

## High-strength 'airy' polymer aerogels

Aerogels — unique materials with a record low density and large surface area — ranked among the top ten emerging technologies in chemistry and materials science, selected by the International Union of Pure and Applied Chemistry in 2022 [https://iupac.org/iupac-2022-top-ten/]. Despite the diverse nature of aerogels, they are all characterized by an extraordinary light weight and, at the same time, high mechanical strength (Fig. 1).

The first polymer aerogels, synthesized more than 30 years ago, were highly porous phenol-aldehyde resins, in particular, resorcinol-formaldehyde resins. Phenol-aldehyde resins are familiar to anyone who has stood on the steps of a subway esca-

lator or held an electric plug in one's hands. Phenol-aldehyde resins exhibit high strength, corrosion resistance, and excellent electrical insulation properties. Highly porous phenol-aldehyde resins are not only durable sound and heat insulating materials, but also promising sorbents, inexpensive carriers for catalysts, and elements of gas sensors. The most important feature of phenol-aldehyde aerogels is the possibility of their transformation into highly porous carbon materials for using in high-capacity electric batteries.

The properties of phenol-aldehyde aerogels are determined by their structure (pore size and diameter, density, etc.), which, in turn, depends on the

Fig. 1

a) Graphene aerogel. Source: <https://dailytechinfo.org/news/4656-grafenovyy-aerogel-stanovitsya-samym-legkim-materialom-na-segodnyashniy-den.html>  
b) A 2.5 kg brick standing on an aerogel based on graphene and carbon nanotubes with a mass of 2 g. Source: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Аэрогель>

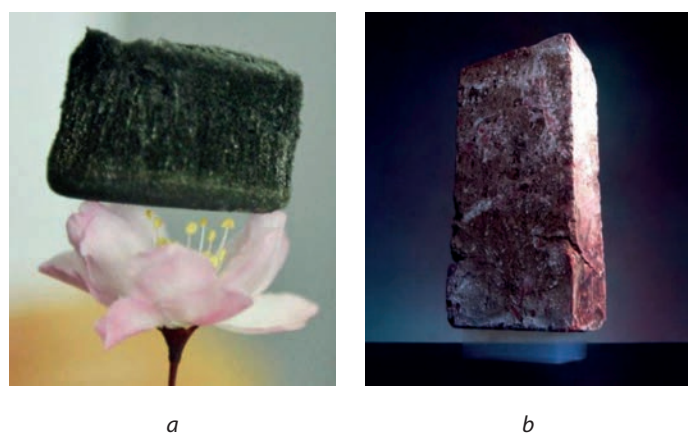


Рис. 1

а) Графеновый аэрогель. Источник: <https://dailytechinfo.org/news/4656-grafenovyy-aerogel-stanovitsya-samym-legkim-materialom-na-segodnyashniy-den.html>  
б) Кирпич массой 2,5 кг на аэрогеле на основе графена и углеродных нанотрубок массой 2 г. Источник: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Аэрогель>

## Прочные «воздушные» полимерные аэрогели

Аэрогели — уникальные материалы с рекордно низкой плотностью и большой площадью поверхности — вошли в 2022 году в топ 10 технологий в химии и материаловедении, анонсированных Международным союзом теоретической и прикладной химии [https://iupac.org/iupac-2022-top-ten/]. Несмотря на разнообразную природу аэрогелей, все они отличаются необычайной легкостью и вместе с тем высокой механической прочностью (Рис. 1).

Первыми полимерными аэрогелями, полученными более 30 лет назад, были высокопористые фенол-альдегидные, в частности, резорцин-формальдегидные смолы. С фенол-альдегидными смолами встречался каждый, кто стоял на ступенях эскалатора в метро или держал в руке электрическую вилку. Фенол-альдегидные смолы

обладают высокой прочностью, коррозионной стойкостью, прекрасными электроизоляционными свойствами. Высокопористые фенол-альдегидные смолы являются не только прочными звуко- и теплоизоляционными материалами, но и перспективными сорбентами, недорогими носителями для катализаторов, элементами газовых сенсоров. Важнейшей особенностью фенол-альдегидных аэрогелей является возможность их превращения в высокопористые углеродные материалы для использования в составе высокоемких электрических аккумуляторов.

Очевидно, что свойства фенол-альдегидных аэрогелей определяются их структурой (размером и диаметром пор, плотностью и т.д.), которая, в свою очередь, зависит от условий получения гелей, скорости полимеризации органи-

ческих молекул, и сшивки полимерных цепей. Обычно резорцин-формальдегидные гели получают поликонденсацией резорцина и формальдегида в присутствии катализаторов — кислот или оснований, а в качестве растворителя используют воду или ацетонитрил. Однако роль растворителя в синтезе резорцин-формальдегидных гелей и аэрогелей до сих пор практически не изучена.

Методом малоуглового нейтронного рассеяния на спектрометре ЮМО реактора ИБР-2 исследованы аэрогели на основе резорцин-формальдегидных смол с контролируемой пористостью и высокой механической прочностью [1]. Выявлено влияние роли органических растворителей ацетонитрила и диметилсульфоксида на пористость материала (Рис. 2). В частности, установлено, что получение заданной пористо-

сти полимерных аэрогелей возможно при использовании различных растворителей, а также при вариации их концентраций на этапе синтеза резорцин-формальдегидных гелей. Полученные результаты показали, что новые аэрогели перспективны для создания высокоэффективных звуко- и теплоизоляционных материалов и сорбентов.

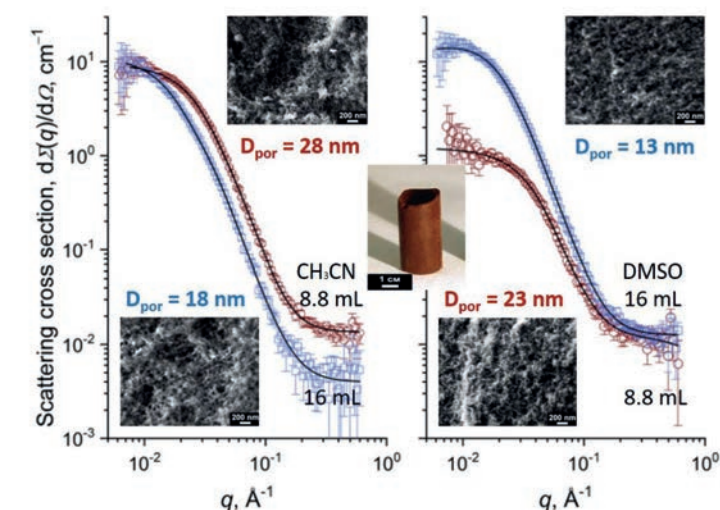
Работа выполнена коллективом российских ученых из Института физиологически активных веществ РАН, Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Петербургского института ядерной физики и Объединенного института ядерных исследований при поддержке гранта РФФИ № 19-73-20125.

Fig. 2

Pore sizes of resorcinol-formaldehyde aerogels at various concentrations of solvents: acetonitrile (left) and dimethyl sulfoxide (right) obtained from SANS data.

Рис. 2

Размеры пор резорцино-формальдегидных аэрогелей при различных концентрациях растворителей: ацетонитрила (слева) и диметилсульфоксида (справа), полученные по данным малоуглового нейтронного рассеяния.



сти полимерных аэрогелей возможно при использовании различных растворителей, а также при вариации их концентраций на этапе синтеза резорцин-формальдегидных гелей. Полученные результаты показали, что новые аэрогели перспективны для создания высокоэффективных звуко- и теплоизоляционных материалов и сорбентов.

Работа выполнена коллективом российских ученых из Института физиологически активных веществ РАН, Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Петербургского института ядерной физики и Объединенного института ядерных исследований при поддержке гранта РФФИ № 19-73-20125.