и в наши дни натуральная кожа остается широко используемым материалом. Возможно, вскоре убой животных, шкуры которых используются для кожевенной промышленности, будет запрещен. Однако есть вероятность, что для изготовления кожаных изделий будут пригодны шкуры животных, выбывших из производства молочных продуктов. Несомненно одно: доведенные до совершенства современные технологии позволяют создавать кожаные изделия исключительной красоты и использовать замечательные возможности этого древнего и всегда популярного материала.

Лидер среди природных полимеров

Речь пойдет о целлюлозе. Лидером она названа потому, что это самый распространенный органический полимер на Земле. Кроме того, для него разработано очень много вариантов химической модификации.

Предметы из целлюлозы постоянно окружают нас в повседневной жизни: 40–60 % древесины состоит из целлюлозы, в хлопковой вате ее содержание — 96–98 %, а ворсинки тополиного пуха — это практически чистая целлюлоза. Линейная полимерная молекула целлюлозы собрана из циклических молекул глюкозы (рис. 1.3), молекулярная масса — от 400 000 до 2 млн, а сама молекула напоминает бусы.

Факт содержания глюкозы в структуре целлюлозы невольно подводит к вопросу: можно ли использовать ее в пищевых целях, поскольку глюкоза — ценный питательный продукт? Вероятно, среди первобытных людей тоже встречались экспериментаторы. Наблюдая, с каким удовольствием пощипывали травоядные животные траву, люди тоже пробовали есть ее, но быстро убеждались, что это не утоляет голод. Все дело в том, что в организме травоядных присутствует фермент (биологический катализатор), который способен расщеплять целлюлозу. В организме человека он отсутствует. И в конце концов люди нашли растения, содержащие глюкозу, крахмал

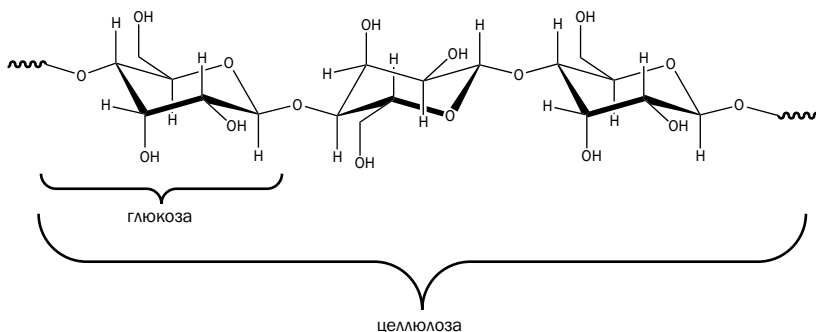


Рис. 1.3.

и другие соединения, пригодные в качестве пищевых продуктов, а также научились правильно использовать свойства целлюлозы. Линейное строение ее молекул способствует образованию волокон, которые достаточно прочны. Например, благодаря этим волокнам дерева с тонкими высокими стволами могут противостоять непогоде.

Наиболее распространенное применение волокнистой целлюлозы — изготовление хлопчатобумажных тканей. Хлопковые волокна в силу своих природных свойств идеально подходят для прядения нитей, но хлопок — это культура, которую довольно трудно выращивать: он растет лишь в определенной климатической зоне. Можно ли использовать целлюлозу древесины, чтобы делать из нее волокна и ткани?

Для вытягивания нитей полимер обычно нагревают до размягчения, а затем полученный расплав продавливают сквозь пластину с маленькими отверстиями — фильеру. На выходе из фильеры полимер застывает в виде нитей. Для этого полиэтилен достаточно нагреть до 180–200 °С, а поликапролактан, из которого получают капроновые волокна, нужно нагревать до 250–300 °С. Однако для целлюлозы такой способ неприменим. Известно, что древесина при нагревании не размягчается и не становится текучей — она просто начинает обугливаться. Выражаясь научным языком, температура размягчения целлюлозы выше температуры ее термического разложения.

Есть другой способ получения волокна из полимеров. Отличительная особенность линейных полимеров — способность растворяться в органических растворителях. Таким образом, полимер необходимо растворить, а полученный раствор продавить через фильеру в ванну с осадителем. Осадитель — это жидкость, которая легко смешивается с растворителем, но не растворяет сам полимер. В итоге на выходе из фильеры получаются нити. А далее исследователи столкнулись с очень сложной задачей. Как следует из показанной формулы (рис. 1.4), целлюлоза имеет линейное строение, но в то же время она не растворяется ни в одном из известных растворителей. Причина этого станет понятной, если посмотреть на строение полимерного звена целлюлозы. Каждый циклический фрагмент содержит три гидроксильные группы -ОН. Полярные группы всегда в той или иной степени взаимодействуют, и в данном случае между этими полярными гидроксильными группами соседних полимерных цепей возникает так называемая водородная связь, которая представляет собой электростатическое взаимодействие частичного отрицательного заряда на атоме О и положительного — на атоме Н. На рис. 1.4 эти связи показаны штриховыми линиями.

В результате все молекулы оказываются объединенными в единую структуру, напоминающую сшитый полимер. Водородная связь в 15–20 раз слабее ковалентной связи, однако следует помнить, что водородные связи располагаются по всей длине достаточно протяженной молекулы. Получается, что “много слабых вместе — это сила”. Поэтому чрезвычайно трудно отделить одну молекулу от другой и перевести ее в раствор. Молекулы цепляются друг за друга, словно застёжки-липучки на одежде и обуви. Несмотря на то что каждый маленький крючок такой застёжки держится за противоположную поверхность не очень крепко, невозможно расцепить все крючки разом.

Кажется вполне логичным, что для растворения целлюлозы надо заменить гидроксильные группы другими — такими, которые не образуют сетку поперечных связей. Первое решение этой задачи было найдено давно. В 1885 г. французский химик Л. Шардонне предложил получать искусственное волокно

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru