



УЗЛЫ В НАУКЕ И ИСКУССТВЕ

В нашем журнале уже публиковались статьи об узлах (А.А. Нозик. Тайны узлов, 6-2004), а в этом номере помещен обзор лучших отечественных популярных публикаций по этой теме и имеется программа для экспериментов с узлами, которая использовалась на конкурсе КИО-2007.

С одной стороны, с узлами мы встречаемся повсюду: их можно разглядеть в переплетении волокон ткани, вязании или декоративном плетении, моряки используют их при швартовке судов, а рыбаки в оснастке удочки.

С другой стороны, узлы являются объектом математических исследований (так недавно московским математиком И.А. Дынниковым была защищена докторская диссертация на тему «Новый подход к классификации зацеплений и алгоритмическому распознаванию тривиального узла»).

Наконец, как недавно обнаружилось, теория узлов имеет прикладное значение.

Начнём с последнего.

В 2006 году были опубликованы первые результаты исследований коллектива исследователей Массачусетского Технологического Института (Peter Virnau, Leonid Mirny,



Рис. 1

Mehran Kardar), которые пытаются понять, почему молекулы некоторых белков завязаны в узлы (<http://web.mit.edu/newsoffice/2006/techtalk51-2.pdf>) (рис. 1).

Одна из рабочих гипотез состоит в том, что пространственная структура белков играет существенную роль в их функционировании.

Исследователи проанализировали 32853 белка, используя вычислительную технику, никогда прежде не применявшуюся к исследованиям белков в таком масштабе. Оказалось, что узлы сравнительно редко встречаются в белках – узлы имеют менее одного процента всех белков, и большинство из этих узлов довольно просты. Обычно узлы имели форму простых трёх-переплетённых узлов (или трилистников, в табличке узлов такой узел помещён под номером 3₁), несколько имело четыре переплетения, а наиболее сложный, пяти-переплетённый узел, был первоначально найден в только одном белке – ubiquitin hydrolase.

Обнаружились любопытные закономерности. Так все заузлённые белки оказались ферментами. Учёные полагают, что это может быть связано с функцией заузлённого белка как спасательного агента белков, помеченных для разрушения.

Самый сложный узел из найденных предположительно играет защитную роль для белка ubiquitin hydrolase, чья функция – спасать другие белки от разрушения – опасная работа.

Что предшествует расщеплению и как происходит спасение белка?

Когда белок в клетке должен быть разрушен, он маркируется другим белком, называемым ubiquitin. Как только «смертель-

ная метка» поставлена, белок отправляется к клеточной структуре, называемой протеасомой (proteasome), которая притягивает белок и раскалывает его на части. Однако если ubiquitin hydrolase вмешивается и удаляет ubiquitin, белок спасен.

Почему же сами белки-спасатели не втягиваются в протеасому?

Оказывается, что препятствием служит узел. Ведь для расщепления белка протеасома должна «распутать» белок, однако узел распутать нельзя в принципе, и заузлённый белок протеасоме уничтожить не удаётся!

Любопытно, что один и тот же узел найден в ubiquitin hydrolase как у людей, так и в дрожжах, что подтверждает теорию о том, что имеется связь между узлом и функцией белка. Авторы также считают, что это говорит о том, что узлы сохраняются в процессе эволюции белка.

Со времени начала исследований учёные обнаружили пяти-переплетённые узлы в двух других белках – мозговом белке, чьи перерождения и мутации связаны с раком и болезнью Паркинсона, и белке, вовлеченным в HIV-репликационный цикл.

Они также нашли примеры белков, которые близко связаны и структурно подобны, отличаясь лишь присутствием или отсутствием узла. Две версии фермента transcarbamylase, взятые из организма людей и из некоторых бактерий, показывают различные реакции, в зависимости от того, имеется ли узел.

На рис. 2 помещена табличка с классификацией узлов, по которой можно попытаться определить узлы, найденные в белковых структурах.



Самый сложный узел из найденных предположительно играет защитную роль для белка ubiquitin hydrolase, чья функция – спасать другие белки...

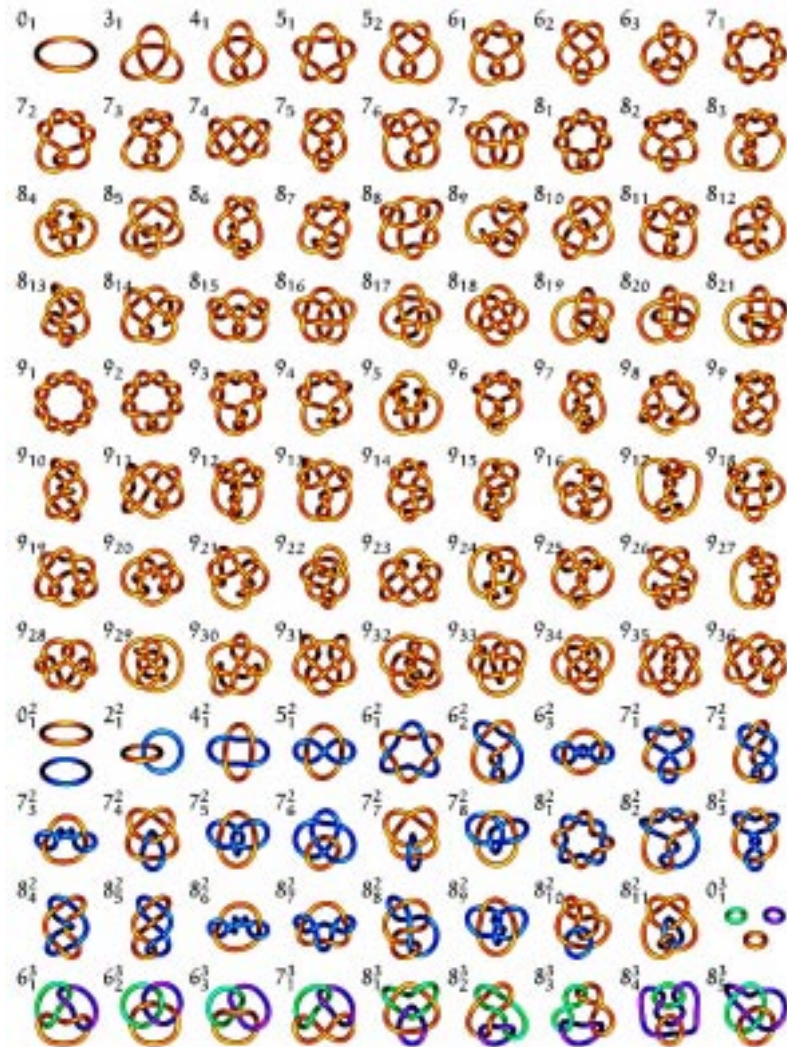


Рис. 2

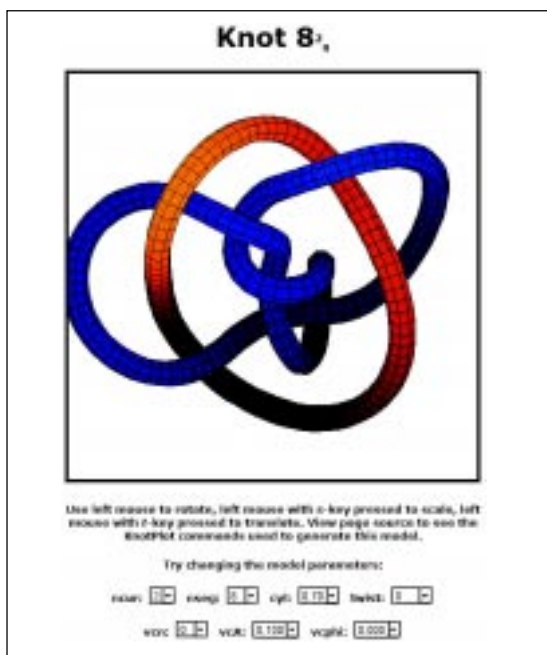


Рис. 3

Эта табличка взята с адреса <http://knotplot.com/zoo>, и если у вас есть доступ в Интернет, то вы можете «покрутить» эти узлы и поменять их вид, так как каждому узлу соответствует апплет (рис. 3).

Этот замечательный сайт сделан Робом Шарейном (Rob Scharein <http://knotplot.com>) и является продолжением его диссертации Interactive Topological Drawing, с которой можно также познакомиться на этом сайте

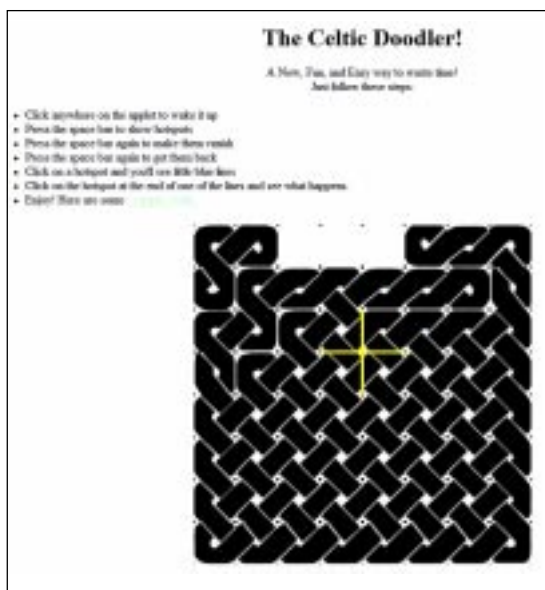


Рис. 4



...если ubiquitin hydrolase вмешивается и удаляет ubiquitin, белок спасен.

(<http://knotplot.com/thesis/>). Сайт оказался настолько удачным, что в 2004 году получил звание «Лучший сайт недели» Научного Онлайн-сообщества Америки (American Scientist Online) и получил признание таких журналов, как Science и Scientific American, а также многих музеев науки.

К сожалению, созданное автором программное обеспечение для изображения узлов, является платным (в противовес объявлению, которое было сделано автором несколько лет назад, когда программа ещё не была написана).

Но можно найти и много свободных программ для конструирования узлов, например на сайте Knots on the Web, который по объёму собранной ссылочной информации можно смело назвать «узловым порталом» (<http://www.earlham.edu/~peters/knotlink.htm#animal>).

В заключение мы приведём пример апплета, позволяющего создавать плетённые конструкции из стандартной заготовки с помощью простого инструмента – «крестика» (рис. 4), так что получается что-то вроде «вышивания крестиком». Посетите сайт <http://www.webmonkey.com/96/51/stuff/index.html> и сплетите что-нибудь на память.

Как вы видите интересоваться узлами можно с разных точек зрения:

- математической теории,
- приложений к биологии,
- компьютерной графики,
- и просто в качестве развлечения.

Что вы выбираете для себя?