

УДК 541.64:539.2

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАКТОДЕНДРИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДОАМИНА

© 2001 г. Г. М. Павлов*, N. Errington**, S. E. Harding**, Е. В. Корнеева***, R. Roy****

*Научно-исследовательский институт физики Санкт-Петербургского государственного университета
198504 Санкт-Петербург, Петродворец, Ульяновская ул., 1

**National Centre for Macromolecular Hydrodynamics
University of Nottingham, Sutton Bonington Campus, LE12 5RD, UK

***Институт высокомолекулярных соединений Российской академии наук
199004 Санкт-Петербург, Большой пр., 31

****Department of Chemistry, University of Ottawa
Ottawa, ON Canada K1N6N5

Поступила в редакцию 11.05.2000 г.
Принята в печать 06.06.2000 г.

Методами молекулярной гидродинамики (скоростная седиментация и вискозиметрия) и оптики (статическое и динамическое рассеяние света) изучены шесть генераций лактодендримеров на основе полiamидоамина. Проведены анализ и сопоставление полученных данных с ранее опубликованными результатами. Обсуждены значения гидродинамического инварианта и значения средней плотности вещества в дендримерной молекуле. Оценен объем, занимаемый лакто-группами, и показано, что они не испытывают стерических помех в молекулах лактодендримеров.

Дендримерные молекулы (молекулярные деревья) являются предметом интенсивного исследования в последние десятилетия [1–6]. Регулярная молекулярная структура таких молекул предполагает их применение в различных областях супрамолекулярной химии, катализа и поверхностных явлений, науки о жизни и материаловедения. К синтезу и исследованию регулярных дендримерных молекул примыкают исследования гиперразветвленных дендритных систем, получаемых одностадийным синтезом [2, 3]. Природными представителями последних являются амилопектин, гликоген, а также лигнин.

Интенсивные исследования ведутся на пути химической модификации исходных дендримерных молекул [5–8]. К кору дендримерной молекулы присоединяют функциональные группы, которые фокусируют желаемые свойства в ограниченном объеме. Химическая природа присоединяемых групп как правило отлична от химического состава кора; таким образом, получают гибридные молекулы, аналогами которых среди линейных макромолекул могут быть сополимеры. Эти молекулы могут обладать специфическими свойствами, изу-

чение которых является предметом интенсивных исследований [5, 6]. Большое внимание исследователей привлекают гликодендримеры [7, 8] как молекулы, позволяющие моделировать и изучать гликопroteиновые взаимодействия. Побудительным мотивом в данном случае является необходимость лучше понять роль, которую играют сахаросодержащие молекулы в живых системах. Гликодендримеры расширяют также класс гидрофильных молекулярных систем, которые могут быть использованы для приготовления и модификации лечебных препаратов.

Дендримеры являются также привлекательным объектом исследований для молекулярной физики. Вместе с тем дендримеры и их свойства экспериментально изучены еще недостаточно.

В настоящей работе представлены новые экспериментальные данные по изучению молекулярных параметров лактодендримеров на основе полiamидоамина, структурная формула которых приведена в работе [9]. Эти данные сравниваются и обсуждаются с полученными ранее результатами.

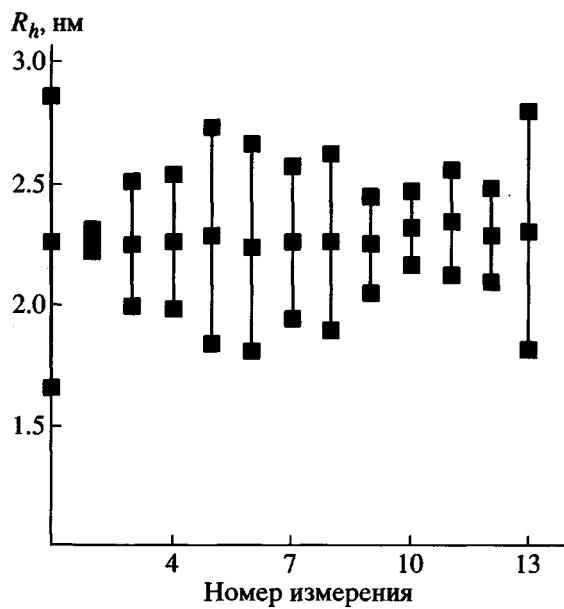


Рис. 1. Величины стоковых радиусов (нм) лактодендримера (генерация 2), полученные при измерениях динамического рассеяния света.

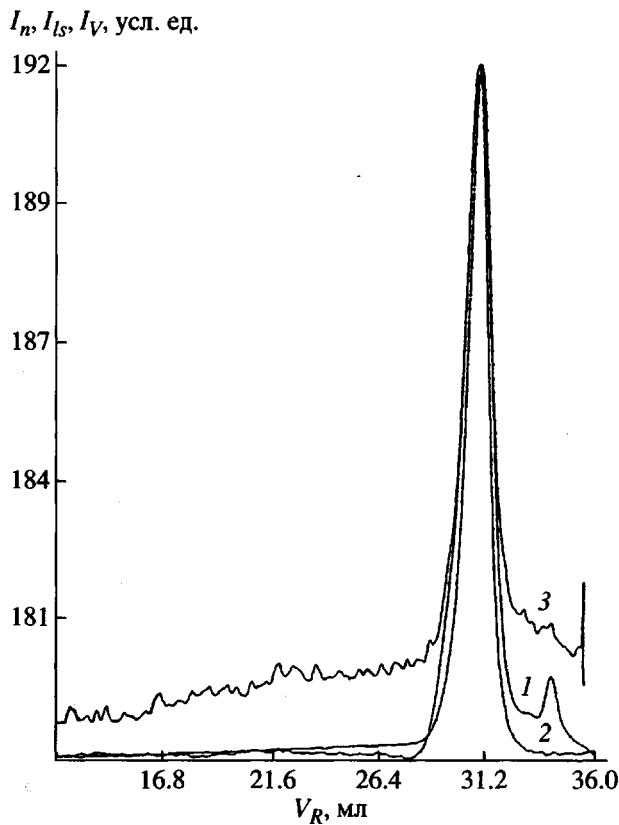


Рис. 2. Трехдетекторная хроматограмма лактодендримера (генерация 4): 1 – сигнал от рефрактометрического детектора, 2 – от детектора рассеянного света, 3 – от вискозиметрического детектора.

ми для лактодендримеров на основе полиамида-амина [9, 10] и полипропиленимида [11, 12].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Динамическое рассеяние света растворов изучали на фотометре с фиксированным углом (90°) DynaPro-801TC ("Protein Solutions, Inc."), позволяющим измерять коэффициенты поступательной диффузии D глобулярных белков и молекул, близких по форме к сферической [13]. Счет рассеянных фотонов вели с использованием системы каскадных фотодиодов. Длина волны лазерного источника $\lambda = 780$ нм. Инжектируемый через Whatman Anotor 10 мембранный фильтр с диаметром пор 0.02 мкм объем был равен 150 мкл. Концентрации растворов были порядка 10^{-2} г/см³.

Время накопления сигнала для одного отсчета зависит от размеров молекул, разницы между показателями преломления полимера и растворителя и колеблется в пределах 2–25 мин. При исследовании было обнаружено, что для растворов лактодендримеров в 0.019 М (0.165%) NaCl измерения могут быть осуществлены лишь для образца самой большой генерации. Это, по-видимому, связано с проявлением влияния не полностью экранированных зарядов и возникновением мало живущих кластеров из дендримерных молекул. Увеличение концентрации низкомолекулярной соли до 1.169% (~0.2 М) позволило преодолеть эту трудность и измерить коэффициенты диффузии для всех генераций (рис. 1). В дальнейшем при всех исследованиях в качестве растворителя использовали 0.2 М NaCl со следующими характеристиками при 25°C: $\rho_0 = 1.002$ г/см³, $\eta_0 = 0.914$ сП.

Дендримеры различных генераций изучали также методом ГПХ с трехдетекторной регистрацией [14] (рис. 2). Рефрактометрическую регистрацию осуществляли при помощи интерференционного рефрактометра "Optilab 901" (Wyatt Technology, Santa Barbara, CA, USA). Для регистрации рассеянного света применяли детектор статического рассеяния лазерного света Не–Не-лазера мощностью 5 мВт, $\lambda = 632.28$ нм (Wyatt Technology, Santa Barbara, CA, USA). Вискозиметрическую регистрацию проводили при помощи вискозиметрического детектора типа гидродинамического моста (аналогичного электрическому мосту Уинстона) [15, 16]. Вискозиметрический детектор позволяет детектировать различия вязкости раствора и растворителя при минимальных концентрациях, когда $(\eta - \eta_0)/\eta_0 c$ (или $I\eta\eta_c/c$) можно принять за значение характеристической вязкости $[\eta]$. Инжектируемый объем (100 мкл) проходит при анализе через три последовательно соединенные анали-

тические колонки TSK G6000PW, G5000PW и G4000PW ("Anachem", Luton, UK). Разрешающая способность колонок такова, что можно разделять макромолекулы полиэтиленоксида в интервале $M = (1 \times 10^3) - (2 \times 10^6)$. Элюент подавали в систему со скоростью 0.8 мл/мин при комнатной температуре. Инкременты показателя преломления dn/dc измеряли в независимых экспериментах на интерференционном рефрактометре "Optilab 901".

Коэффициенты седиментации определяли на аналитической ультрацентрифуге "Beckman XLG" в режиме абсорбции при $\lambda = 280$ нм (рис. 3). Использованные концентрации растворов дендримеров были не более $c = 0.01 \times 10^{-2}$ г/см³, что позволяет принимать полученные значения коэффициентов седиментации за значения, экстраполированные на нулевую концентрацию ($c[\eta] < 0.0004$). Коэффициенты седиментации s рассчитывали по смещению во времени средней точки, касательной к седиментационной кривой, ограниченной продолжением прямых, образуемых линиями, соответствующими $c = 0$ и $c = c_p$, где c_p – концентрация в области плато. Очевидно, что для симметричных кривых эта точка является точкой перегиба и соответствует максимуму в координатах расстояние от оси вращения–градиент концентрации. Экспериментальные данные при 25°C представлены в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гидродинамический инвариант

Полученная система молекулярных и гидродинамических характеристик позволяет провести анализ величины гидродинамического инварианта A_0 , широко используемого в молекулярной фи-

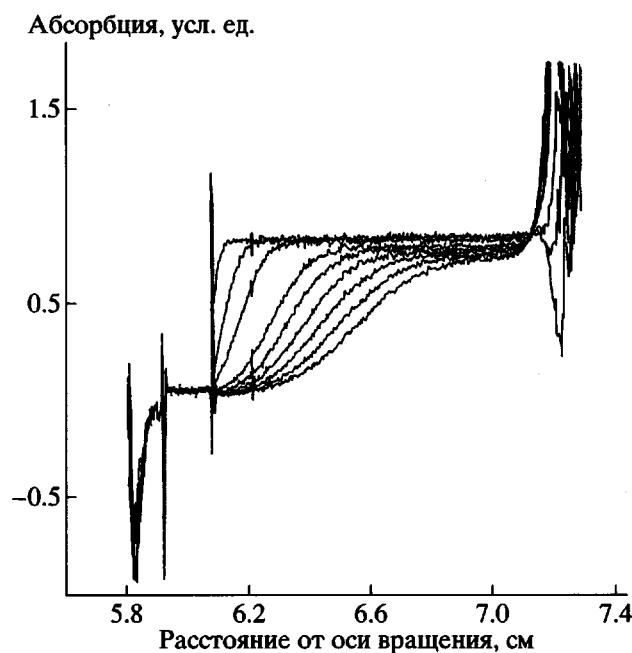


Рис. 3. Абсорбционная седиментограмма, полученная при седиментации лактодендримера (генерация 3) при $c = 0.01 \times 10^{-2}$ г/см³. Интервал между сканированиями 20 мин, $n = 50000$ об/мин.

зике полимеров [17, 18]. Величина A_0 в данном случае может быть рассчитана тремя способами:

$$A_{01} = [D](M_w[\eta])^{1/3}$$

$$A_{02} = R[s][\eta]M_w^{-2/3}$$

$$A_{03} = (R[s][D]^2[\eta])^{1/3},$$

где R – универсальная газовая постоянная, $[D] \equiv D_0\eta_0/T$, $[s] \equiv s\eta_0/(1 - \varphi\rho_0)$. Величины гидродинамического инварианта, рассчитанные таким об-

Таблица 1. Молекулярные и гидродинамические характеристики лактодендримеров на основе полиамидоамина

N	$M_{\text{теор}}$	M_{sD}^* [9, 12]	M_w	M_w/M_n	dn/dc , см ³ /г	$D \times 10^7$, см ² /с	s , ед. Сvedberga	$[\eta]$, см ³ /г
4	2420	2500	2900	1.05	0.177	15.0	0.77	4.0
8	5230	6600	7400	1.00	0.196	11.9	1.1	3.3
16	10840	13700	12400	1.02	–	10.4	1.7	3.8
32	22120	22800	24300	1.03	0.162	8.7	2.6	4.1
64	44640	47000	49700	1.07	–	7.5	4.2	3.7
128	89690	93000	92400	1.07	0.183	5.9	6.3	3.7

Таблица 2. Значения гидродинамического инварианта A_0 и плотности молекул ρ лактодендримеров на основе полiamидоамина

Генерация	Значения $A_0 \times 10^{10}$, г см ² /с ² град моль ^{1/3}						
	A_1	A_2	A_3	A_3 [9, 12]	A_{cp}	ρ_f^*	ρ_η
						г/см ³	
0	2.24	2.91	2.45	2.68	2.57 ± 0.23	0.42 ± 0.13	0.63
1	2.28	2.09	2.21	2.50	2.27 ± 0.12	0.32 ± 0.03	0.76
2	2.48	2.40	2.45	2.85	2.55 ± 0.16	0.39 ± 0.02	0.66
3	2.67	2.40	2.57	2.76	2.60 ± 0.12	0.41 ± 0.05	0.61
4	2.82	2.32	2.64	2.46	2.56 ± 0.17	0.49 ± 0.10	0.68
5	2.73	2.31	2.59	2.39	2.51 ± 0.16	0.45 ± 0.08	0.68
Средние значения	2.54 ± 0.20	2.41 ± 0.17	2.49 ± 0.12	2.61 ± 0.16	2.51 ± 0.08	0.41 ± 0.04	0.67 ± 0.04

* Среднее значение $\rho_f = (\rho_{sD} + \rho_D + \rho_s)/3$.

разом, представлены в табл. 2. (Очевидно, что $A_{01}^2 A_{02} \equiv A_{03}^3$). Здесь же приведены значения A_{03} , полученные ранее для этих же образцов в растворителе, содержащем 0.019 М NaCl. Средняя величина A_0 , полученная в 0.2 М NaCl, равна $(2.47 \pm 0.11) \times 10^{-10}$ см²/с² град моль^{1/3}; соответствующее среднее значение в 0.019 М NaCl $A_0 = (2.61 \pm 0.16) \times 10^{-10}$ [11, 12]. Общее среднее значение по всему массиву данных $A_0 = (2.51 \pm 0.08) \times 10^{-10}$. Величины A_0 отличаются от теоретического значения $A_0 = 2.914 \times 10^{-10}$, полученного для жестких непроницаемых сфер. Это означает, в частности, что рассчитываемые значения $M_{D\eta} = A_0^3 ([D]^3 [\eta])^{-1}$ с использованием теоретического значения A_0 могут быть завышенными в данном случае в ~1.6 раза, в то время как величины $M_{s\eta} = (R/A_0)^{3/2} ([s]^3 [\eta])^{1/2}$ будут занижены в 1.3 раза.

Сравнение гидродинамических характеристик

Сравнение гидродинамических и молекулярных результатов, представленных в табл. 1, с результатами, представленными ранее для тех же дендримеров с использованием других установок и методик, показывает их удовлетворительное соответствие между собой. Величины M_w (табл. 1) и

M_{sD} , рассчитанные в работах [11, 12] практически совпадают. Кроме того, результаты, полученные с использованием ГПХ, демонстрируют весьма незначительную полидисперсность образцов ($M_w/M_n < 1.07$).

Дальнейшее сравнение гидродинамических величин проведем в терминах соответствующих двойных логарифмических зависимостей, изображенных на рис. 4. На рис. 4а представлена зависимость $\lg[\eta]$ от $\lg M$ (использовали либо M_w , либо M_{sD}) по данным табл. 1 и работ [11, 12]; здесь же приведены результаты для лактодендримеров на основе полипропиленимина [9, 10], а также для глобулярных белков [19, 20]. Нижняя зона обозначает предельное теоретическое значение $[\eta]$, которое может быть рассчитано для жестких непроницаемых сфер с использованием экспериментальных величин удельного парциального объема. Из проведенного сравнения вискозиметрических данных видно, что характеристическая вязкость лактодендримеров практически не зависит от M и от природы края для двух сравниваемых структур; кроме того, характеристическая вязкость лактодендримеров близка к таковой для глобулярных клубков. Вместе с тем величины $[\eta]$ несколько превосходят нижний теоретический

предел для жестких непроницаемых сфер. На рис. 4а для сравнения представлена также зависимость $[\eta]$ от M для линейного водорастворимого поливинилпирролидона [21]. Аналогичное сопоставление проведено на рис. 4б для данных по коэффициенту скоростной седиментации.

Как следует из рис. 4 и как неоднократно отмечали ранее [9, 11], чувствительной к изменению ММ дендримерных молекул гидродинамической характеристикой является коэффициент скоростной седиментации, т.е. величина, определяемая поступательным трением молекул. В связи с этим представляется черезвычайно актуальным развитие теории коэффициента поступательного трения регулярно разветвленных молекул.

Средняя плотность дендримерного вещества в объеме, ограниченном дендримерной молекулой

На основе гидродинамических и молекулярных характеристик может быть рассчитана средняя величина плотности дендримерного вещества в объеме, ограниченном дендримерной молекулой. Используя модель сферы, нетрудно показать, что в случае данных по поступательному трению плотность может быть рассчитана тремя способами:

$$\rho_{sD} = 3^4 2 \pi^2 \eta_0^3 (1 - \nu \rho_0)^{-1} (kT)^{-2} (sD^2)$$

$$\rho_D = 3^4 2 \pi^2 N_A^{-1} (\eta_0 / kT)^3 M_w D^3$$

$$\rho_s = 3^4 2 \pi^2 N_A^2 (\eta_0 / (1 - \nu \rho_0))^3 s^3 / M_w^2$$

Из вискозиметрических данных плотность может быть вычислена из соотношения

$$\rho_\eta = 2.5 / [\eta]$$

Значения плотности ρ_η и средние значения плотности $\rho_f = (\rho_{sD} + \rho_D + \rho_s) / 3$ приведены в табл. 2. Данные не позволяют выявить какой-либо тенденции в изменении значений ρ с номером генерации (или ММ), полученных как на основе поступательного трения, так и вискозиметрии. Значения плотности, рассчитанные из вискозиметрических данных, в ~1.5 раза больше значений, получаемых из данных по поступательному трению, что является, по-видимому, отражением неполного соответ-

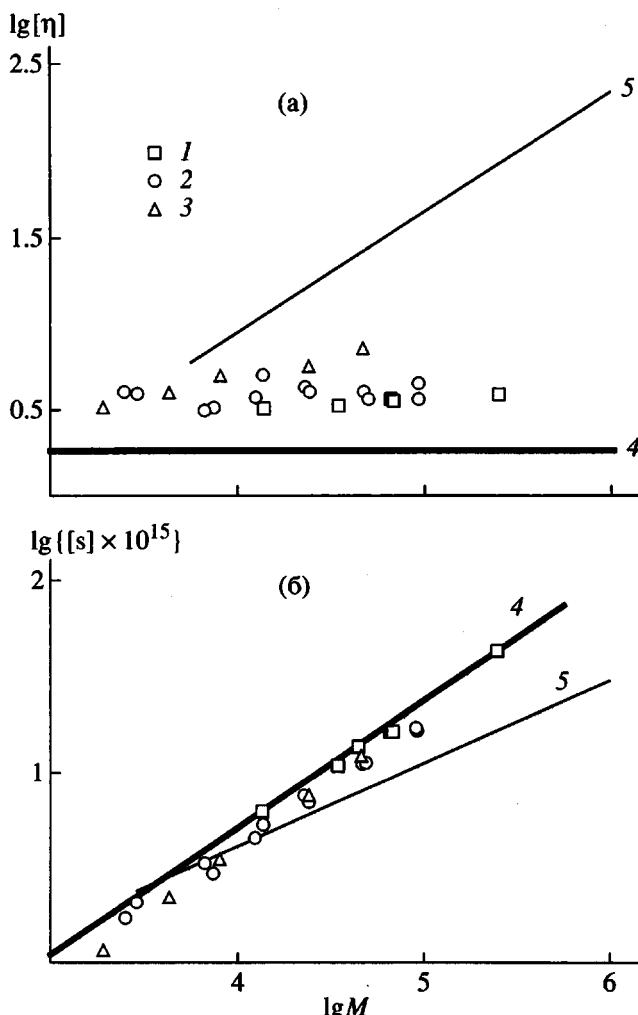


Рис. 4. Двойная логарифмическая зависимость $[\eta]$ (а) и $[s]$ от M (б): 1 – глобулярные белки [19, 20]; 2 – лактодендримеры на основе полiamидо-амина по данным табл. 1 и работ [11, 12]; 3 – лактодендримеры на основе полипропиленимина по данным работ [9, 10]; 4 – предельные значения величин $[\eta]$ и $[s]$ рассчитанные для модели непротекаемой жесткой сферы; 5 – зависимость для линейного полимера (поливинилпирролидон по данным работы [21]).

ствия модели жестких сфер с реальной формой молекул.

На рис. 5 проведено сопоставление значений плотности дендримерного и полимерного вещества в объеме, занимаемом дендримерной молекулой и молекулой линейного полимера. В качестве полимерного объекта сравнения рассмотрен гибкоцепной линейный полисахарид полимальто-триоза (пуллулан), изученный в воде [22]. Плот-

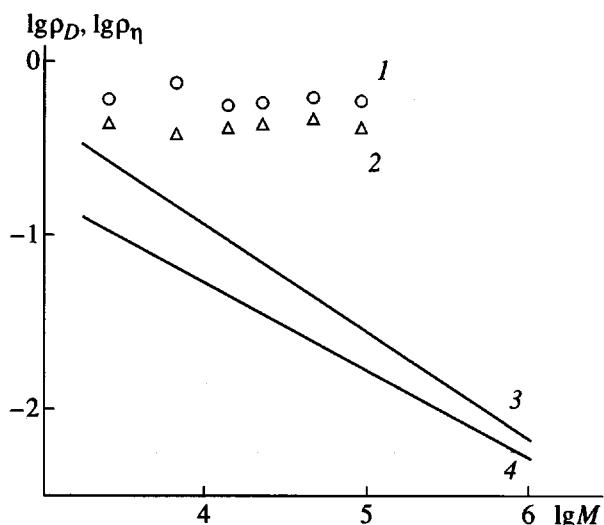


Рис. 5. Двойная логарифмическая зависимость плотности дендримерного вещества ρ от M : 1 – плотность рассчитана из данных по вращательному трению; 2 – из данных по поступательному трению; 3, 4 – плотность линейных молекул полисахарида пуллулана, рассчитанная из данных [22] по вращательному и поступательному трению соответственно.

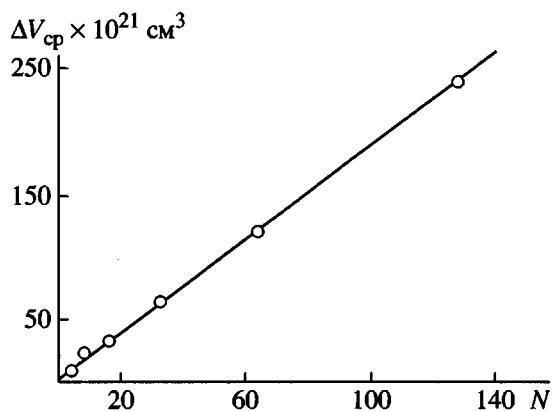


Рис. 6. Зависимость избыточного объема молекул лактодендримеров на основе полиамидоамина от числа лактозных групп в них.

ность полимерного клубка при этом рассчитываются в гауссовом приближении по формулам

$$\rho_{sD} = P^3 \eta_0^3 (0.36)^{-1} (1 - v \rho_0)^{-1} (kT)^{-2} (sD^2)$$

$$\rho_\eta = \Phi / N_A 0.36 [\eta],$$

где P и Φ – гидродинамические параметры Флори [18].

Для дендримерных молекул высших генераций плотность на порядок и больше превосходит плотность полимерного вещества в клубке, образованном линейной молекулой. (Плотность полимерного вещества в объеме, ограниченном жесткоцепной макромолекулой, будет еще на один порядок меньше.) В случае лактодендримеров плотность практически не зависит от M , в то время как для линейных молекул она уменьшается на порядок при переходе в область больших M . Эти оценки носят усредненный характер и не позволяют судить о распределении вещества при переходе от центра дендримерной молекулы к периферии.

Объем, занимаемый лактозными группами в лактодендримерах

В изученных лактодендримерах до 80% массы сосредоточено в лактозных звеньях. Рассчитаем, какой дополнительный объем занимают лактодендримерные молекулы по сравнению с исходными дендримерами и сравним этот объем с числом лактозных радикалов в каждой генерации. Этот объем будем оценивать как объем шарового слоя $\Delta V = V_1 - V_2 = 4\pi/3(R_1^3 - R_2^3)$, где V_1 – объем лактодендримерной молекулы, V_2 – объем исходного дендримера полиамидоамина. Величины V_2 рассчитывали, используя радиусы, полученные для исходных дендримеров полиамидоамина [23]. На рис. 6 представлена зависимость ΔV , рассчитанного как среднее из значений, полученных из данных по поступательному и вращательному трению, от числа лактозных групп N в дендримерах соответствующих генераций. Как следует из рис. 6, величины ΔV прямо пропорциональны числу лактозных концевых групп в дендримерной молекуле. Это означает, что объем, приходящийся на одну лактозную группу, который заключен в пределах $1100 < (\Delta V/N) \times 10^{24} \text{ см}^3 < 2900$, практически не меняется при переходе от низших генераций к высшим. Сравним этот объем с ван-дер-ваальсовым объемом лактозной группы $V_L = 275 \times 10^{-24} \text{ см}^3$, рассчитанным на основе молекулярной структуры данной группы [24]. Объем, приходящийся на одну лактозную группу в молекулах лактодендримеров, в несколько раз превосходит ее собственный объем. Нетрудно убедиться [19, 25, 26], что объем, приходящийся на одну

лактозную группу в дендримерных молекулах, сравним с объемом, который свободная лактозная группа может исключить для своих несвязанных соседей $V_{\text{искл}}$, находящихся в растворе ($V_{\text{искл}} \approx 8V_L \approx 2200 \times 10^{-24} \text{ см}^3$). Эта оценка, по-видимому, свидетельствует о том, что особых стерических помех концевые группы в лактодендримерных молекулах не испытывают.

Полученные результаты показывают, что концевые лактозные группы в изученных лактодендримерах расположены на периферии и не проникают в толщу исходных дендримеров. Экспериментальные ММ находятся в хорошем соответствии с рассчитанными ММ, что подтверждает полное замещение аминных концевых групп в исходных дендримерах полиамидоамина лактозными остатками. Это означает также, что концевые аминные группы в исходных дендримерах полиамидоамина должны также располагаться на периферии молекул, а не быть распределенными по всей толще исходных дендримеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tomalia D.A., Naylor A.M., Goddard W.A. // Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1990. V. 29. № 2. P. 138.
2. Музаров А.М., Ребров Е.А., Папков В.С. // Успехи химии. 1991. Т. 60. № 7. С. 1596.
3. Бочкарев М.Н., Каткова М.А. // Успехи химии. 1995. Т. 64. № 11. С. 1106.
4. Newkome G.R., Moorefield C.N., Voegtle F. Dendritic Macromolecules. Concept, Syntheses, Perspectives. Weinheim: VCH, 1996.
5. Dendrimers / Ed by Voegtle F. Berlin: Springer, 1998.
6. Book of Abstrs. First Int. Dendrimer Symposium. Frankfurt-Main, 1999.
7. Roy R. // Polym. News. 1996. V. 21. № 7. P. 226.
8. Ashton P.R., Boyds S.E., Brown Ch.L., Nepogodiev S.A., Meijer E.W., Peerlings H.W.I., Stoddart J.F. // Chem. Eur. J. 1997. V. 3. № 6. P. 974.
9. Павлов Г.М., Корнеева Е.В., Михайлова Н.А., Roy R., Ortega P.C., Perez M.A. // Высокомолек. соед. А. 1999. Т. 41. № 11. С. 1810.
10. Павлов Г.М., Корнеева Е.В., Непогодьев С.А., Jumel K., Harding S.E. // Высокомолек. соед. А. 1998. Т. 40. № 12. С. 2056.
11. Pavlov G.M., Korneeva E.V., Jumel K., Harding S.E., Meijer E.W., Peerlings H.W.I., Stoddart J.F., Nepogodiev S.A. // Carbohydrate Polymers. 1999. V. 38. № 1. P. 195.
12. Pavlov G.M., Korneeva E.V., Roy R., Michailova N.A., Ortega P.C., Perez M.A. // Progr. Colloid. Polym. Sci. 1999. V. 113. P. 150.
13. Laser Light Scattering in Biochemistry / Ed. by Harding S.E., Sattelle D.B., Bloomfield V.A. Cambridge: Royal Chem. Soc., 1992.
14. Wyatt P.J. // Anal. Chim. Acta. 1993. V. 272. № 1. P. 1.
15. Haney M.A. // American Laboratory. 1985. V. 17. № 1. P. 41.
16. Harding S.E. // Progr. Biophys. Molec. Biol. 1997. V. 68. № 2/3. P. 207.
17. Цветков В.Н., Лавренко П.Н., Бушин С.В. // Успехи химии. 1982. Т. 51. № 10. С. 1698.
18. Цветков В.Н. Жесткоцепные полимерные молекулы. Л.: Наука, 1986.
19. Tanford Ch. Physical Chemistry of Macromolecules. New York: Wiley, 1961.
20. Cantor Ch.R., Schimmel P.R. Biophysical Chemistry. San Francisco: Freeman and Company, 1980.
21. Павлов Г.М., Панарин Е.Ф., Корнеева Е.В., Курочкин К.В., Байков В.Е., Ушакова В.Н. // Высокомолек. соед. А. 1990. Т. 32. № 6. С. 1190.
22. Павлов Г.М., Корнеева Е.В. // Биофизика. 1995. Т. 40. № 6. С. 1227.
23. Prosa T.J., Bauer B.J., Amis E.J., Tomalia D.A., Scherrenberg R. // J. Polym. Sci., Polym. Phys. 1997. V. 35. № 10. P. 2913.
24. Imbert A. // Book of Abstrs. 19 Int. Carbohydrate Symp. San Diego, 1998.
25. Исихара А. Статистическая физика. М.: Мир, 1973.
26. Магарик С.Я., Павлов Г.М. // Высокомолек. соед. А. 1975. Т. 17. № 8. С. 1691.

Molecular and Structural Characteristics of Lactosylated Dendrimers Based Poly(amidoamine)

G. M. Pavlov*, N. Errington**, S. E. Harding**, E. V. Korneeva***, and R. Roy****

*Institute of Physics (Petrodvorets Branch), St. Petersburg State University,
ul. Ulyanovskaya 1, Petrodvorets, 198504 Russia

**National Centre for Macromolecular Hydrodynamics, University of Nottingham,
Sutton Bonington Campus, LE12 5RD, UK

***Institute of Macromolecular Compounds, Russian Academy of Sciences,
Bol'shoi pr. 31, St. Petersburg, 119004 Russia

****Department of Chemistry, University of Ottawa,
Ottawa, ON Canada K1N6N5

Abstract—Six generations of lactosylated dendrimers based on poly(amidoamine) were studied by the methods of hydrodynamics (velocity sedimentation) and optics (static and dynamic light scattering). The experimental evidence was analyzed and compared with the published data. The hydrodynamic invariant and average density of a substance in a dendritic molecule were estimated. A volume occupied by lacto groups was evaluated, and it was found that these groups experience no steric constraints in the molecules of lactosylated dendrimers.