

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА

УДК 535:(519.7+530.1)

И.И. КОЛЕСНИКОВА, И.В. ИЗМАЙЛОВ, Б.Н. ПОЙЗНЕР, Е.Е. СЛЯДНИКОВ

**В ПОИСКАХ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКОГО АНАЛОГА
МИКРОТРУБОЧКИ ЦИТОСКЕЛЕТА**

С позиций нелинейной динамики рассмотрен возможный нелинейно-оптический аналог микротрубочки цитоскелета, описываемой квантово-механической моделью Е.Е. Слядникова.

Ключевые слова: микротрубочка цитоскелета, квантово-синергетическая цитоинформатика, нелинейный кольцевой интерферометр, сеть интерферометров.

Понимание основ работы головного мозга и нервной системы человека всегда представляло большой принципиальный и прикладной интерес. Составление модели, адекватно описывающей данные процессы, позволит усовершенствовать механизмы обработки информации. Как известно, нервная система и мозг человека состоят из нейронов, соединённых между собой нервными волокнами. Набор моделей, имитирующих действие нейронов и модель их взаимодействия посредством синаптических соединений, представляет собой искусственную нейронную сеть. Нейроны в нашем мозгу сами являются отдельными клетками, причём у каждого нейрона имеется ещё и свой собственный цитоскелет. Более подробное рассмотрение устройства цитоскелета показывает, что он состоит из протеиноподобных молекул, организованных в различного типа структуры: актин, микротрубочки и промежуточные волокна.

По мнению многих учёных, за обработку информации в клетке отвечают именно микротрубочки цитоскелета (МЦ) [1]. Они имеют форму полых цилиндрических трубок с внешним диаметром около 25 нм и внутренним – около 14 нм (рис. 1). Каждая микротрубочка представляет собой белковый полимер, состоящий из субъединиц, называемых тубулинами. Каждая субъединица тубулина, в свою очередь, представляет собой «димер», т.е. состоит из двух соединённых тонкой перемычкой частей, называемых α -тубулин и β -тубулин. Эти пары глобулярных белков уложены в слегка скошенную гексагональную решётку вдоль всей трубки. Обычно на каждую МЦ приходится по 13 рядов димеров тубулина. Размеры димера составляют приблизительно $8 \times 4 \times 4$ нм. Димеры тубулина способны существовать в двух различных конформационных состояниях (геометрических конфигурациях) и способны переходить из одного состояния в другое. Существуют вполне конкретные правила, определяющие конформацию каждого димера через конформации его соседей. Благодаря этому обстоятельству, каждая МЦ способна осуществлять передачу и обработку любого рода сообщений [1].

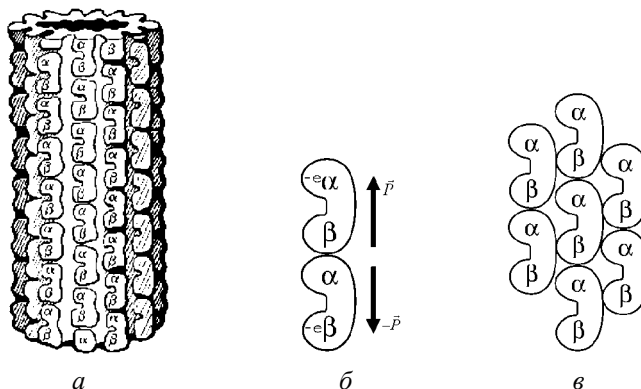


Рис. 1. Схема молекулярной структуры микротрубочки цитоскелета (а); молекулы тубулина в различных конформациях с противоположными дипольными моментами (б); схема ближайшего окружения молекулы тубулина (в) [1]

Одним из первых описаний сегнетоэлектрических свойств микротрубочек цитоскелета служила модель системы взаимодействующих диполей. Однако необходимо учитывать, что переключение конформаций вызывается электронными переходами, следовательно, должно описываться с помощью квантовой механики. Такая модель, учитывающая изменение поляризации молекул тубулина и возбуждение конформационных степеней свободы, была составлена одним из авторов [2]. В [2] переход молекулы тубулина из одной конформации в другую рассматривается как преодоление электроном барьера между двумя потенциальными ямами.

Так как значения частот туннелирования близки к оптическому диапазону, следующим шагом стал поиск возможных оптических аналогов микротрубочки цитоскелета. Это приводит к воз-

никновению нового междисциплинарного направления, устанавливающего взаимосвязь между логической моделью нейрона, квантово-физической моделью микротрубочки цитоскелета и синергетическим описанием ее функционирования. Для этого междисциплинарного направления исследований было предложено название квантово-синергетическая цитоинформатика [3]. Такой подход представляется многообещающим, так как он должен объединить современные, интенсивно развивающиеся направления. Одним из возможных структурных аналогов микротрубочки в оптике, по мнению авторов [4], может служить нелинейный кольцевой интерферометр (НКИ).

В [4] выдвинута идея связать ряд НКИ в сеть. В отличие от приведённого в [4] примера и с учётом сотообразной структуры рис. 1, в логично сконструировать сеть так, что каждый её «внутренний» структурный элемент (НКИ) имеет не четыре, а шесть «соседей» – оптически связанных с ним НКИ (рис. 2, а). Каждый из НКИ в форме окружности представлен шестью одинаковыми звеньями, образованными сумматором, разветвителем, нелинейной (керровской) средой (рис. 2, б). Соответственно для описания процессов в НКИ требуется шесть дифференциальных уравнений относительно нелинейного фазового набег в нелинейной среде одного звена.

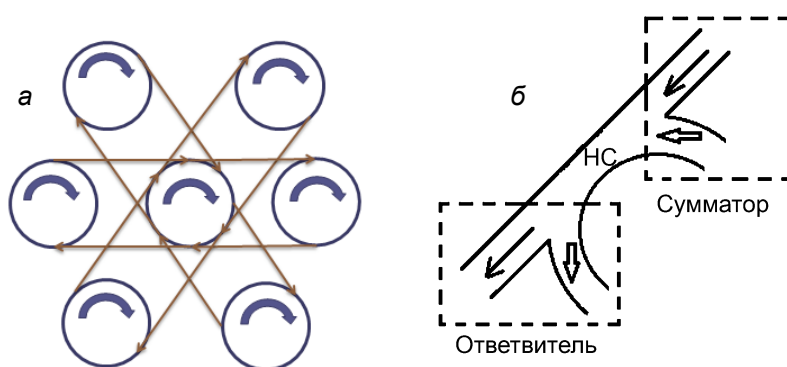


Рис. 2. Предлагаемый структурный компонент сети (аналог рис. 1, в) из семи связанных НКИ, где стрелки указывают направление распространения светового поля; касательные к окружностям соответствуют световодам, связывающим НКИ (а). Конструкция одного из шести звеньев НКИ (б)

Такую планарную структуру легко реализовать при помощи технологий интегральной и волоконной оптики, и ею можно покрывать различные двумерные поверхности. МЦ, подобно НКИ, можно трактовать как нелинейную динамическую систему. Общим для них можно считать наличие бистабильных взаимодействующих подсистем. Численное моделирование и макетирование позволят установить границы обсуждаемой аналогии, а также возможности обработки данных с помощью предлагаемой сети из НКИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пенроуз Р. Тени разума: в поисках науки о сознании. – Ижевск: ИКИ, 2005. – 690 с.
2. Слядников Е. Е. // Письма в ЖТФ. – 2006. – Т. 32. – Вып. 8. – С. 52–59.
3. Измайлов И. В., Пойзнер Б. Н., Слядников Е. Е., Соснин Э. А. // Научная сессия МИФИ-2007. IX Всерос. науч.-технич. конф. «Нейроинформатика-2007»: сб. науч. трудов: В 3 ч. Ч. 2. – М.: МИФИ, 2007. – С. 71–79.
4. Измайлов И. В., Лячин А. В., Пойзнер Б. Н. Детерминированный хаос в моделях нелинейного кольцевого интерферометра. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. – 256 с.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
E-mail: pznr@elefot.tsu.ru, varsharova@mail.ru

Поступила в редакцию 15.06.12.

Колесникова Ирина Игоревна, бакалавр радиофизики;
Измайлов Игорь Валерьевич, к.ф.-м.н.;
Пойзнер Борис Николаевич, к.ф.-м.н., профессор;
Слядников Евгений Евгеньевич, д.ф.-м.н., профессор.