

О НАНОТЕХНОЛОГИЯХ В СИСТЕМЕ НАУК

© 2021 г. С. Т. Захидов

*Биологический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия*

E-mail: stz49@mail.ru

Поступила в редакцию 29.10.2020 г.

После доработки 25.12.2020 г.

Принята к публикации 30.12.2020 г.

Нанотехнологии как неотъемлемая часть высоких технологий — важная область фундаментальной и прикладной науки и техники, предметом которой служит изучение и создание структур, лежащих в метрическом диапазоне от 1 до 100 нм. Свой вклад в развитие этой новой области вносят представители разных наук — физики, химики, математики, биологи. Применение нанотехнологий, опирающихся на мосты междисциплинарности, в частности, достижения квантовой физики, квантовой химии, молекулярной генетики, имеющих между собой глубокую связь, может, по мнению автора, способствовать развитию новых методов аналитических исследований, а также решению широкого круга практических задач.

Ключевые слова: нанотехнологии, физика, химия, генетика, биология, наночастицы, мутации, нанобиороботы, междисциплинарность.

DOI: 10.31857/S0869587321030129

*В большинстве случаев длительная пора большой свободы
прикладной деятельности предшествует рациональным формулировкам,
открытию фундаментальных закономерностей.*

И.А. Рапопорт, член-корреспондент АН СССР

Паровые машины использовались в Европе начиная с XVIII в., но долгое время их КПД оставался очень низким. Эта проблема стала предметом изучения ведущих учёных. В первой трети XIX в. подходы к ней разрабатывал С. Карно, а позднее Р. Клаузиус, Д. Джоуль, У. Томсон. В ходе поиска решения этой чисто прикладной, сугубо технической задачи родилась величественная, очень сложная фундаментальная наука — термодинамика. Основоположник квантовой физики М. Планк скажет о её значении так: “Простые законы термодинамики истинны, фундаментальны, абсолютны и точно описывают всё простое, незыблемое, вечное в природе”. Развитие науки в XX в. продемонстрировало правоту оценок выдающегося учёного. Законы термодинамики, её рабочий аппарат прочно вошли во многие сферы исследований.

ЗАХИДОВ Сабир Тишаевич — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клеточной биологии старения и развития биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (до января 2020 г.).

В последние десятилетия большие ожидания возлагаются на нанотехнологии. Специалисты понимают под ними совокупность технологий, открывающих возможность создания материалов, устройств и систем с принципиально новыми, уникальными свойствами и функциями. Ускоренное развитие нанотехнологий, возможно, станет импульсом для зарождения более глубокой области знаний — нанонауки. А, как известно, именно благодаря наукам совершаются концептуальные прорывы в познании окружающего мира, открываются новые законы, появляются новые виды научного эксперимента и методы, с помощью которых открываются доселе неизвестные явления. Пока же из-за крайней широты предмета изучения, стремления не увеличивать беспорядок в терминологическом аппарате исследовательского процесса, базирующегося на междисциплинарном подходе, многие учёные предпочитают использовать термин “нанотехнологии”.

Исследования явлений наномира, инициирующие глобальный прорыв в новую реальность, активно ведутся сегодня усилиями представителей таких фундаментальных наук, как физика, химия, биология. В системе современного естествознания, вероятно, ближе всех к нанотехнологиям стоят квантовая физика и молекулярная генетика, имеющие между собой прочные теоретические связи. Обе изучают сложные дискретные множества, правда, далёкие по своим проявлениям, но подчинённые одним и тем же закономерностям. Как в квантовом, так и в генетическом мире преобладают высокая упорядоченность дискретных единиц, их делимость на другие порядки прерывности, скачкообразные переходы из одного состояния в другое. Дискретность наделила как фермионовые, так и геновые системы стационарностью. Генетической системе, как и квантовой, свойственна неопределённость. Например, трудно предсказать, в каком именно гене произойдёт мутация.

По мнению специалистов в области нанотехнологий, молекулы ДНК и белков могут стать основой для создания гибридных, смешанных наноматериалов и нанокомпозитов с новыми уникальными свойствами. Предполагается также использование двухцепочечных молекул ДНК в качестве важных элементов микросхем и замены ими неорганических полупроводников. Фундаментальные результаты по созданию наноконструкций на основе молекул нуклеиновых кислот (ДНК и РНК), содержащих в своём составе молекулы “гостей” — химические вещества или биологически активные соединения, получены в лаборатории доктора химических наук Ю.М. Евдокимова в Институте молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН. Учёный считает, что такие наноконструкции имеют большую перспективу практического применения в различных областях науки и техники — от оптики и электроники до медицины и экологии [1].

Нельзя исключить, что наночастицы из благородных металлов, попадая в поле действия молекулы ДНК, сами могут стать объектом перепрограммирования, то есть изменения всего спектра их химико-физических свойств. Иначе говоря, взаимодействие наночастиц с генетическими матрицами гипотетически можно рассматривать как своеобразный обмен информацией. И в этой связи нельзя не вспомнить одну из недавних работ [2], в которой показано, что нити ДНК определяют форму наночастиц золота. Весьма интересно было узнать, замечают авторы исследования, могут ли различные участки ДНК стать своеобразным “генетическим кодом”, который будет задавать направление синтеза наночастиц, как это происходит при синтезе белка.

В рамках мутационной генетики очень важными представляются исследования, направленные на изучение последствий влияния наночастиц и наноматериалов непосредственно на наследственные структуры, а также на такие генетические процессы, как репликация, транскрипция, репарация, поскольку нанотехнологии не в состоянии самостоятельно указать на продукты нанотехнологического синтеза, обладающие мутагенной активностью. Идентификация генотоксикантов обязательно требует генетического эксперимента.

В литературе уже можно найти данные, указывающие на способность некоторых разновидностей наночастиц возмущать молекулу ДНК, нарушать её пространственную упаковку, вызывать поломки хромосом и точечные геновые мутации [3–6]. В 2012 г. итальянскими учёными-генетиками в опытах на дрозофиле были получены первые в мире наномутанты: у потомства фруктовых мушек, обработанных наночастицами золота, были выявлены разнообразные морфологические изменения, в том числе в структуре глаз, крыльев, груди [7]. В своё время один из первооткрывателей мутагенеза член-корреспондент АН СССР И.А. Рапопорт [8], проведя большое количество экспериментов, показал, что найденный в химическом опыте с дрозофилой мутаген так же активен и для многих других организмов. Действительно, наши опыты, выполненные на мышах, впервые продемонстрировали, что ультрамалые наночастицы золота обладают генетической активностью и в зависимости от выбранных условий эксперимента могут выступать в трёх ипостасях: как мутаген, антимутаген и комутаген [9]. Значительное увеличение частоты встречаемости хромосомных аномалий было выявлено в кровяных клетках рыб, подвергшихся воздействию золотых нанокорпускул. Из литературы также известно, что фуллерены могут проникать в молекулу ДНК, искривлять и даже “расплетать” её. Все эти пока ещё немногочисленные факты должны учитываться специалистами, занимающимися разработками в области нанотехнологий.

В целом же результаты исследований структурно-функциональных последствий действия наночастиц на гены, хромосомы, белки, ферменты и органеллы клетки, а также интерпретация и теоретический анализ этих результатов позволят открыть новую страницу в биологии и генетике, станут самостоятельным тематическим разделом в нанонауке, разделом очень важным и интересным.

Не менее актуальной научной задачей в области нанотехнологий должна стать разработка миниатюрных механизмов, так называемых нанобиороботов (наноботов), способных рабо-

тать в живых системах, в частности, освобождать клетки, ткани, органы от накопившегося разрушительного энтропийного груза и тем обеспечивать их топологическую цельность, стабильность функционирования и, как следствие, долговечность биологических структур. С точки зрения формальной термодинамики было бы весьма интересно выяснить, в каких отношениях окажутся нанобиороботы с общим законом природы, а именно со вторым началом термодинамики. Увеличит ли деятельность наноботов норму положительной энтропии или все их движения и действия будут носить неэнтропийный характер?

Перспектива применения нанотехнологий в медицине связана с возможностью изменения структуры клетки и её ядра на молекулярном уровне, в том числе с помощью нанобиороботов, а также с получением эффективных нанолекарств и/или средств их доставки к местам поражения.

Экологический аспект нанотехнологий предполагает решение самостоятельной сложной научной задачи – прогнозирования реального риска генетических и репродуктивных последствий комбинированного действия наноматериалов и других загрязнителей биосферы, интегральные эффекты которых могут быть модифицированы. При этом в качестве естественных детекторов и тест-моделей могут привлекаться генетические и клеточные системы природных популяций животных и растений, обитающих вблизи зон с повышенным нанотехнологическим риском.

Что касается химического направления в нано науке, то, как заметил автор теории супрамолекулярной химии, лауреат Нобелевской премии Жан-Мари Лен, проблема современной химии состоит в том, чтобы понять природу и законы, позволяющие эффективно и целенаправленно управлять сборкой атомов в новые молекулы. По его словам, необходимо попытаться ответить на один из важнейших вопросов, стоящих перед наукой: “Каким образом возникает самоорганизация вещества, и как процесс самовоспроизведения привёл к появлению во Вселенной новой формы вещества, способной даже размышлять о собственном происхождении?” [10].

Синтетическая органическая химия и биомедицинская химия должны обеспечивать создание новых эффективных средств адаптации, например антимуtagenов или каких-то веществ “детергентов”, способных связывать и вымывать наночастицы из внутриклеточной среды, что естественным образом может снять остроту действия нанокорпускулярных агентов, ослабить их энергетический потенциал.

Исследования наночастиц, которые могут стать самостоятельным отделом химической классификации, обогатят и расширят химическую теорию, находящуюся сегодня на своём пределе. Весьма вероятно, именно химии в рамках наук о материалах предстоит ответить на вопрос о том, что является действующим началом в упорядочении наночастиц – энергия или динамика, а также получить больше информации о свойствах наноматериалов, чем, допустим, квантовой механике.

В заключение ещё раз подчеркну: применение нанотехнологий как нового направления современного естествознания, опирающегося на достижения квантовой физики, квантовой химии, молекулярной генетики и их междисциплинарные связи, может способствовать развитию новых методов аналитических исследований, а также решению большого круга сугубо практических задач. Причём, как справедливо заметили авторы работы [11], нанотехнологии хороши не сами по себе, а в увязке с другими высокими технологиями, которым они придают новое качество. Одной из мощных теоретических опор для нанотехнологий может стать синергетика – нелинейная наука, вобравшая в себя всё передовое, что есть в математике, физике, химии и биологии, рождающая новые идеи и образы и вносящая сегодня радикальные перемены в структуру познания.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Евдокимов Ю.М.* Несколько замечаний по поводу нанотехнологий // Экономические стратегии. 2008. № 7. С. 56–61.
2. *Wang Z., Tang L., Tan L.H. et al.* Discovery of DNA “Genetic Codes” for Abiological Gold Nanostructural Morphologies // *Angew. Chem. Int.* 2012. Ed. 61. P. 9079–9082.
3. *Yevdokimov Yu.M., Salyanov V.I., Shtykova E.V. et al.* Structural Nanotechnology of Nucleic Acids: Designing “Liquid” and “Rigid” DNA Nanoconstructions // *Herald of the RAS.* 2014. № 4. P. 252–264; *Евдокимов Ю.М., Сальянов В.И., Штыкова Э.В. и др.* Структурная нанотехнология нуклеиновых кислот: создание “жидких” и “твёрдых” наноконструкций ДНК // *Вестник РАН.* 2014. № 8. С. 694–707.
4. *Yevdokimov Y.M., Skuridin S.G., Salyanov V.I. et al.* A Dual Effect of Au-Nanoparticles on Nucleic Acid Cholesteric Liquid-Crystalline Particles // *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology.* 2011. V. 2. P. 461–471.

5. *Di Bucchianico S., Fabbri M.R., Cirillo S. et al.* An-euploidogenic effects and DNA oxidation induced in vitro by differently sized gold nanoparticles // *International Journal of Nanomedicine*. 2014. V. 9. P. 2191–2204.
6. *Ng C-T., Li J.J., Bay B-H., Yung L-Y.L.* Current studies into the genotoxic effects of nanomaterials // *Journal of Nucleic Acids*. 2010. Article ID 947859, 12 p. <https://doi.org/10.4061/2010/947859>
7. *Vecchio G., Galeone A., Brunetti V. et al.* Mutagenic effects of gold nanoparticles induce aberrant phenotypes in *Drosophila melanogaster* // *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*. 2012. V. 8. P. 1–7.
8. *Ранопорт И.А.* Микрогенетика. М.: Наука, 2010.
9. *Захидов С.Т., Муджири Н.М., Рудой В.М. и др.* Наночастицы золота: мутаген, антимутаген, комутаген? // *Изв. РАН. Сер. биол.* 2017. № 3. С. 213–217.
10. *Болл Ф.* Великие задачи химии // *Химия и жизнь – XXI век*. 2009. № 4. С. 4–7.
11. *Малинецкий Г.Г., Митин Н.А., Хауменко С.А.* Нано-биология и синергетика // *Проблемы и идеи*. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2005.