

2008

выпуск №8

Доклады Независимых Авторов



Биология



Вычислительная техника



Медицина



Теоретическая механика



Физика и астрономия

Доклады Независимых Авторов

Периодическое многопрофильное научно-техническое издание

Выпуск №8

Биология \ 5

Вычислительная техника \ 83

Медицина \ 115

Теоретическая механика \ 130

Физика и астрономия \ 174

Об авторах \ 218

Россия - Израиль
2008

The Papers of independent Authors

(volume 8, in Russian)

Russia - Israel
2008

Copyright © 2008 by Publisher “DNA”

Все права (авторские и коммерческие) на отдельные статьи принадлежат авторам этих статей. Права на журнал в целом принадлежат издательству «DNA».

All right reserved. No portion of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, without written permission of Publisher and Authors.

Дизайн – Дубсон И.С.

Техническое редактирование - Хмельник С.И., Дубсон И.С.

Отправлено в печать 18 марта 2008 г.

Напечатано в США, Lulu Inc., каталожный № **2221873**

ISBN 978-1-4357-1642-1

На обложке – рисунок «ziprinia» из сайта “spacebloom.net”.

Сайт со сведениями для автора - <http://dna.izdatelstwo.com>

Контактная информация - publisher-dna@hotmail.com

Факс: ++972-8-8691348

Адрес: POB 15302, Bene-Ayish, Israel, 79845

Форма ссылки: *Автор. Статья*, «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2008, вып. 8, printed in USA, Lulu Inc., ID 2221873, ISBN 978-1-4357-1642-1.

Истина – дочь времени, а не авторитета.

Френсис Бэкон

Каждый человек имеет право на свободу убеждений и на свободное выражение их; это право включает свободу беспрепятственно придерживаться своих убеждений и свободу искать, получать и распространять информацию и идеи любыми средствами и независимо от государственных границ.

Организация Объединенных Наций.

Всеобщая декларация прав человека. Статья 19

От издателя

"Доклады независимых авторов" - многопрофильный научно-технический печатный журнал на русском языке. Журнал принимает статьи к публикации из России, стран СНГ, Израиля, США, Канады и других стран. При этом соблюдаются следующие правила:

- 1) статьи не рецензируются и издательство не отвечает за содержание и стиль публикаций,
- 2) автор оплачивает публикацию,
- 3) журнал регистрируется в международном классификаторе книг ISBN, передается и регистрируется в основных библиотеках России, библиотеке Конгресса США, национальной и университетской библиотеке Израиля,
- 4) приоритет и авторские права автора статьи обеспечиваются регистрацией журнала в ISBN,
- 5) коммерческие права автора статьи сохраняются за автором,
- 6) журнал издается в США,
- 7) журнал продается в интернете и в тех магазинах, которые решат его приобрести, пользуясь указанным международным классификатором.

Этот журнал - для тех авторов, которые уверены в себе и не нуждаются в одобрении рецензента. Нас часто упрекают в том, что статьи не рецензируются. Но институт рецензирования не является идеальным фильтром - пропускает неудачные статьи и задерживает оригинальные работы. Не анализируя многочисленные причины этого, заметим только, что, если плохие статьи может отфильтровать сам читатель, то выдающиеся идеи могут остаться неизвестными. Поэтому мы - за то, чтобы ученые и инженеры имели право (подобно писателям и художникам) публиковаться без рецензирования и не тратить годы на "пробивание" своих идей.

Хмельник С.И.

Содержание

Биология \ 5

Калашников Ю.Я. (*Россия*). Основы молекулярной биохимической логики и информатики \ 5

Калашников Ю.Я. (*Россия*). Ферменты и белки – это молекулярные автоматы естественных нанотехнологий с программной биохимической логикой управления \ 56

Вычислительная техника \ 83

Хмельник С.И. (*Израиль*). Еще о кодировании функций \ 83

Медицина \ 115

Семёнов С.Н., Рус Р. (*Австрия*). Альтернативный механизм опьянения под действием алкоголя и других органических растворителей. Рассмотрение с позиций фононной биологии. \ 115

Теоретическая механика \ 130

Недосекин Ю.А. (*Россия*). Потенциальная энергия – понятие математическое \ 130

Физика и астрономия \ 174

Карпов М.А. (*Россия*). О проявлениях реакции холодного ядерного синтеза в различных средах \ 174

Потапов А.А. (*Россия*). Поляризационный радиус атомов \ 179

Хмельник С.И. (*Израиль*), **Мухин И.А.** (*Россия*), **Хмельник М.И.** (*Израиль*). Продольные волны постоянного магнита \ 193

Хмельник С.И., Хмельник М.И. (*Израиль*). К вопросу о «магнитных стенах» в экспериментах Рождина-Година \ 206

Об авторах \ 218

Серия: БИОЛОГИЯ

Калашников Ю.Я.

**Основы молекулярной биохимической
логики и информатики****Аннотация**

Базовой основой организации биологической формы материи является генетическая информация, биохимический алфавит и те закономерности молекулярной биохимической логики и информатики, которыми пользуется живая природа при кодировании, передаче, преобразовании и использовании наследственной информации. Автор в этой статье предлагает конкретные идеи, гипотезы и концепции, которые, с его точки зрения, в наибольшей степени определяют информационную сущность живой материи. Основная часть статьи посвящена молекулярному биохимическому алфавиту (биологической элементной базе), молекулярным кодам и вопросу представления информации в различных её молекулярных видах и формах

Оглавление

1. История открытия генетического кода не получила надлежащего продолжения
2. Системы биологических (биохимических) элементов
3. Функции молекулярных био-логических элементов
4. Физико-химические принципы представления молекулярной информации
5. Правила применения био-логических элементов
6. Химические буквы, символы и знаки
7. Комбинационный принцип использования молекулярных букв и символов
8. Молекулярный алфавит живой формы материи
9. Линейный принцип кодирования в молекулярных системах применяется не только для передачи генетической информации, но и для программирования трёхмерной структурной организации биологических молекул
10. Стереохимический принцип кодирования и программирования функций биологических молекул

11. Два информационных уровня организации биологических молекул
 12. Молекулярные биологические коды и системы кодирования информации
- Литература

1. История открытия генетического кода не получила надлежащего продолжения

Самую удивительную неоконченную историю науки биологи связывают с открытием, сделанным Джеймсом Уотсоном и Френсисом Криком в 1953 г., - построением модели ДНК (двойной спирали). Всем стало ясно, что ДНК, – это и есть та, самая главная биомолекула, которая хранит все секреты жизни. «Сенсацией явилось открытие того, что наследственность заключена в линейном сообщении, представляющим собой последовательность четырёх оснований, – последовательность, обеспечивающую практически бесконечное число комбинаций. Возникло понятие кода, потом кодона. Кодон – последовательность, состоящая из трёх оснований. Был расшифрован код, отражающий связь между триплетом оснований и аминокислотой. Последовательность аминокислот в белке, его первичная структура, определяется порядком расположения кодонов. Более того, оказалось, что некоторые кодоны соответствуют не аминокислотам, а «знакам препинания»: они обозначают место начала или окончания последовательности оснований, соответствующей определённому белку. Между тем ДНК не формирует непосредственно белок, а направляет синтез комплиментарной ей иРНК, которая служит посредником; эта РНК прикрепляется к рибосоме. К иРНК присоединяются «активированные» аминокислоты. Чтобы соединиться в полипептидную цепь, каждую аминокислоту переносит специфическая, так называемая транспортная РНК» [1]. Таким образом, были открыты и исследованы некоторые фрагменты переноса и преобразования генетической информации.

Исключительным сюрпризом для биологов явилось то, что генетическая информация закодирована, а продуктом её расшифровки через посредство информационной РНК является белок. Чрезвычайно важной оказалась и концепция генетического кода, так как именно из неё вытекает представление о целостной системе передачи информации в живых клетках и организмах. Поэтому все последующие годы исследователей занимал вопрос использования информации в живых системах. К сожалению,

история открытия наследственной информации и генетического кода не получила надлежащего продолжения. Об этом ясно говорит центральная догма молекулярной биологии: «наследственная информация, закодированная в нуклеотидной последовательности, переводится в аминокислотные последовательности белков... Белковые молекулы представляют своего рода «ловушку» в потоке генетической информации» [2]. Таким образом, сложилось мнение, что в дальнейших биохимических процессах информация не участвует. Поэтому до сегодняшнего дня остаётся живучим тезис о том, что: «гены контролируют клеточный метаболизм за счет содержащейся в них информации о структуре ферментов и других клеточных белков, а ферменты выступают в роли биокатализаторов, управляющих всеми процессами в живых организмах» [3]. Однако эти туманные рассуждения не раскрывают ни сущности, ни механизмов биологических явлений. Потому, что строгое упорядочение и управление процессами при высокой избирательности и производительности не может быть обеспечено химическими катализаторами, какими бы замечательными и уникальными свойствами они не обладали. Забегая вперед, можно сказать, что эти клеточные процессы могут быть обеспечены лишь молекулярными биологическими автоматами с программной биохимической логикой управления, которыми на самом деле и являются – ферменты и другие клеточные белки.

Как мы видим, изучение прохождения информации в живых клетках почему-то остановилось на этапе синтеза белковых молекул. В связи с этим, хотя и были исследованы отдельные фрагменты, но не была открыта общая картина прохождения и реализации генетической информации. Молекулярные науки до сих пор не могут ответить на вопрос – как, и каким образом, генетическая информация осуществляет управление сложными химическими процессами обмена веществ и получения энергии? Как осуществляется информационное управление живой клеткой? Все эти вопросы уже давно попали в список таинственных «мировых загадок» и неразрешимых проблем современного естествознания. К сожалению, несмотря на усилия естественных наук, в настоящее время существует полный пробел в знаниях о главном: о взаимосвязи между информацией, структурой и функцией в различных биологических процессах. Можно сказать, что конечная цель биохимии, которая заключается в познании тайны жизни во всех её конкретных проявлениях, оказалась для биохимиков непосильной. Культ физико-химической науки, существующий до

сих пор в биологии, не принёс ожидаемых результатов! Очевидно, что законы физики и химии, действующие в любой живой системе, не отменяются. Однако, как оказалось, их необходимо дополнить новыми, пока еще неизвестными знаниями и закономерностями.

Между тем, известно, что клеточный космос биологических молекул, за время своего развития, создал надёжную и универсальную молекулярно-генетическую систему управления. Эта система оснащена наследственной памятью, которая в большинстве случаев имеет феноменальные информационные возможности. Всё это говорит о том, что живые системы уже давно пользуются своими, сугубо специфическими закономерностями молекулярной биохимической логики и информатики и своими молекулярно-биологическими информационными технологиями. То есть, в основе всех биохимических и био-логических процессов лежат процессы информационные. Большой неожиданностью для нас оказалось и то, что генетические и информационные молекулярно-биологические технологии правят миром живого уже более 3,5 миллиардов лет! Диктат генетической информационной субстанции подчинил движение потоков вещества и энергии своей воле, а направленность эволюционных процессов оказалась изначально подчинена информации. Именно эти технологии стали базовой основой эволюционного развития биосферы нашей планеты и ошеломляющего разнообразия жизни. Очевидно, что это и есть тот необъятный массив информационных молекулярно-биологических систем и технологий, который явился причиной движущих сил, порождающих необузданную генерацию жизни. Поэтому, главнейшей сущностью всего живого на Земле стала информация и информационные взаимодействия. А информационная составляющая, кроме своего прямого назначения, стала ещё и интегративным фактором, объединяющим в одно функциональное целое различные характеристики живой формы материи. Но, как ни странно, этот могучий пласт пока неизвестных нам природных информационных молекулярно-биологических технологий до сих пор не поддаётся изучению [4].

Наше поколение с конца 20 века переживает большой информационно-технологический бум во всех сферах и областях человеческой деятельности. Однако, как мы теперь узнаём, весь этот бум оказался всего лишь верхушкой того великого «айсберга» технологий, который лежит в фундаменте нашего мироздания. Приходится признать, что первый уровень развития живых информационных систем был реализован на молекулярной основе.

Основной массив генетических и информационных молекулярно-биологических технологий, применяемый живой природой и приведший к появлению растительного и животного мира и становлению самого человека, – современной науке до настоящего времени практически неизвестен [4]. А естественные науки до сегодняшнего дня так и не смогли ясно и четко ответить на вопрос – как, и каким образом, генетическая информация участвует в управлении сложными химическими процессами, молекулярными и другими биологическими функциями живой клетки? Поэтому в современной науке о живой материи полностью отсутствует информационная концепция её самоуправления.

Создается впечатление, что открытие генетического кода, так же как и матричный синтез белков, ещё не побудили биологов к тщательному исследованию информационных путей управления химическими превращениями и биологическими функциями. Однако уже давно стало очевидным, что живые системы не могут ни существовать, ни развиваться только на физико-химической основе. Между тем, полученные научные сведения уже сейчас позволяют сделать соответствующие обобщения, собрать известные и разыскиваемые фрагменты воедино и ближе подойти к решению многих информационных молекулярно-биологических проблем. Эти задачи вполне решаемы по ряду причин.

Во-первых, мы давно знаем, что, жизнь на нашей планете существует, поддерживается и развивается благодаря использованию наследственной информации. Этот факт, естественно, предполагает наличие в любой живой клетке целостной системы управления и передачи генетической информации. А интегративный характер этой информации указывает на то, что лишь она имеет право претендовать на ту особую роль в любой живой системе, которая раньше приписывалась «гаинственной жизненной силе».

Во-вторых, только информационная система самоуправления способна поддерживать жизнедеятельность живой клетки, управлять и регулировать её обмен веществ. Лишь только управляющие информационные потоки и сети способны превратить клетку в элементарную основу жизни, в центр по переработке органического вещества, химической энергии и генетической информации. Поэтому нам остается понять и разобраться: на каких принципах, правилах и механизмах основана работа информационной молекулярно-биологической системы управления? К примеру, считается, что роль вещества в составе клеток и организмов давно уже досконально изучена естественными науками и отражена в

различных учебниках по биохимии, биофизике, молекулярной биологии и т. д. Однако это далеко не так. Беру на себя смелость возразить и напомнить о том, что биоорганическое вещество является не только носителем материальной сущности живых систем. Следовательно, назначение клеточного вещества не исчерпывается уже изученными биохимическими процессами! Потому что, в живой клетке (как и в целостном организме), макромолекулы, в первую очередь, являются носителями химической энергии и молекулярной биологической информации. Кроме физических и химических законов они подчиняются еще и особым принципам и правилам, которые автор назвал закономерностями молекулярной биохимической логики и информатики! К сожалению, эта вторая и «таинственная» сторона биоорганического вещества – информационная (по важности не уступающая первой – вещественной), естественными науками оказалась незамеченной и поэтому практически неизученной. Данная статья является попыткой автора обратить внимание исследователей на все эти пробелы и, в меру своих сил и возможностей, рассмотреть и предложить предполагаемые пути их ликвидации.

2. Системы био-логических (биохимических) элементов

Известно, что построение и функционирование сложных информационных устройств базируется на применении типовых унифицированных узлов и элементов. К примеру, все информационные процессы в цифровой технике основаны на использовании типовых логических элементов, выполняющих элементарные логические функции и простейшие действия по преобразованию двоичной информации. Логические элементы служат как для построения электронных схем, так и для переработки двоичной информации. А теоретической основой при анализе переключательных схем являются законы и принципы алгебры логики. В алгебре логики рассматриваются переменные, которые могут принимать только два значения: 1 и 0. В основу типовых структур логических интегральных схем, как правило, закладываются элементы, выполняющие операции – И, ИЛИ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ. Все сколь угодно сложные цифровые устройства микроэлектронной техники строятся на базе логических элементов, которые реализуют простейшие логические функции и операции двоичной арифметики. Базовые элементы являются своего рода строительно-

функциональными единицами и используются как при проектировании, так и при построении цифровых информационных систем. Они реализуют функционально полный набор логических операций, поэтому при их применении можно получить логическую функцию любой сложности. При этом каждая типовая логическая схема элемента выполнена на основе отдельных дискретных физических компонентов – транзисторов, резисторов, конденсаторов и диодов.

Удивительно, но и при рассмотрении живых молекулярных систем наблюдаются такие же закономерности. Живые молекулярные системы тоже имеют свою унифицированную биологическую (биохимическую) элементную базу. Поэтому и здесь возможен обобщенный подход, основанный на применении простых органических молекул (мономеров), которые играют роль составных элементов различных биологических молекул и структур. А «теоретической и технологической» основой применения молекулярной базы служат свои универсальные законы и принципы, которые, по соответствующей аналогии, можно отнести к закономерностям «молекулярной биохимической логики» и информатики. Биохимическая логика предусматривает и такое понятие как «молекулярный био-логический элемент». Этот факт лишний раз напоминает нам о том, что любая живая клетка является информационной системой. Поэтому, чтобы понять закономерности её функционирования, – в первую очередь следует разобраться с элементной базой живой формы материи и принципами и правилами её использования.

Известно, что все живые организмы состоят из одних и тех же молекулярных строительных блоков – стандартного набора более чем трёх десятков типовых биохимических (био-логических) элементов: нуклеотидов, аминокислот, простых сахаров, жирных кислот и др. Число этих мономеров невелико, и они имеют одно и то же строение у всех видов организмов. Причем, каждый такой элемент в отдельности также представляет собой простейшую схему, структурными компонентами которой могут быть несколько химических элементов – водород, кислород, углерод, азот, фосфор и сера. А наличие тех или иных типовых функциональных атомных групп, боковых групп и атомов в составе каждого элемента позволяет прогнозировать не только его поведение в химических реакциях, но и предвидеть ту структурно-информационную роль, которую элемент будет играть в составе макромолекулы.

Таким образом, живые системы при построении различных биологических молекул и структур применяют свои особые, сугубо специфические мономеры – молекулярные био-логические элементы. Эти элементы (в составе живой материи) реализуют функционально полный набор элементарных биохимических функций и операций, поэтому при их использовании живая природа может получить био-логическую функцию любой сложности. При этом, естественно, наблюдается как аналогия, так и существенные различия между технической и биологической элементными базами и технологиями их применения. К примеру, микросхемы технических устройств могут состоять из сотен, тысяч и более логических элементов нескольких типов, соединенных между собой соответствующим образом. Биологические макромолекулы также могут состоять из сотен, тысяч и более био-логических (биохимических) элементов нескольких типов, которые ковалентно соединяются между собой и размещаются в цепях биомолекул в виде линейной позиционной последовательности. Разница также состоит в том, что живые системы используют свои принципы и методы кодирования, передачи и реализации информации и отличаются от технических систем не только субстратным носителем, но и методами представления информации. Более того, если логический элемент в цифровой технике является простейшим преобразователем двоичной информации, то каждый био-логический элемент в живой системе сам играет роль элементарной структурной и натуральной информационно-функциональной единицы.

В технической и биологической системах информационные сообщения осуществляются в различных формах. В технических устройствах используются элементарные сигналы 1 и 0 двоичного кода. То есть для передачи информационных сообщений применяется всего лишь два цифровых символа. Обычно символу 1 соответствует потенциал высокого уровня, символу 0 – низкого. Двоичные коды получили широкое применение главным образом из-за сравнительно простой аппаратной реализации логических операций и арифметических действий, а также устройств для передачи и запоминания сообщений. Здесь каждый логический элемент служит для простейших преобразований двоичной информации, то есть для преобразования двоичных символов. Таким образом, в технических устройствах применяется аппаратный способ преобразования информации. Однако в биологических системах, – наряду с аппаратным способом преобразования

информации, применяется также и информационный способ построения и преобразования самой аппаратной части. Это – уникальная особенность информационных процессов в живых молекулярных системах. Причем, единицей информации служит сам биохимический элемент, который и является буквой или символом информации. Поэтому при помощи химических букв и символов (элементов) строится аппаратная система клетки и, одновременно, в её структуры записывается программная информация. То есть, на первом этапе информационные сообщения передаются фиксированной позиционной последовательностью расположения букв или символов в «линейных» цепях биологических молекул.

Следовательно, если в технической системе применяется только аппаратный способ преобразование информации, то в молекулярно-биологической системе, – с помощью генетической информации и элементной базы сначала идёт построение и преобразование различных биомолекул и структур, и только потом эти средства могут участвовать в различных информационных процессах. В связи с этим, аппаратная часть клетки становится носителем и реализатором соответствующей программной и молекулярной биологической информации. Получается так, что если в технической системе аппарат является преобразователем информационных символов, то в живой клетке наоборот, – молекулярные буквы и символы, организованные в различные молекулярные последовательности информационных сообщений, сами выступают в роли преобразователей аппаратной части.

Причем, функции биомолекул полностью определяются элементарными функциями составляющих их био-логических элементов (букв или символов), – то есть информацией. А каждый элемент в составе биомолекулы всегда взаимодействует с другими элементами или молекулами воды по особым принципам и правилам, которые вполне можно назвать закономерностями молекулярной биохимической логики. Поэтому биохимические элементы здесь, по-видимому, становятся ещё и теми программными элементами, с помощью которых строятся алгоритмы функционального поведения различных биологических молекул и структур. Таким образом, чтобы изменить функциональную направленность деятельности клетки – ей, в определённой мере, с помощью новых информационных сообщений, необходимо частично менять свою аппаратную систему. Смена аппаратной системы, естественно, связана с синтезом новых биомолекул и

разрушением старых, которые отслужили свой срок и выполнили свою задачу. Поэтому, после выполнения своих функций, каждая биомолекула расчлняется на элементарные структурно-информационные единицы, которые вновь могут быть вовлечены в информационные процессы. Использованная информация как бы стирается и ликвидируется, а отдельные составляющие её буквы или символы, то есть «молекулярный биологический шрифт» рассыпается для того, чтобы вновь быть использованным в новых информационных сообщениях или других клеточных процессах. Такова основная отличительная особенность информационных передач в молекулярно-биологических системах. Живая клетка экономна во всём. Если вспомнить, что химические буквы и символы (элементы) строятся на базе отдельных атомов и атомных групп, то можно себе представить, какое колоссальное количество информации хранится в генетической памяти и циркулирует в живой клетке, размеры которой в длину подчас составляют сотые доли миллиметра. К примеру, зигота содержит всю информацию необходимую для развития целостного организма.

Для изменения управляющих воздействий, клетке постоянно нужно обновлять информационные сообщения, что, соответственно, приводит и к обновлению аппаратной части клетки. Поэтому в живой клетке идет постоянное движение информации и вещества. С одной стороны идёт процесс переработки и обновление управляющей информации, а значит ферментов и других белковых молекул, с другой – это приводит к изменению химических управляемых процессов, которые осуществляются ферментами. В случае необходимости данные процессы поддерживаются дозой циркуляцией химической энергии в форме АТФ.

Можно убедиться в том, что для построения различных классов высокомолекулярных соединений, таких как нуклеиновые кислоты, белки, полисахариды или липиды, живая клетка использует различные системы (алфавиты) биохимических элементов. Заметим, что с информационной точки зрения, эти классы биологических молекул представляют собой ничто иное, как различные виды и формы молекулярной информации. Поэтому в живых клетках, для представления молекулярной информации в различных её видах и формах, существуют системы био-логических элементов разных типов:

1) нуклеотиды, – система структурно-функциональных и информационных биохимических элементов ДНК и РНК (алфавит нуклеиновых кислот);

2) аминокислоты, – система структурно-функциональных и информационных элементов белков (алфавит белковых молекул), для которых существует генетический код в виде тройки нуклеотидов;

3) простые сахара, – структурно-функциональные элементы и информационные символы (алфавит) полисахаридов;

4) жирные кислоты, – структурно-функциональные элементы и информационные символы (алфавит) липидов и др. Более четкой идентификацией и классификацией био-логических элементов, по всей вероятности, должна заниматься отдельная дисциплина, такая как «Молекулярная биологическая информатика».

Наличие в живой клетке систем молекулярных биохимических элементов (мономеров) существенно упрощает процессы построения различных классов макромолекул и структурных компонентов, повышает технологичность их изготовления и, одновременно, расширяет их функциональные и информационные возможности. Как мы видим, каждый типовой набор организован в свою систему элементов, которая обладает общими биохимическими, структурными и технологическими особенностями, образует однотипные связи между элементами, совместимые по своим физико-химическим параметрам. В основном из этих молекулярных элементов в различных сочетаниях, составе и последовательности построены все структурные и функциональные компоненты живой клетки. Следует отметить, что каждая система биохимических элементов в клетке является отдельным алфавитом и характеризуется своим способом кодирования, а также видом и формой представления молекулярной биологической информации. Это, соответственно, и является первопричиной появления различных классов и великого разнообразия биологических молекул в живых системах..

Удивительно, но факт, – всё живое на Земле, от ничтожной бактерии до человека, состоит из одинаковых строительных блоков – стандартного набора более чем трёх десятков типовых функциональных био-логических (биохимических) элементов. В состав этого уникального набора входят:

1) восемь нуклеотидов, – «четыре из них играют роль кодирующих единиц ДНК, а другие четыре используются для записи информации в структуре РНК» [3];

2) двадцать различных стандартных аминокислот, которые кодируются в ДНК и служат для матричного построения белковых молекул;

3) несколько жирных кислот, – сравнительно небольшое число стандартных органических молекул, служащих для построения липидов;

4) родоначальниками большинства полисахаридов является несколько простых сахаров (моносахаридов). Все эти элементы были отобраны в процессе эволюции, вследствие их уникальной пригодности к выполнению различных – химических, энергетических, молекулярных, информационных и других биологических функций в живых клетках.

Как мы видим, основой каждой системы являются свои индивидуальные молекулярные био-логические (биохимические) элементы. А на базе различных систем био-логических элементов, – молекулярных алфавитов, могут быть «сконструированы» разнообразные макромолекулы клетки – ДНК, РНК, белки, полисахариды и липиды. Поэтому элементная база представляет собой те системы биохимических элементов, используя которые живая клетка способна информационным путём строить различные биологические молекулы и структуры, а затем с помощью этих средств осуществлять любые биологические функции и химические превращения. «Структурные схемы» базовых молекулярных элементов, их природные свойства и особенности достаточно наглядно рассмотрены и представлены в различных учебниках по биохимии. Наша задача – больше уделить внимания информационным аспектам применения таких биохимических единиц.

3. Функции молекулярных био-логических элементов

Заметим, что все биохимические элементы живых систем являются многофункциональными элементами. Благодаря своим уникальным природным свойствам, они играют фундаментальную роль буквально в различных биологических процессах – структурных, физико-химических, энергетических, функциональных и информационных. Во-первых, – все био-логические элементы различных систем (нуклеотиды, аминокислоты, простые сахара, жирные кислоты и др.) являются теми универсальными и унифицированными стандартными «строительными блоками», при помощи которых во всех живых клетках осуществляется физическое

построение любых других, более крупных биологических молекул и структур (нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов, липидов и т. д.). Образовавшиеся при этом большие макромолекулы приобретают достаточную структурную жесткость и получают способность к выполнению определённых биологических функций. Однако это достигается уже за счет других удивительных свойств молекулярных элементов.

Во-вторых, – типовой стандартный набор био-логических элементов представляет собой ничто иное, как тот общий молекулярный алфавит живой формы материи, с помощью которого во время биосинтеза макромолекул ведётся непрерывная запись информации в их молекулярные цепи. А отдельные элементы, при этом, играют роль различных химических букв или символов, с помощью которых во время записи идёт физико-химическое воплощение молекулярной биологической информации. Поэтому, если их рассматривать с информационной точки зрения, то можно отметить, – все биохимические элементы в живой системе являются информационными био-логическими единицами (элементарными сигналами), реализующими основные функции молекулярной биохимической логики и информатики. Входя в состав биомолекул, они определяют не только их нативную конформацию, но и весь широкий спектр их функциональной и информационной деятельности. При помощи различных биохимических букв и символов строится молекулярная аппаратная система клетки, то есть таким способом в её структуры и макромолекулы записывается биологическая информация. Ясно, что информационная концепция построения и функционального поведения биомолекул может базироваться только на специфических свойствах и правилах применения таких биохимических единиц.

В-третьих, – хранение, передача, преобразование и реализация генетической информации в клетке осуществляются только на основе и с помощью различных систем (алфавитов) био-логических элементов, представляющих собой общий алфавит живой формы матери. А отдельные буквы и символы каждого алфавита являются теми элементами, при помощи которых осуществляется кодирование и преобразование различных видов и форм молекулярной биологической информации. Причем, каждая система биохимических элементов характеризуется своим способом кодирования, видом и формой представления информации. Поэтому, при решении различных биологических задач, живая

клетка пользуется различными молекулярными кодами, видами и формами представления информации. Молекулярным кодированием в живой системе можно назвать процесс представления данных последовательностью химических букв или символов. Информация в клетке передается в форме молекулярного кода, основу которого составляет определённый набор химических букв или символов. При этом, закодированная последовательность букв или символов любого сообщения, как правило, передаётся не однократно, а с многократным повторением, что ведет к повышению помехоустойчивости информационной системы. С кодированием связано одно из замечательных свойств живой клетки – возможность хранить, передавать и обрабатывать генетические сообщения [5].

Информация в живой системе может преобразовываться с помощью биологических кодов и алфавитов из одного её молекулярного вида в другой, из одной её молекулярной формы (линейной, химической) в другую (пространственную, стереохимическую). К примеру, информация, представленная генетическим кодом в виде молекул иРНК, транслируется в информацию полипептидных цепей, которая записывается уже другим кодом – аминокислотным и поэтому имеет совершенно другой молекулярный вид. А линейная информация, записанная в форме полипептидных цепей, преобразуется в трёхмерную информацию белковых молекул, то есть в совершенно другую молекулярную форму (пространственную, стереохимическую).

В-четвёртых, – нуклеотиды, аминокислоты, простые сахара и жирные кислоты, как известно, играют существенную роль также и в энергетическом обмене живой клетки.

В-пятых, мы еще не отметили, возможно, наиболее важное назначение элементной базы. Все био-логические элементы оказались наделёнными такими химическими и физическими качествами и свойствами, сочетание которых позволяет им функционировать не только в качестве строительных блоков или химических букв и символов, но ещё и служить теми программными элементами, с помощью которых строятся различные алгоритмы программного поведения биологических молекул. То есть, все элементы, в составе биологических молекул, могут взаимодействовать друг с другом и с молекулами воды по особым специфическим принципам и правилам, которые вполне можно назвать закономерностями молекулярной биохимической логики. Вследствие этого они «автоматически» становятся теми

программными элементами, при помощи которых сначала строится алгоритм конформационного преобразования, а затем и программа функционального поведения отдельной биологической молекулы. Под алгоритмом следует понимать последовательность операций, которые выполняются био-логическими элементами в составе молекулярной цепи, сначала во время конформационного преобразования, а затем, во время функционального поведения биомолекулы. Таким образом, программирование функций биологических молекул и структур в клеточной среде также осуществляется с помощью элементной базы и генетической информации (под руководством соответствующих аппаратных средств). Рассмотрим пример, подтверждающий эту гипотезу. Благодаря уникальным природным свойствам боковых атомных групп элементов в составе молекулярной цепи, между ними возникают такие силы, связи и взаимодействия, которые позволяют им становиться (в клеточной среде) теми программными элементами, с помощью которых сначала строится алгоритм конформационного преобразования биомолекулы, а затем, и программа её функционального поведения. Значит, биохимические элементы выполняют не только чисто строительные функции.

Здесь наглядно видно, что в основе решения различных биологических задач лежит совокупность элементарных биологических функций и операций, выполняемыми этими элементами в составе биологических молекул. С помощью таких программных элементов (букв и символов) живая система может выразить и осуществить любое из имеющихся в её арсенале биологических функций и процессов. Поэтому при программировании различных биологических функций, процессов и задач в живой клетке широко используются программные био-логические элементы и «аппарат молекулярной биохимической логики». Без полного знания правил и принципов кодирования и программирования биологических молекул, лежащих в основе репликации, транскрипции и трансляции генетической информации и реализации её в различных биологических функциях, вряд ли возможен и осуществим процесс познания живой материи.

Важно отметить, что все указанные качества и свойства биологических элементов существуют всегда и одновременно и поэтому они, по своей сути, являются разными характеристиками одной и той же элементной базы. Только такое сочетание характеристик позволяет био-логическим элементам обеспечивать в живой клетке и информационное построение различных молекул и структур, и

программное управление их биологическими функциями. Причем, естественно, что разные системы (алфавиты) элементов имеют своё специфическое назначение – структурное, информационное, программное и функциональное. К примеру, все био-логические элементы каждой системы применяются в качестве типовых строительных блоков, поэтому каждый из элементов имеет свою специфическую форму, структуру и конфигурацию, предназначенную для построения своего класса биологических молекул. Если же их рассматривать как программные элементы, то одни из них, – нуклеотиды, в основном служат для записи, хранения и передачи программной информации, а другие – аминокислоты, простые сахара и др., благодаря своим уникальным свойствам, служат для реализации программной информации.

В итоге мы приходим к заключению, что любая химическая буква (или символ), входящая в состав биомолекулы, является тождественным эквивалентом такой био-логической единицы, которая выполняет роль и типового структурного строительного блока, и элементарного информационного сигнала, и программного элемента, и функциональной единицы. Сама же биологическая функция возникает путём активации всей совокупности качеств и свойств био-логических элементов, входящих в состав биологических молекул. Поэтому программная, информационная и функциональная деятельность биологических молекул в клетке осуществляется благодаря применению таких био-логических единиц. Причем, активация биологических молекул возникает только на основе их информационного взаимодействия друг с другом.

Важно отметить, что указанные качества и свойства стали неотделимыми спутниками всех типовых био-логических элементов, они являются разными сторонами одной и той же молекулярной базы. А сочетание разных характеристик молекулярных элементов оказалось идеально приспособленным для выполнения различных биологических функций в живых клетках. Вводя понятие био-логических элементов, следует иметь в виду не только закономерную взаимосвязь между различными их свойствами, но и одну из главных сторон элементов – информационный аспект их применения. Он непременно должен учитываться при изучении и исследовании живой материи. Мы отметили лишь основные направления использования различных биохимических элементов. Ясно, что элементная база живых молекулярных систем действительно обладает удивительными

многофункциональными природными качествами и свойствами, которые имеют фундаментальное значение в различных биологических, в том числе, и информационных процессах.

4. Физико-химические принципы представления молекулярной информации

Как мы уже отметили, любой био-логический элемент представляет собой простейшую «схему», структурными компонентами которой могут быть несколько химических элементов – водород, кислород, углерод, азот, а также фосфор и сера. Различные атомы типового био-логического элемента определённым образом соединены между собой ковалентными связями, образуя углеводородный скелет, а также отдельные функциональные и боковые атомные группы. Наличие тех или иных функциональных атомных групп, боковых групп и атомов в составе каждого элемента позволяет прогнозировать не только его поведение в химических реакциях, но и предвидеть ту структурно-информационную роль, которую элемент будет играть в составе биомолекулы. Каждый элемент характеризуется наличием своих функциональных атомных групп, которые определяют его химические свойства и служат входными и выходными цепями, с помощью которых элементы могут ковалентно соединяться друг с другом в длинные молекулярные цепи.

Кроме того, каждый элемент имеет свою индивидуальную боковую атомную группу (или группы), которая в живой системе используется в качестве элементарного информационного химического сигнала. Поэтому, если в информационных технических системах наиболее широкое применение находят электрические сигналы, с переносчиком в виде импульсного тока или напряжения, то в молекулярно-биологических системах, в качестве элементарных сигналов, используются химические сигналы различных био-логических элементов – нуклеотидов, аминокислот, простых сахаров, жирных кислот и др. с переносчиком в виде их боковых атомных групп. На этот момент следует обратить особое внимание, так как он является одним из ключевых в молекулярной биологической информатике. Отсюда следует, что элементарной единицей информации в биологической макромолекуле является любой био-логический элемент, входные и выходные цепи (функциональные группы) которого служат для фиксации элемента в молекулярной цепи, а боковая атомная группа и является тем физико-химическим сигналом, с помощью которого осуществляется

воплощение информации, то есть кодовая форма записи информации. Наглядный пример: сообщение в цепи ДНК или РНК кодируется в виде последовательности нуклеотидов, а носителями генетической информации являются азотистые основания – «боковые» атомные группы нуклеотидов. Соответственно, и в полипептидной цепи белка это сообщение записывается в виде последовательности аминокислот, где носителями информации являются их боковые R-группы. Таким образом, живые молекулярные системы используют химический принцип записи информации. А элементарные химические информационные сигналы определяются соответствующими элементами, выступающими в качестве единиц молекулярной биологической информации [6].

К примеру, каждая из 20 типовых аминокислот, – кодирующих единиц белковых молекул, характеризуется своим индивидуальным набором структурных и химических свойств. Причем, аминокислоты отличаются друг от друга только вариabельными боковыми цепями – R-группами. Поэтому они подразделяются в зависимости от структурной конфигурации боковых атомных групп их химических свойств и особенностей. По характеру заряженности боковых R-групп и их полярности, аминокислоты классифицируются: «на полярные или гидрофобные; полярные, но незаряженные; полярные с отрицательным зарядом; полярные с положительным зарядом. Внутри каждого класса имеется определённая градация по полярности, размерам и форме R-групп» [3].

Кстати, напомним, что в цифровой технике для кодирования информации обычно применяются отрицательные, положительные и нулевые электрические сигналы. «В соответствии с этим промышленностью выпускаются серии логических элементов положительной или отрицательной логики, которые срабатывают соответственно только от положительных или только от отрицательных потенциалов (импульсов)» [7]. В живой системе, как мы видим, для представления информации применяется более широкий спектр физико-химических свойств и структурных особенностей различных био-логических элементов.

В связи с этим, отдельно необходимо подчеркнуть, что широкий диапазон природных свойств и особенностей различных элементов является базовой основой для сигнальной формы представления молекулярной биологической информации. Поэтому носителями единичной информации в биологических молекулах являются биохимические элементы, а их специфические боковые атомные

группы – это и есть те элементарные химические сигналы, при помощи которых осуществляется кодирование, передача, а также реализация информации в различных биологических процессах. Ясно, что всё разнообразие информационных сил, связей и взаимодействий в живой системе может базироваться только на применении типовых био-логических элементов, представляющих собой не только элементную базу живой формы материи, но и её общий молекулярный алфавит, с помощью которого производится воплощение генетической информации.

5. Правила применения био-логических элементов

Вспомним, что каждый логический элемент микроэлектронной техники, перед тем как выполнить свои функции, должен быть подключен к источнику питания и к соответствующим цепям общей схемы. Для этой цели каждый элемент имеет свои входные и выходные цепи. Определённая аналогия наблюдается и при подключении биохимических элементов к цепям биологических молекул. Например, каждая аминокислота как элемент, состоит из двух частей – константной, одинаковой для всех аминокислот части, к которой относится углеводородный скелет и его функциональные группы (аминогруппа и карбоксильная группа), и переменной – боковой цепи (или R-группы), которая имеет в каждой аминокислоте присущие только ей природные свойства и структурные отличия. В связи с этим аминокислоты различаются между собой только боковыми R-группами, посредством которых в полипептидной цепи белка осуществляется физико-химическое воплощение молекулярной биологической информации.

Для включения аминокислоты в общую полипептидную цепь используется только константная часть элемента. «Ковалентная пептидная связь образуется путём отщепления компонентов воды от аминогруппы свободной аминокислоты и карбоксильного конца пептида, поэтому аминокислотные звенья, входящие в состав полипептида, обычно называют остатками» [3]. В результате длинная ковалентная цепь состоит из монотонно чередующихся остатков константных частей био-логических элементов (аминокислот), а к каждому углеродному атому основной цепи присоединены переменные части аминокислотных остатков – боковые R-группы. Таков принцип записи молекулярной биологической информации в полипептидной цепи белка в процессе трансляции генетической информации. Каждая из боковых R-групп основного остова цепи

имеет одно из двадцати кодовых (смысловых) значений, поэтому аминокислотные звенья белка являются материальными носителями информации.

Кратко рассмотрим пример записи информации в молекулярных цепях ДНК или РНК с помощью другой системы элементов – нуклеотидов. Каждый нуклеотид, как био-логический элемент, также состоит из двух частей – константной, к которой относится пятиуглеродный сахар и фосфорная кислота, и переменная – азотистого основания, при помощи которого, как известно, кодируется и передаётся генетическая информация. Следующие друг за другом нуклеотиды соединяются с помощью фосфодиэфирной связи, поэтому ковалентные остовы цепей нуклеиновых кислот состоят из монотонно чередующихся константных частей биохимических элементов (нуклеотидов) – фосфатных и пентозных групп, а азотистые основания «можно рассматривать как боковые группы, присоединённые к остову на равных расстояниях друг от друга» [3]. Здесь также наглядно видно, что длинный остов молекулярной цепи выполняет роль носителя информации, на котором в виде различных переменных групп (азотистых оснований) записана генетическая информация. Фиксированный порядок следования нуклеотидов в ДНК содержит всю генетическую информацию, которой располагает живая клетка.

Становится очевидным, что линейная последовательность любых биохимических элементов в молекулярной цепи всегда представляет собой химическую запись определённой биологической информации. Указанные примеры говорят о существовании общих закономерностей молекулярной биохимической логики и наличии общих принципов и правил применения и использования различных био-логических элементов (химических букв и символов) в живых системах.

6. Химические буквы, символы и знаки

Итак, химические буквы и символы общего алфавита (биологические элементы) живой клетки являются единицами молекулярной биологической информации. И если за единицу информации в технических устройствах принята двоичная единица – бит, то в живых системах каждая буква или символ является элементарной и натуральной единицей молекулярной информации. И хотя информация, как важнейшая сущность нашего мира, явление, в целом, глобальное и пока неподдающееся философскому определению, однако в молекулярной биологии, как

мы видим, это понятие приобретает своё специфическое смысловое наполнение.

И, действительно, мы убеждаемся в том, что элементарный состав биологических макромолекул определяет не только структуру живого вещества, но он же, тождественно, является и эквивалентом информационного генетического сообщения, и средством программного и энергетического обеспечения. Это замечательное свойство можно назвать тождественностью органического вещества, химической энергии и молекулярной информации [8]. Поэтому, зная основы биохимии и молекулярной биологии, можно констатировать, что принцип единства вещества, энергии и информации – это и есть тот главный и основной закон, который определяет и обуславливает само существование живой формы материи. А уникальные свойства элементной базы живой материи лишь подтверждают такую гипотезу. Однако ясно, что здесь мы коснулись серьёзной проблемы, которая детально не может быть рассмотрена в этой статье. Наша задача – показать, что информация в молекулярной биологии не отвлеченное понятие, а объективное свойство и необходимая сущность живой формы материи. При этом информация, – это содержательные сведения генетических сообщений, которые передаются в структурах биологических молекул с помощью молекулярных кодов. Эти коды формируются на основе химических букв и символов (биологических элементов) и служат как для построения различных макромолекул и структур живой клетки, так и для получения различных биохимических, молекулярных и информационных функций и сигналов управления.

Макромолекулы и структуры живой системы, состоящие из биологических элементов (составляющих коды), являются естественными носителями информации и программных средств, поэтому всё время находятся во взаимодействии друг с другом и с системой управления. В связи с этим, все информационные управляющие процессы в живой клетке, как правило, базируются на применении целостных биохимических элементов. К примеру, при организации процессов репликации, транскрипции или трансляции генетической информации, управляющая система клетки манипулирует целостными элементами – нуклеотидами или аминокислотами, которые играют роль химических букв биологической информации.

При построении полисахаридов или липидов она манипулирует уже другими элементами – простыми сахарами и жирными

кислотами, которые вполне можно назвать символами молекулярной информации. Значит в действительности молекулярная информация в биологии вовсе не «миф, а закономерная реальность».

Кроме того, в ступенчатых химических реакциях различные ферменты способны манипулировать и отдельными химическими знаками этих элементов, то есть их составными частями, – боковыми или функциональными атомными группами, отдельными атомами и их химическими связями. Эта способность управляющей системы основана на том, что все биохимические элементы, а значит и биомолекулы клетки, обладают различными типовыми функциональными и боковыми группами и химическими связями, которые свободно узнаются и тестируются соответствующими ферментами. Боковые и функциональные атомные группы и их химические связи – это и есть те опознавательные знаки, благодаря которым управляющая система легко может идентифицировать любой био-логический элемент клетки.

Значит, в живой клетке, кроме молекулярного алфавита различных элементов, существует ещё и свой химический алфавит типовых атомных групп и атомов, манипулируя которыми управляющая система может осуществлять их движение от одного элемента к другому (а, значит, и между молекулами). Поэтому, циркуляция атомных групп и атомов определяет свою субмолекулярную форму движения информации, которая в живой клетке организована в виде управляемых ступенчатых химических реакций. Таким образом, информационные процессы в живой клетке практически затрагивают не только молекулярный уровень организации, но и, что удивительно, субмолекулярный – атомный. Однако следует заметить, – если целостные элементы служат для организации самих аппаратных устройств и управляющих информационных процессов клетки, то их химические знаки используются также и в качестве информационных сигналов для организации управляемых химических процессов. В связи с этим, управляющая система клетки, в целом, способна манипулировать различными химическими «буквами, символами и знаками», которым предписан определённый биологический и информационный смысл.

Для более четкого восприятия информационной концепции управления, а также для устранения разночтений в тексте, условно можно принять, что: 1) химическими буквами в клетке являются нуклеотиды и аминокислоты, с помощью которых непосредственно

записывается управляющая и структурная информация нуклеиновых кислот и белковых молекул; 2) остальные элементы, например, простые сахара и жирные кислоты, являются химическими структурно-информационными символами, служащими для построения других классов биомолекул (полисахаридов и липидов), а также для записи в их структуру функциональной информации; 3) информационные химические знаки, которыми может манипулировать управляющая система в ступенчатых химических реакциях, – это отдельные структурно-химические части – функциональные или боковые группы и атомы различных биохимических элементов, и их химические связи.

Ступенчатые химические реакции, как правило, характеризуются упорядоченным и целенаправленным движением отдельных химических знаков, переносимых от одного элемента к другому, а, значит, и между молекулами. Это напрямую подтверждает мысль о том, что как управляющая, так и сигнальная осведомляющая информация в живой клетке хранится, передаётся и циркулирует только в составе различных биологических молекул. Таким образом, общий принцип работы информационной молекулярно-биологической системы управления сводится к упорядоченному манипулированию различными химическими буквами, символами и знаками, которым предписан определённый информационный смысл. Сам механизм действия системы основан на том, что все операции, связанные с организацией управляющего процесса, производятся над единицами биологической информации – химическими буквами и символами. А операции, связанные с управляемыми процессами производятся над составными частями молекул субстрата – химическими знаками их элементов. Это означает, что все химические и биологические процессы в живых молекулярных системах управляются только информационным путём, а источником управляющей информации является генетическая память. Данный момент трудно переоценить, так как он является ключевым для молекулярной биохимической логики и информатики.

Отсюда, как следствие, вытекает и тот факт, что все клеточные процессы управляются, регулируются и взаимно координируются той программной информацией, которая (с помощью генетической информации и элементной базы) «загружена» в аппаратную систему клетки, то есть, перенесена и находится в функциональных биомолекулах и структурах клетки. Таким образом, получается, что управление биохимическими процессами в живых системах

осуществляется при помощи «программируемых» молекулярно-аппаратных средств: ферментов, белков и других функциональных биологических молекул. Однако эти вопросы выходят за рамки данной статьи.

7. Комбинационный принцип использования молекулярных букв и символов

Запись информации в живых молекулярных системах осуществляется так же, как и при любой письменности – комбинационной последовательностью соответствующих букв или символов. Для этой цели применяется общий молекулярный биологический алфавит, содержащий более 30 букв и символов. Молекулярные буквы и символы отличаются друг от друга содержанием функциональных и боковых атомных групп и атомов, входящих в состав каждого элемента, их различными химическими, структурными и функциональными свойствами. Поэтому все биохимические элементы – нуклеотиды, аминокислоты, простые сахара, жирные кислоты и другие мономеры являются натуральными дискретными информационными единицами – буквами или символами, служащими для представления биологической информации в различных её молекулярных видах и формах.

Каждый элемент характеризуется наличием своих функциональных групп, с помощью которых элементы могут ковалентно соединяться друг с другом в длинные молекулярные цепи. А их боковые атомные группы выполняют роль тех физико-химических сигналов, с помощью которых в молекулярной цепи осуществляется воплощение информации, то есть – кодовая форма записи различных сообщений. При этом каждый элемент в составе биомолекулы может иметь различное смысловое значение, которое зависит от его позиционной фиксации в молекулярной цепи, а затем и в трёхмерной структуре. Такая система представления информации называется позиционной. Следовательно, для кодирования молекулярной биологической информации в живых клетках широко применяется комбинационный принцип использования химических букв и символов общего алфавита и позиционная система представления информации с фиксированными дискретными данными. Это один из основных принципов молекулярной биохимической логики и информатики.

8. Молекулярный алфавит живой формы материи

Уже давно известно, что «генетическая информация кодируется с помощью нуклеотидов подобно тому, как информация, содержащаяся в книге, передаётся с помощью последовательности букв» [1]. Информация, как известно, – это содержательные сведения (данные), заключенные в том или ином сообщении. Сообщением называется информация, зафиксированная в некоторой материальной форме. Для дискретных сообщений характерно наличие фиксированного набора элементов (букв или символов) из которых формируются различные последовательности. К примеру, информационные сообщения в данной статье кодируются с помощью 33 букв алфавита русского языка. При этом различные буквы соответствующим образом группируются на бумаге в слова, фразы и предложения.

Общий алфавит живой формы материи также состоит из более 30 химических букв и символов, с помощью которых кодируется биологическая информация. Поэтому возможность построения различных биологических молекул из химических букв и символов общего алфавита живой формы материи также неисчерпаема, как и возможность составления различных слов и фраз при помощи букв алфавита русского языка. Только при использовании общего алфавита у живой клетки появляется способность хранить, передавать и преобразовывать информационные сообщения.

Таким образом, если живая клетка строит молекулярные цепи различных биомолекул с применением этих букв или символов, значит, она записывает в их структуру информацию. Вернее, даже наоборот, – информационные сообщения, то есть фиксированная позиционная последовательность химических букв или символов и их состав в молекулярной цепи определяет структурную, а поэтому и функциональную организацию самой биомолекулы. То есть гены сами несут необходимую информацию о структурных и функциональных особенностях различных биологических молекул. Этот момент также является ключевым в молекулярной биологической информатике. По сути дела, генетическая информация, во время трансляции, диктует программу построения ферментов и других белковых молекул живой клетки. А генетический код при этом служит тем ключом, с помощью которого информация, записанная в виде иРНК, переводится в информацию белковых молекул, то есть в совершенно другой её молекулярный вид.

Только таким путём обеспечивается программирование структур ферментов и других клеточных белков. А далее, соответствующие ферменты, в свою очередь, строят и программируют структуру и функции других биологических молекул. Причем, по аналогии с ранее существующим типографским набором, живая клетка использует «россыпи молекулярного биологического шрифта» – отдельных биохимических букв или символов, и в автоматическом режиме группирует их в информационные передачи, – последовательности букв или символов молекулярной цепи. При этом каждый элемент (буква или символ) несёт свой элементарный химический и структурно-рельефный (стерический) сигнал, переносчиком которого является его боковая группа (или группы). Кроме того, каждый элемент может также иметь различное смысловое значение, которое зависит от его позиционной фиксации в молекулярной цепи. Таким образом, для кодирования молекулярной биологической информации в живой клетке применяется позиционная система представления с фиксированными дискретными данными.

Значит, в молекулярных биологических системах используется дискретная форма представления информации и химический или стереохимический (пространственный) принцип её записи. Для дискретных сообщений характерно наличие фиксированного набора букв или символов, из которых формируются различные последовательности. А информационные сообщения, транслированные на полипептидные цепи, как мы видим, обеспечивают построение ферментов и других клеточных белков, которые являются основой аппаратной части живых клеток. Таким длинным и сложным путём идёт физико-химическое (структурное) воплощение генетической информации в биологическую форму материи.

9. Линейный принцип кодирования в молекулярных системах применяется не только для передачи генетической информации, но и для программирования трёхмерной структурной организации биологических молекул

Генетическая память и средства программирования белковых молекул находятся на значительных, по молекулярным меркам, расстояниях от объектов управления (субстратов). Поэтому живая клетка вынуждена кодировать информационные сообщения и передавать их по различным каналам связи, сначала в форме

линейных молекулярных цепей, а затем и в форме трёхмерных биомолекул. Благодаря уникальным свойствам элементной базы, структура молекулярных цепей всегда содержит конкретный алгоритм конформационного преобразования биологических молекул. В живой клетке функционируют только трёхмерные биомолекулы и структуры, поэтому «одномерная» информация, записанная в «линейных» молекулярных цепях должна быть преобразована в трёхмерную стереохимическую информацию биологических молекул.

В связи с этим, на разных этапах передачи генетических сообщений и программной информации в молекулярных биологических системах широко применяется и используется линейный принцип кодирования и программирования биологических молекул. Это и есть тот метод, который применяется живой клеткой для преобразования линейных цепей в трёхмерную структуру (конформацию) биологических макромолекул. Он, как мы уже отметили, основан на комбинационном принципе использования различных биохимических букв и символов молекулярного алфавита живой материи. Наиболее наглядным примером линейного кодирования информации являются процессы репликации, транскрипции или трансляции генетической информации, когда осуществляется матричный перенос информации с одних цепей на другие. Поэтому линейный принцип кодирования информации и программирования трёхмерной организации биологических молекул в основном используется в процессах хранения, передачи и преобразования биологической информации.

К примеру, генетическая информация кодируется в виде последовательности нуклеотидов ДНК, – значит, все программы ДНК записаны и хранятся на линейном языке ДНК, а переписываются (транскрибируются) они на «линейную» последовательность нуклеиновых кислот РНК. Далее программная информация переводится (транслируется) с линейных цепей иРНК на полипептидные цепи белковых молекул. Этот этап характеризуется применением генетического кода и сменой молекулярного носителя информации, когда с помощью молекулярного аппарата трансляции и элементной базы строятся и программируются линейные структуры различных ферментов и других клеточных белков. Смена молекулярных носителей обычно сопряжена с процессами кодирования и декодирования информации. К примеру, аминокислотные цепи белков, с одной

стороны, являются конечным продуктом процесса декодирования генетической информации, а с другой – они же являются начальным процессом кодирования стереохимической организации белковых молекул с помощью аминокислотного кода [6].

При помощи соответствующих ферментов и элементной базы в клетке строятся линейные цепи и других классов макромолекул, например, полисахаридов, липидов и т. д. Как мы видим, этот принцип широко используется в различных по своему характеру биологических процессах. Линейный принцип кодирования-декодирования прост, даже если в нём задействованы сложные ферментативные системы, так как запись информационных сообщений осуществляется так же, как и при любой письменности – комбинационной последовательностью соответствующих букв или символов. Следовательно, любая молекулярная цепь в живой системе представляет собой линейное информационное сообщение, записанное химическим способом. Одни и те же сообщения могут быть записаны различными биологическими кодами, например генетическим кодом в иРНК или аминокислотным кодом в полипептидной цепи белковой молекулы. Эта информация носит чисто биологический характер, потому, что, в частности, в процессе линейного кодирования структурная организация макромолекул программируются путём ковалентного соединения и позиционного фиксирования соответствующих букв или символов в длинных молекулярных цепях. В связи с этим разные молекулярные цепи, с информационной точки зрения, эквивалентны различным дискретным сообщениям.

При этом последовательностью программных элементов (букв или символов) записывается в молекулярную цепь весь алгоритм структурного преобразования биомолекулы, то есть таким путём программируется построение её трёхмерной стереохимической организации. Можно сказать, что линейный принцип кодирования применяется живой природой не только для передачи сообщений, но и для компактной упаковки молекулярных цепей, а значит, и информации. Этот принцип широко применяется как способ преобразования «линейных» цепей биомолекул в трёхмерную структуру, а, значит, и линейной информации – в пространственную, стереохимическую информацию различных макромолекул. Загруженные в «линейную» структуру молекулярной цепи алгоритмы – это воплощенные в последовательности элементов правила молекулярной биохимической логики, по которым занесенные в цепь данные воспринимаются как

элементарные сигналы, подлежащие исполнению. Отсюда следует, что любое генетическое сообщение, перенесенное на линейную цепь биомолекулы, кодирует не только её трёхмерную структурную организацию, с различными исполнительными органами и механизмами, но и все её стереохимические кодовые (информационные) сигналы. Поэтому можно сказать, что линейный принцип кодирования и программирования используется живой клеткой ещё и как способ перевода одномерной формы молекулярной биологической информации в трёхмерную информацию и нативную конформацию биологических молекул.

Поэтому важно обратить внимание на то обстоятельство, что все биохимические элементы в молекулярной цепи всегда представляют собой те программные элементы, из которых на первом этапе строится алгоритм структурного преобразования любой функциональной биомолекулы. К примеру, алгоритм конформационного преобразования белка задаётся в виде автоматного описания, заданного комбинационной последовательностью и составом кодирующих элементов (аминокислот) в «линейной» структуре полипептидной цепи. Здесь, как мы видим, – процесс стереохимического преобразования структуры и информации осуществляется аминокислотным кодом. Аналогичным образом идет трёхмерное преобразование макромолекул полисахаридов или липидов, осуществляемое кодовыми элементами простых сахаров или жирных кислот. При этом, естественно, эти макромолекулы будут иметь свои биологические характеристики. Линейный принцип кодирования в живой системе – это и есть тот начальный путь, который ведёт от молекулярной биологической информации к специфическим характеристикам живой формы материи [6].

10. Стереохимический принцип кодирования и программирования функций биологических молекул

Метод пространственного (стереохимического) кодирования основан на предварительном преобразовании линейной кодовой комбинации элементов цепей биомолекул в трёхмерную кодовую координатную организацию этих элементов и их боковых атомных групп в пространственной решетке. К примеру, линейная кодовая информация полипептидных цепей (как, впрочем, и других цепей биомолекул) всегда содержит конкретный алгоритм стереохимического преобразования белковых молекул. Заметим, что

в результате этих преобразований в структуре белковой молекулы формируются соответствующие молекулярные органы и исполнительные механизмы, а на локальных и поверхностных участках возникает такая пространственно-упорядоченная организация боковых атомных R-групп элементов, которая в живой системе играет роль стереохимических кодовых информационных сигналов. К таким сигналам могут относиться: стереохимические команды управления активного центра фермента (адресный код и код химической операции); различные сигнальные и регуляторные кодовые компоненты; коммуникативные локальные и поверхностные кодовые биохимические матрицы (микроматрицы), служащие для информационного взаимодействия биомолекул с их молекулярными партнёрами и т. д.

При этом, сама программа функционирования белковой молекулы (благодаря программирующим свойствам элементов) коммутируется лабильными физико-химическими силами, связями и взаимодействиями между боковыми R-группами элементов (аминокислот) в составе её трёхмерной структуры. Поэтому природа взаимодействий боковых атомных групп, определяющих конформационные особенности и внутреннюю динамику макромолекулы, имеет химическую основу и носит информационный характер. Макромолекула как бы стабилизируется самосогласованным сжимающим информационным полем, обусловленным силами притяжения между мономерами (программными элементами). Поэтому функциональное поведение макромолекулы, при взаимодействии её с молекулярными партнёрами, определяется свободной энергией и результатом информационного взаимодействия как внутренних, так и внешних составляющих её элементов. В связи с этим, процесс описания конкретного функционального алгоритма белковой молекулы на языке «стереохимических кодовых команд» можно было бы назвать – «программированием в стереохимических кодах».

В результате преобразований каждый белок клетки получает своё индивидуальное структурное, информационное, энергетическое, функциональное и программное обеспечение. Поэтому, стереохимический принцип кодирования молекулярной биологической информации применяется живой природой для размещения в одной макромолекуле различных по своему назначению сигналов, сообщений, команд управления, а также органов и механизмов их реализации. Такая организация биомолекул не обладает сильной структурной жесткостью, а всегда

достаточно лабильна в тех пределах, которые необходимы для выполнения их биологических функций. В связи с этим, в «молекулярной информатике», для исследования информационных путей построения и программно-функционального поведения биомолекул, открывается большое поле деятельности.

Кстати, метод пространственного кодирования, естественно, со своими особенностями, широко применяется и в технических устройствах, например, в радиолокации и военной технике. В технических информационных устройствах разделение различных сигналов может быть осуществлено во времени, по частоте, фазе, форме импульсов и другим признакам, а наиболее широкое применение находят адресные передачи с временным кодовым распределением сигналов. Заметим, что живая природа и здесь намного опередила технические системы по широте и спектру физико-химических признаков, которые используются для разделения информационных сигналов. Она намного опередила и предвосхитила появление адресных информационных передач. В живой системе широкое применение находят именно адресные передачи, где разделение передающих сигналов (в структуре биомолекул) можно назвать «стереохимическим кодовым разделением сигналов».

Таким образом, молекулярные биологические системы наиболее широко используют стереохимические кодовые сигналы с переносчиком информации в виде трёхмерных биомолекул. А это уже качественно новый скачок в использовании молекулярной информации, которая в такой форме явно становится основной характеристикой живой материи. Стереохимическое кодирование в живых молекулярных системах служит для программирования функций различных биомолекул. И если для компактной трёхмерной упаковки молекулярных цепей, а, следовательно, и информации, в живых системах применяется линейный принцип кодирования и программирования, то стереохимический принцип кодирования служит для программирования самих функций биологических молекул. В силу этих обстоятельств информация в молекулярной биологии приобретает смысл только через функцию, которую она кодирует. Биологические функции возникают в процессе информационного взаимодействия биологических молекул друг с другом. Поэтому все информационные взаимодействия биомолекул являются прелюдией к выполнению функций биологических.

Биологические функции возникают лишь в процессе адресной встречи и обмена информацией между биомолекулами с помощью их кодовых стереохимических матриц, которые должны комплементарно соответствовать друг другу. А соответствие молекулярных кодов в живых системах строится по принципу их структурной (стерической) и химической комплементарности, то есть на основе взаимодополняемости их связей, структур и функций. Целью стереохимического кодирования биомолекул является передача адресных информационных сообщений с кодовым разделением различных по своему назначению сигналов [1]. Более чем наглядно это видно, когда такая программа реализуется в форме белков и ферментов, то есть в виде молекулярных биологических автоматов или манипуляторов. Поэтому можно сказать, что это – универсальный путь передачи управляющей информации для непосредственного использования её в различных биологических процессах.

Очевидно, что размещение био-логических элементов в пространственной решетке трёхмерных биологических макромолекул является более совершенным способом их организации, чем размещение логических элементов на плоской поверхности микросхем. Размещение био-логических элементов в трёхмерных структурах макромолекул, как известно, осуществляется стереохимическим способом, поэтому сами элементы оказываются как бы упакованными «горизонтальными слоями на вертикальных уровнях». Таким образом, в живой материи была достигнута невероятная плотность записи как линейной, так и стереохимической информации, так как её кодирование в структурах макромолекул осуществляется на субмолекулярном уровне, с помощью боковых атомных групп молекулярных био-логических элементов – нуклеотидов, аминокислот, простых сахаров, жирных кислот и других мономеров.

Причем, каждая активная макромолекула клетки, как молекулярный биологический программный объект, всегда состоит из функциональных биохимических элементов (данных) и физико-химических алгоритмов, определяемых биохимической логикой взаимодействия программных элементов. При этом динамическая реактивность макромолекулы связана с кооперативным изменением сил притяжения и отталкивания, поэтому свободная энергия взаимодействия элементов в составе макромолекулы, при информационном контакте с молекулярными партнёрами, определяет её функциональное поведение. При недостатке энергии

биологические молекулы способны адресно (информационно) взаимодействовать с молекулами АТФ, которые в живой клетке выполняют роль аккумулятора химической энергии. Как мы видим, стереохимический язык живой формы материи является не только средством выражения информационных сообщений, но и средством «естественного общения» биологических молекул друг с другом.

Основной целью стереохимического кодирования и программирования биологических молекул является

1) передача в трёхмерных структурах биологических молекул различных сообщений со стереохимическим кодовым разделением сигналов;

2) программирование работы молекулярных органов и исполнительных механизмов, определяющих функции биологических молекул;

3) повышение помехоустойчивости информационных сообщений, путём применения комплиментарных обратных связей, при взаимодействии биологических молекул друг с другом с помощью их биохимических матриц;

4) повышение достоверности передачи сообщений, так как ошибочное замещение одной аминокислоты на другую в любом стереохимическом коде, как правило, ведёт к «потере» биологического сигнала белковой молекулы;

5) возможность регуляторного воздействия на управляющие стереохимические коды макромолекул путем «разрешения или запрета» на прохождение управляющих команд (при помощи регуляторных молекул обратных связей);

б) экономное использование различных компартментов, каналов связи и т. д.

Стереохимический принцип кодирования и программирования функций биологических молекул – это и есть тот путь, который непосредственно ведёт от молекулярной информации к биологическим характеристикам живой формы материи. Нам до сих пор неясен и непонятен этот древнейший язык живой природы, который, по всей вероятности, является не только средством молекулярного «общения», но и формой выражения биологической сущности живой материи. Здесь мы кратко рассмотрели формы и способы представления информации в живой молекулярной системе.

Таким образом, в живых системах наиболее широко применяется и используется как линейная химическая, так и стереохимическая структурная организация информационных кодов. А для

представления (кодирования) разных видов и форм молекулярной информации в живой клетке используются различные молекулярные алфавиты. Придёт время, и мы полностью убедимся в том, что в основе всех проявлений жизни лежат только те биохимические процессы, которые управляются и поддерживаются молекулярной биологической информацией, представленной в «линейной» химической или стереохимической форме [6].

11. Два информационных уровня организации биологических молекул

Главный вывод, к которому можно прийти, заключается в том, что информация, циркулирующая в живой клетке, всегда находится в молекулярных структурах биоорганического вещества. Она имеет функциональный характер, химическую или стереохимическую форму записи, а также различные молекулярные коды и виды представления. К примеру, молекулярная биологическая информация может быть представлена в виде цепей нуклеиновых кислот, – при записи её нуклеотидами; в виде полипептидных цепей, – при записи её аминокислотами; в виде линейных или разветвлённых цепей полисахаридов, – при записи её моносахаридами и т. д. Причем линейная форма записи информации, как правило, является основой для преобразования её в форму пространственную – стереохимическую. Следовательно, для решения различных биологических задач, живая клетка широко пользуется различными молекулярными алфавитами, языками, а также формами и видами представления информации.

Как мы видим, информация в живых клетках может существовать в двух молекулярных формах – одномерной химической (линейной) и пространственной, стереохимической. Значит, живая клетка пользуется двумя информационными уровнями организации биологических молекул – линейным и пространственным. На первом уровне, с помощью управляющих средств обеспечивается последовательное ковалентное соединение различных химических букв или символов в длинные молекулярные цепи. Таким путём производится запись информационных сообщений в первичную, одномерную («линейную») биологическую структуру. Однако, пространственная организация макромолекул и клеточных структур, так же как и реализация их функций, обычно осуществляются при помощи химических связей, значительно более слабых, чем ковалентные. Это происходит потому, что боковые группы тех биологических элементов, которые в цепи связаны ковалентно,

способны к информационным взаимодействиям с другими боковыми группами, как в пределах одной макромолекулы, так и с боковыми группами близлежащих молекул. К таким взаимодействиям (их называют слабыми связями) относятся: водородные и ионные связи, ван-дер-ваальсовы силы, гидрофобные взаимодействия, которые в совокупности, благодаря их многочисленности и разнообразию, оказываются весьма сильными. Поэтому они определяют не только степень прочности сложных макромолекул, – белков, нуклеиновых кислот, полисахаридов и т. д., но и обуславливают их функциональные возможности.

Следовательно, второй уровень организации макромолекул осуществляется в основном при помощи слабых нековалентных сил, связей и взаимодействий между боковыми атомными группами и атомами химических букв или символов. Через посредство этих сил и связей идёт воплощение линейной молекулярной информации в стереохимическую структуру и форму. В результате таких преобразований «одномерная» молекулярная информация цепей «сворачивается, пакуется и сжимается» в трёхмерную информацию биомолекул, которая в таком виде становится пригодной для транспортировки, передачи по различным каналам, а затем, и непосредственного использования в различных биологических процессах. Трансформация линейных генетических сообщений в трёхмерную структуру и форму различных биомолекул – это важный этап перехода биологической информации из одной её молекулярной формы в другую.

Линейный и пространственный элементарный состав макромолекул определяется генами, а каждый био-логический элемент в составе биологической молекулы тождественно может выполнять различные роли – как структурной, так и информационной единицы, как функционального, так и программного элемента. Поэтому все аппаратные средства живой клетки – белки, ферменты и другие клеточные компоненты обладают строго своей специфической структурной организацией, имеют своё информационное и функциональное назначение, а также своё индивидуальное энергетическое и программное обеспечение. Только благодаря удивительным многофункциональным свойствам био-логических элементов, макромолекулы клетки становятся обладателями настолько многоликих и разносторонних качеств и свойств, что их можно изучать и рассматривать буквально с разных сторон и различных точек зрения, – с физико-химической, со структурной, с

энергетической, с функциональной, с информационной, или с чисто биологической.

Столь разноплановые признаки и свойства биологической формы материи привели к тому, что в настоящее время её изучением заняты многочисленные естественные науки – биофизика, биохимия, генетика, молекулярная биология, биоэнергетика, цитология и многие другие дисциплины. Однако такой дифференцированный подход больше ведёт к разобщению, чем к интеграции знаний. Автор статьи уже давно убежден, что только альтернативный – информационный подход может позволить по-иному взглянуть на давно известные физические и химические закономерности и открыть новые страницы в изучении живой материи. Кроме того, такой интегративный подход мог бы послужить ещё и стимулом к объединению усилий различных биологических наук и дисциплин, изучающих сущность живого. В связи с этим, естественным наукам следовало бы больше уделять внимания информационным аспектам живой формы материи.

12. Молекулярные биологические коды и системы кодирования информации

Известно, что в цифровых технических устройствах широко используются цифровые коды. В основу правил соответствия кодовых комбинаций числам цифровых кодов положены математические системы счисления. В зависимости от значения основания кода, коды называются двоичными, троичными, десятичными и т. д. Однако, компьютеры обрабатывают не только числовую, но и различную алфавитно-цифровую информацию, содержащую помимо цифр, буквенные, синтаксические и математические символы. Совокупность всех этих символов образует алфавит входного языка машины. Поэтому необходимость ввода, обработки и вывода алфавитно-цифровой информации требует выбора определённой системы кодирования. Наибольшее распространение в компьютерах получило кодирование алфавитно-цифровых символов 8-разрядными байтами.

Очевидно, что использование клеткой разных систем биологических элементов также приводит к необходимости кодирования одних химических букв, символов или знаков через алфавитную систему других. Ясно, что в живой клетке используются свои специфические коды. Причем, автор данной статьи считает, что кодирование живой материи начинается с самого низкого – субмолекулярного уровня её организации, затем поднимается до

уровня биологических макромолекул и клеточных структур, и далее выходит на другие уровни организации живого. Наша задача рассмотреть субмолекулярные и молекулярные уровни организации, так как только они являются фундаментальными основами биологической формы движения материи.

Информационные проблемы в любой живой клетке тесно связаны, прежде всего, с применением различных алфавитов и молекулярных биологических кодов. Они также связаны с существующими принципами и правилами молекулярной биохимической логики, которые лежат в основе закономерностей биологической информатики. Поэтому важной составляющей частью биоинформатики должна стать теория молекулярной биологической информации. Она должна стать наукой об общих законах преобразования информации, с целью изучения различных форм и видов представления и передачи информации, применительно к молекулярным биологическим системам управления.

Известно, что процесс представления информации в виде последовательности расположения букв абстрактного алфавита называется кодированием. А обратный процесс воссоздания по данному дискретному коду исходного вида информации, называется декодированием. Код, как известно, – это набор правил, раскрывающий способ представления информационных данных. На этот момент следует обратить особое внимание, так как мы убеждаемся в том, что в живой клетке используются далеко не абстрактные алфавиты и, в связи с этим, применяются сложные многоступенчатые принципы передачи, с процессами перекодирования одного вида молекулярной информации в другой (например, в процессе трансляции, информация цепей иРНК преобразуется в информацию цепей белковых молекул); одной формы (линейной, одномерной) – в другую (пространственную, стереохимическую). Для этой цели в клетке используются разные алфавиты и различные средства и системы кодирования и преобразования информации.

Краеугольным камнем здесь, естественно, является концепция генетического кода, так как из неё вытекает представление о существовании в живой клетке информационной молекулярно-биологической системы управления. Информация, как известно, определяет поведение системы, повышает её организацию и понижает энтропию (деорганизацию). Для того чтобы понять информацию, необходимо знать код, – то есть способ её

представления. В настоящее время в биологии утвердилось представление о наличии такого кода только в случае генетической информации. Однако для кодирования различных видов и форм молекулярной информации живая клетка использует различные системы элементов общего алфавита, поэтому запись информации может осуществляться различными буквами и символами. Это ведёт к новому представлению о том, что в любой живой молекулярной системе для кодирования и декодирования информации широко применяются и другие биологические коды, которые служат для перевода и преобразования информации из одного её молекулярного вида в другой, из одной её молекулярной формы в другую. При этом различные алфавиты букв и символов, при помощи которых записывается информация в различные классы биологических молекул, являются материальными переносчиками информации.

К примеру, вся генетическая информация, которой располагает живая клетка, записана в структуре ДНК в виде комбинационной последовательности нуклеотидов. В настоящее время существует и такая точка зрения, что «некодирующие» последовательности, преобладающие в геномах эукариот, также имеют свои информационные коды, служащие для выполнения определённых биологических функций. Поэтому ключевым аппаратом кодирования наследственной информации в живой клетке является ДНК хромосом. Нуклеиновые кислоты имеют алфавит, содержащий восемь букв: «четыре из них (дезоксирибонуклеотиды) служат для кодирования информации в структуре ДНК, а другие четыре – (рибонуклеотиды) используются для записи информации в биомолекулы РНК» [3]. Поэтому «в процессе транскрипции осуществляется перенос генетической информации от ДНК к РНК. При этом все виды РНК – иРНК, рРНК и тРНК – синтезируются в соответствии с последовательностью оснований в ДНК, служащей матрицей» [3]. Значит, алфавит нуклеотидов является той системой элементов, которая служит как для хранения информации в генетической памяти ДНК, так и для считывания и загрузки её в структуру нуклеиновых кислот РНК, выполняющих в клетке роль оперативной памяти. Нуклеотиды – это та система элементов, с помощью которой кодируется, хранится и передаётся генетическая информация. Следовательно, информация в цепях ДНК и РНК записывается на языке нуклеиновых кислот.

Кодированием называется процесс преобразования информации в совокупность букв или символов, определяемую кодом. Поэтому

любой код является ключом для перевода одного вида информации в другой, или одной формы в другую. «Код имеет следующие основные характеристики:

1) основание кода m , равное числу отличающихся друг от друга букв (или символов) в алфавите;

2) длина кодовой комбинации n , называемая также длиной слова, n равно числу одинаковых или отличающихся друг от друга букв (элементарных сигналов) в кодовой комбинации; для данного кода характерно своё множество (набор) кодовых комбинаций, каждая из которых может передавать отдельное дискретное сообщение;

3) число кодовых комбинаций N в коде, каждая из которых может передавать своё отдельное сообщение; N называется также объёмом кода [7].

Перечисленные характеристики есть у любого кода и кодовой комбинации, независимо от представления кода, физической его реализации или способа передачи и хранения кодовых комбинаций. Кроме того, есть характеристики кодовых комбинаций, которые зависят от способа передачи и отображения. Так, по характеру передачи кодовых комбинаций они делятся на параллельный и последовательный способы передачи отдельных букв (или символов) кода. При параллельной передаче все символы кодовой комбинации передаются одновременно (например, при взаимодействии биомолекул друг с другом, с помощью их кодовых биохимических матриц, авт.), а при последовательной – поочередно (последовательно)». Упрощенно такие передачи называются параллельным или, соответственно, последовательным кодом. Примером последовательной передачи кодовой комбинации химических букв являются процессы репликации, транскрипции или трансляции генетической информации. Несмотря на то, что в живой системе применяются различные методы и способы кодирования и преобразования информации, – генетическому коду, как самому сложному в реализации, отводится особая роль.

Генетический код – это набор кодовых слов (триплетов) в и РНК (а, значит, и в ДНК), кодирующих аминокислоты белков. Основанием генетического кода (m) являются четыре различных нуклеотида. Поэтому алфавит генетического кода четырёхбуквенный, а вся информация в ДНК записывается на четырёхбуквенном языке структуры дезоксирибонуклеиновых кислот. Длина кодовой комбинации (n) в генетическом коде равно трём. Каждый кодирующий триплет, называемый кодоном, состоит

из комбинации трёх одинаковых или различных нуклеотидов и несёт дискретную информацию о соответствующей аминокислоте в полипептидной цепи белка. Каждый кодон кодирует только одну аминокислоту. Это свойство кода называют специфичностью или однозначностью. Генетический код является равномерным, триплетным, так как все кодовые комбинации одинаковы по длине ($n = 3$). Код называется полным, если $N = m^n$. Поскольку число возможных кодовых комбинаций нуклеотидов в триплете составляет 4^3 , то есть 64, а почти каждой аминокислоте соответствует несколько кодонов-синонимов, то генетический код считается полным и вырожденным. Все кодоны осмыслены – 61 из 64 кодонов используются для обозначения двадцати аминокислот, оставшиеся триплеты являются сигнальными. То есть каждому трёхбуквенному слову (кодону) соответствует либо аминокислота, либо сигнал начала или окончания считывания. Генетический код является универсальным, одинаковым у всех живых организмов и непрерывающимся, так как считывание информации идёт последовательно кодон за кодоном, без «запятых и пробелов».

Как мы видим, принцип перекодирования относительно прост, несмотря на то, что в нём задействован весьма сложный аппарат трансляции. Заметим, что процесс перекодировки с помощью генетического кода служит для загрузки генетической информации в структуру полипептидных цепей. А информационный смысл этого процесса как раз и заключается в том, что таким способом программируются трёхмерная организация, а затем и функциональное поведение белковых молекул.

Итак, информация, записанная в форме линейных цепей нуклеиновых кислот, в процессе трансляции переводится в информацию аминокислотных цепей белковых молекул, а ключом для перевода является словарь соответствия между этими двумя языками, который носит название генетического кода. Поэтому, можно сказать, что генетический код – это закон соответствия между и РНК (а, значит, и генами ДНК) и полипептидными цепями белковых молекул. При этом новая форма информации – белковая, записывается уже другим молекулярным кодом – аминокислотным. Генетическим кодом, как мы видим, кодируется только первичная – «линейная» структура полипептидной цепи белковой молекулы. Однако, конкретная конфигурация – вторичная, третичная и четвертичная структуры белка кодируется и программируется уже другим молекулярным кодом – аминокислотным. Это ведёт к

представлению, что только аминокислотный код обеспечивает трёхмерную структурную организацию белка, а также все его специфические свойства и функции.

Аминокислотный код является именно тем молекулярным биологическим кодом, с помощью которого осуществляется сначала преобразование, а затем воплощение и реализация генетической информации. Обратим внимание на то, что основанием аминокислотного кода (m) являются двадцать аминокислот, различающихся между собой только боковыми атомными R-группами. Поэтому алфавит аминокислотного кода 20-ти буквенный, а вся информация в цепях белковых молекул записывается на 20-ти буквенном языке структуры белковых молекул. Длина кодовой комбинации (n) в аминокислотном коде непостоянна и порой (в живой системе) составляет десятки и сотни аминокислотных остатков. Поэтому этот код неравномерный. Число кодовых комбинаций (N), каждое из которых может передавать своё отдельное сообщение в аминокислотном коде практически неограниченно.

Живые системы обычно имеют свои специфические белковые молекулы. А это означает, что различные типовые белковые молекулы имеют в своих цепях только свою, четко определённую и генетически закреплённую комбинационную последовательность аминокислотных звеньев. Однако отметим, что хотя одна и та же информация может быть записана разными кодами, например, генетическим кодом или линейным аминокислотным, однако реализация этой информации в биологических процессах может осуществляться только при записи её в форме стереохимических кодов.

Аминокислотный код служит для преобразования линейной формы информации полипептидов в стереохимическую структуру и информацию белковых молекул. Белки и ферменты, как носители молекулярной биологической информации, способны к её реализации только в такой трёхмерной форме. Поэтому информация белков носит чисто биологический характер. Подробное изучение строения глобулярных и фибриллярных белков показало, что для каждого индивидуального белка характерна своя пространственная трёхмерная организация, которая зависит от его первичной структуры – то есть от информации, записанной «линейным» аминокислотным кодом.

Однако различные аминокислоты полипептидной цепи, по всей вероятности, организованы в виде отдельных комбинационных

кодовых сигналов, определяющих (в клеточной среде) различные по своей биохимической характеристике зоны, участки и фрагменты цепи, которые обуславливают соответствующие пути, порядок и последовательность информационной сборки белка. В полипептидных цепях белковых молекул кодируется разнообразнейшая информация. Поэтому важно знать, что любая полипептидная цепь всегда является тождественным эквивалентом соответствующего кодового послания генома, указывающего будущие характеристики белковой молекулы.

Поэтому, каждое сообщение, при передаче информации в полипептидной цепи белка, по всей видимости, передаётся своим кодом (кодowymi комбинациями аминокислот). Очевидно, что информация в цепи может содержать свою адресную, «операционную», структурную и текстовую (информационную) части. Значит, различные информационные сообщения в полипептидных цепях могут быть представлены различными молекулярными кодами и кодowymi комбинациями аминокислотных остатков. Следовательно, в кодовых посылках структуры полипептидной цепи могут быть заключены: 1) адресные кодовые комбинации аминокислотных остатков, которые являются основой формирования адресных стереохимических кодов активного центра фермента (для коммуникативного взаимодействия с молекулами субстрата); 2) «операционная» кодовая комбинация аминокислот – служит основой формирования кода операции активного центра, указывающего характер химической реакции; 3) структурная часть кодовой комбинации аминокислотных остатков, которая кодирует построение и осуществляет программное обеспечение исполнительных органов и механизмов белковых молекул; 4) текстовая часть – кодирует и программирует средства информационной коммуникации белка с другими биомолекулами клетки (локальные или поверхностные рельефные микроматрицы). Эффективность применения в живых системах молекулярных кодов обеспечивается многократным циклическим их повторением в структурах типовых белковых молекул.

Бесконечная череда длинных дискретных сообщений (в виде иРНК, полипептидных цепей и белковых молекул), по своей сути, представляет собой, ничто иное, как те управляющие информационные потоки и сети, которые осуществляют циклическую передачу информации с целью управления и регулирования химических превращений и реализации различных молекулярных и био-логических функций. Комплементарные

обратные связи, при взаимодействии биологических молекул друг с другом, применяются для повышения достоверности информационных передач. Всё это означает, что в любой живой системе применяются помехозащищенные коды. Таким образом, коды и кодовые комбинации аминокислотных остатков в «линейной» полипептидной цепи наглядно разделяются по их характеристикам и функциональному назначению. А различное информационное содержание полипептидных цепей является основой построения множества различных по функциональному назначению белковых молекул.

Кооперативные (информационные) взаимодействия боковых радикалов и концевых групп аминокислотных остатков «линейной» цепи вызывают формирование особых трёхмерных образований с упорядоченной внутренней и внешней структурой. Поэтому пространственный метод преобразования белка заключается в кодировании расположения полипептидной цепи в пространственной решетке. По такому принципу осуществляется пространственное кодирование белковых (как, впрочем, и других) молекул. Таким путём идёт формирование их информационных и функциональных молекулярных биологических средств. Аминокислотный код тоже является одним из основных молекулярных биологических кодов, так как он даёт представление о механизмах стереохимического кодирования белковых молекул. Этот код содержит набор правил перевода информации из одной её молекулярной формы («линейной») в другую (стереохимическую). Очевидно, что по кодовым компонентам полипептидных цепей вполне можно делать предсказания и о трёхмерных пространственных структурах белковых молекул, и об их функциональном и информационном назначении. Изучение кодовых посылок, линейных и стереохимических кодов и кодовых комбинаций в структуре биологических молекул, должно стать приоритетным направлением в молекулярной биологической информатике.

В результате стереохимических преобразований, внутри макромолекулы (в её пространственной решетке) формируется специфическая пространственная координатная организация аминокислотных остатков, которая является основой построения исполнительных механизмов белковой молекулы. А на поверхностных участках и в углублениях макромолекулы, при этом, формируются отдельные локальные и поверхностные кодовые стереохимические микроматрицы (образованные пространственной

координатной организацией боковых R-групп элементов), которые служат для информационных взаимодействий и коммуникативного общения белка с другими молекулами клетки.

Коммуникация – это направленный процесс кодирования и передачи информации от источника информации к приемнику и наоборот. А коммуникативность здесь – это способность биологических молекул к обмену информацией через посредство общей системы символов, то есть с помощью их линейных или стереохимических кодовых матриц. По принципу взаимодополняемости микроматрицы молекулярных партнёров должны комплементарно соответствовать друг другу. К примеру, локальные матрицы – активные центры служат для комплементарного (информационного) взаимодействия фермента с молекулами субстрата. Кодовые группы активного центра обычно образуют информационные команды управления, которые могут состоять из адресных кодов, служащих для поиска молекул (или молекулы) субстрата и кода операции, который указывает характер химической реакции. Поэтому аминокислотный код является тем ключом, с помощью которого осуществляется переход «линейной» формы белковой информации в стереохимическую форму.

Сtereохимический код – это пространственная кодовая организация элементов (букв или символов) и их боковых атомных групп в виде локальных или поверхностных биохимических микроматриц в углублениях или на поверхностных участках биологических молекул. Матричный принцип взаимосоответствия является основой информационного взаимодействия биологических молекул друг с другом. Такое соответствие в молекулярной биологии можно назвать информационной функцией. Только в случае комплементарных взаимодействий биомолекул друг с другом с помощью биохимических матриц, когда обнаруживается их химическая и стерическая взаимодополняемость, эти коды (субмолекулярные матрицы) активируются и ведут к возбуждению биологических молекул и их функций. То есть по совпадению кодов осуществляется контроль передачи и приёма молекулярной биологической информации. Здесь речь идёт о характеристиках процессов рецепции информации и способности рецепторной системы влиять на исполнительные органы биомолекул.

Следовательно, можно констатировать, что стереохимические коды – это те молекулярные коды, которые непосредственно участвуют в формировании биологических функций и реализации химических превращений. Собственно, – это и есть те

разыскиваемые коды соответствий биологических молекул, которые являются основой их информационного взаимодействия, а затем и функционального поведения. Стереохимическими кодами – пространственной организацией элементов в трёхмерной структуре, программируются функции, поведение и биологическая судьба не только белковой, но и любой другой биологической молекулы клетки. Таким путём кодируются и программируются все их биологические механизмы и функции. Так как все функции в молекулярной биологии возникают и формируются информационным путём, то это может означать лишь одно, – вся технология биологических процессов основана на генетической информации и применении различных молекулярных алфавитов живой формы материи. А само информационное сообщение в молекулярной биологии приобретает смысл через функцию, которую оно кодирует.

Поэтому в живой молекулярной системе, под выполнением функций, с кибернетической точки зрения, должно пониматься исполнение белковыми молекулами (или другими функциональными молекулами клетки) различных информационных команд, директив, инструкций и сообщений, записанных в их молекулярной пространственной структуре. Все эти сообщения имеют дискретный характер и записываются стереохимическими кодами. Исследованием характеристик стереохимических кодов и микроматриц, в каждом конкретном случае, должна, по-видимому, заниматься специализированная дисциплина, такая как молекулярная биологическая информатика.

Мы убеждаемся в том, что специфика молекулярных процессов в биологии всегда зависит от генетической информации, и в значительной степени определяется элементной базой и особенностями самих информационных процессов. Перечисленные выше коды сложны не только способами их диагностирования, декодирования и передачи, но и молекулярными (аппаратными) средствами их воплощения. Между тем, они не исчерпывают всех способов представления информации и биологических кодов, применяемых в живых молекулярных системах. В живой клетке существуют и более простые коды, со своими алфавитами – символами представления информации и своими физико-химическими характеристиками.

Простые биологические коды применяются для кодирования и программирования других классов высокомолекулярных соединений, например, – липидов и полисахаридов, которые также

играют большую функциональную и структурную роль в живой клетке. Относительно небольшое количество типовых моносахаридов (алфавита простых сахаров) кодирует структурное построение и функциональное поведение углеводов (олигосахаридов), построенных из небольшого числа моносахаридных остатков, и полисахаридов – построенных из сотен и тысяч остатков моносахаридов. Химическое и структурное строение полисахаридов однообразно: они представляют собой линейные или разветвлённые полимеры, мономеры которых связаны глюкозид-глюкозными связями. А сами макромолекулы строятся из конечного множества одинаковых или нескольких типовых элементов. Однако в их структуру во время биосинтеза, всё-таки, загружается то необходимое количество информации, которое достаточно для выполнения их биологических функций. В молекулярной биологии макромолекулы полисахаридов и липидов не считаются информационными, то есть несущими определённую биологическую информацию. Однако это далеко не так, поскольку и в информационной технике иногда применяют простые коды. Например, «простейший число-импульсный код имеет алфавит, состоящий из одних единиц. Так, при дискретизации значение параметра может быть представлено числом импульсов число-импульсного кода. Это простейший вид кодирования с алфавитом, состоящим из одних единиц» [7]. Да и в цифровой технике обширная информация кодируется всего лишь двумя цифровыми символами – единицей и нулём.

В молекулярной биологии, естественно, все гораздо сложнее. Обратим внимание на то, что каждый единичный символ информации, служащий для построения полисахаридов или липидов и для записи в их структуру информации, имеет довольно сложное химическое и структурное строение. Любой типовой символ обладает своими специфическими боковыми атомными группами и атомами, служащими для представления информации. Поэтому каждый символ простого биологического кода является достаточно информативным для управляющей системы клетки. Для кодирования и построения липидов также применяется своя система элементов – свой алфавит, состоящий из нескольких жирных кислот. Примечательно, что для физической передачи и реализации простых кодов используются и более простые ферментативные системы.

Остаётся лишь открытым вопрос – как, и каким образом, кодируются сами моносахариды, жирные кислоты и другие символы

общего алфавита живой материи? Если каждая аминокислота кодируется своим триплетом – кодовой комбинацией трёх нуклеотидов в цепи иРНК, следовательно, и символы простого биологического кода должны как-то кодироваться? И действительно, для идентификации и обозначения каждого типового символа используется своя стереохимическая кодовая комбинация аминокислотных остатков, которая располагается в активном центре соответствующего фермента (адресный код). А в основу правил соответствия кодовых комбинаций аминокислотных остатков различным символам также положена их химическая и стерическая комплементарность, то есть взаимодополняемость химических и структурных взаимодействующих поверхностей, слабых энергетических сил и связей кодовых компонентов. В данном случае это и есть подтверждение того, что перевод информации, записанной в одной системе элементов в другую, осуществляется посредством кодирования (перекодирования). Здесь кодирование информации также осуществляется совокупностью дискретных сигналов, сопоставляемых по определенному алгоритму с конечным множеством сообщений. А по кодовым компонентам активных центров различных ферментов можно иметь представление об их информационных соответствиях и их функциональном назначении. Значит, молекулярные коды соответствий, и средства их передачи существуют не только для важнейших классов макромолекул – ДНК, РНК, белков. Они существуют и для любых других биологических молекул и структур, а также их элементов и их химических знаков. Одинаковые кодовые комбинации элементов и их боковых атомных групп в активных центрах ферментов всегда воспринимаются конкретной клеткой как одна и та же (эквивалентная) информация, реализуемая в одних и тех же действиях. Специалистам лишь следует научиться их правильно выявлять и идентифицировать.

К примеру, при построении цепей полисахаридов активный центр фермента не только узнаёт и присоединяет определённый моносахарид к активному центру, но при этом указывает и характер химической реакции (код операции). Вспомним, что «при биосинтезе макромолекулы гликогена, которая состоит из повторяющихся единиц только одного типа – D-глюкозы, тождественность и чистота конечного продукта обеспечивается активным центром гликоген-синтазы. Для этого фермента характерна субстратная специфичность, то есть его активный центр способен присоединять только молекулу D-глюкозы и

нередуцирующей конец цепи молекулы гликогена, которая должна быть удлинена. В принципе активный центр этого фермента (как, впрочем, и всех других ферментов) можно рассматривать как матрицу (это слово означает «шаблон» или «форму»), поскольку между молекулой (или молекулами) субстрата и активным центром осуществляется комплементарная подгонка» [3]. Пример показывает, что биомолекулы гликоген-синтазы строятся специально для того, чтобы нести генетическую информацию о биосинтезе макромолекул гликогена. Сначала кодовые компоненты иРНК (а, значит, и ДНК) указывают пути и порядок построения самого фермента, а затем кодовые компоненты активного центра гликоген-синтазы указывают пути и порядок построения макромолекулы гликогена. При этом если для обозначения аминокислот в полипептидной цепи гликоген-синтазы используется генетический код – триплетная комбинация нуклеотидов, то для обозначения биохимического элемента Δ-глюкозы используется своя пространственная кодовая комбинация аминокислотных остатков активного центра фермента – адресный код. Адресный и операционный код в данном случае – это закодированное обозначение Δ-глюкозы, поэтому идентифицируется именно данный био-логический элемент.

Аминокислоты, как и нуклеотиды, являются буквами биологического кода, следовательно, построение макромолекулы гликогена осуществляется также с помощью генетической информации. А длинная цепь молекулы гликогена несёт свою определённую функциональную информацию, которая зависит от физико-химических свойств и взаимодействия составляющих её элементов. И если бы каждый элемент не был носителем своих информационных знаков – функциональных и боковых атомных групп и атомов, и не обладал своими информационными параметрами, то вряд ли у ферментов появилась бы способность к построению длинных молекулярных цепей. По такой же аналогии, пусть не напрямую, но опосредованно, генетическая информация руководит сначала построением, а затем и функциональным поведением любых других биологических молекул и структур.

Заметим, что стереохимическими сигналами активного центра кодируются не только адресный код молекулы субстрата, но и те функции, которые должен осуществить фермент. К примеру, код операции указывает характер химического превращения, которую должен осуществить фермент с молекулой (или молекулами) субстрата. Поэтому стереохимическими кодами (адресными кодами

и кодами операций) соответствующих ферментов программируются разные биологические функции, в том числе и функции управления различными ступенчатыми химическими реакциями – окисления, восстановления, расщепления, межмолекулярного переноса атомных групп и т. д. Таким образом, оказывается, что все химические реакции в живых системах управляются только информационным путём.

А перекодировка одного вида информации в другой осуществляется с помощью определённых кодов, которые служат для переноса и загрузки генетической информации в структуру различных молекулярных цепей и биомолекул. Поэтому чтобы перевести информацию из одного её молекулярного вида (или формы) в другой вид, живая клетка использует определённый биологический код. Следовательно, в живой молекулярной системе имеется многоступенчатая система кодовой передачи управляющей информации с различными переходными формами и видами её преобразования и реализации, где кодирование молекулярной информации осуществляется натуральными единицами информации, которые принадлежат к различным системам (алфавитам) химических букв и символов. Феноменальные информационные возможности генетической памяти, использование различных молекулярных алфавитов, ступенчатых передач и систем кодирования – декодирования молекулярной биологической информации, позволяет судить о грандиозности протекающих в живой клетке информационных процессов.

Биологи не могут определиться с понятием «молекулярная информация» по ряду причин. Одна из них, видимо, заключается в том, что для своих потребителей закодированная информация всегда ясна, реальна и значима, а для непосвященных она не имеет никакой ценности, поэтому и воспринимается как случайный набор букв, символов или знаков. Только тогда информация для нас существенна и реальна, когда мы понимаем её смысл и содержание.

Мы еще не посвящены в сферу информационных отношений живой материи, поэтому и не видим реальности существования молекулярной информации. В настоящее время наукой определены лишь некоторые фрагменты, подтверждающие существование генетической информации и управляющей системы живой клетки. Очевидно, что когда исследователи расшифруют весь спектр кодовых посылок и смыслового содержания различных молекулярных сообщений, передаваемых геномом, то тогда и для

нас молекулярная и биологическая информация станет реально значимой сущностью.

Особое свойство закодированной (виртуальной) информации заключается в том, что она способна быть действующей силой только в той системе, которая воспринимает её как смысловую сущность, то есть, где она становится реальностью. Работа живых и сложных технических систем может быть обеспечена только потоками и циркуляцией той информации, которая реально значима и дееспособна в данной системе. Поэтому любая сложная система способна пользоваться лишь той информацией, которая присуща её природе. Значит, молекулярные коды соответствий и средства их передачи существуют не только для важнейших систем био-логических элементов – нуклеотидов и аминокислот. Они существуют для любых мономеров и их химических знаков. А одинаковые кодовые комбинации элементов и их боковых атомных групп в активных центрах ферментов всегда воспринимаются конкретной клеткой как одна и та же (эквивалентная) информация, реализуемая в одних и тех же действиях. Очевидно, что для информационного манипулирования различными химическими буквами, символами и знаками живая клетка применяет свои специфические химические или стереохимические молекулярные коды. Специалистам лишь следует научиться их правильно выявлять и идентифицировать.

Очевидно, что информация в закодированном виде – это та виртуальная реальность, которая как сущность может восприниматься, воспроизводиться и генерироваться только живыми субстанциями: в одних случаях клетками (молекулярная информация), в других – живыми существами (например, пчелами) и в, особенно, – человеческим мозгом. Поэтому, можно считать, что древними прародителями кодируемой информации как виртуальной реальности, являются первые живые молекулярно-биологические системы. А информация, внедрившаяся в ДНК и клеточные структуры, стала той неукротимой движущей силой, которая породила необычайное распространение различных живых видов и форм. Кодирование сообщений оказались настолько эффективным способом записи, запоминания, преобразования и передачи информации, что в дальнейшем эти принципы были развиты и применены живой природой для сложных биологических систем. Как мы видим, общие законы и принципы кодирования информации стали не только фундаментальными основами жизни, но и, впоследствии, были заново «открыты» человеком и нашли

широкое распространение во многих областях человеческой деятельности: в технике, в науке, в управлении, в экономике, в социальной и общественной сфере и т. д. А сам феномен «слияния» Информации, Энергии и Органического Вещества в одно функциональное целое, оказался весьма плодотворным и эффективным способом существования живого [8].

Уже достаточно давно известно, что генетическим кодом можно пользоваться для установления последовательности аминокислот, закодированной в последовательности нуклеотидов иРНК. Следовательно, можно пользоваться и любым другим молекулярным биологическим кодом для установления эквивалентных информационных соответствий. Ясно, что информационный аспект, при изучении и исследовании живой материи, обязательно должен учитываться.

Литература

1. Генетика и наследственность. Сборник статей. Перевод с французского – М: Мир, 1987.
2. Ф. Айала, Дж. Кайгер. Современная генетика. Пер. с англ. – М: Мир, 1988.
3. А. Ленинджер. Основы биохимии. Пер. с англ. в 3-х томах – М: Мир, 1985.
4. Ю.Я. Калашников. В основе жизни лежит необъятный и неисследованный мир молекулярно-биологической информатики. Дата публикации: 14 февраля июля 2007, источник: SciTecLibrary.ru; сайт: <http://new-idea.kulichki.com/>, дата публикации: 21.12.2006.
5. Ю.Я. Калашников. Биологика информационных взаимодействий в живой клетке. – М., 2002. – 34с. – Депонир. в ВИНТИ РАН 6.11.02, №1923-B2002, УДК577.217:681.51
6. Ю.Я. Калашников. Основы молекулярной биологической информатики. – М., 2004. – 66с. – Депонир. в ВИНТИ РАН 13.04.04, №622 – В2004, УДК 577.217: 681.51
7. В.А. Ильин. Телеуправление и телеизмерение. – М: Энергоиздат, 1982
8. Ю.Я. Калашников. Единство вещества, энергии и информации – основной принцип существования живой материи. Дата публикации: 30 июня 2006, источник: SciTecLibrary.ru

Калашников Ю.Я.

Ферменты и белки – это молекулярные автоматы естественных нанотехнологий с программной биохимической логикой управления

Аннотация

Гены не могут напрямую контролировать и взаимосвязывать сложные биохимические процессы живой клетки. Поэтому они вынуждены кодировать и программировать структурное построение и функциональное поведение молекулярных управляющих средств, к которым, в первую очередь, относятся ферменты и другие клеточные белки. Каким же образом биологические функции могут быть запрограммированы в структурной организации белковых макромолекул? Этот вопрос, видимо, наиболее актуален в современной молекулярной биологии. Автор в своей статье предлагает новую, альтернативную – информационную концепцию действия белков и ферментов, которые, как он считает, являются молекулярными биологическими автоматами или манипуляторами с программной биохимической логикой управления.

Оглавление

1. Общие сведения
 2. Принципы и механизмы структурной организации белковых молекул.
 3. Адресный код и код операции активного центра фермента представляет собой био-логическую команду управления
 4. Информационная концепция фермент-субстратных взаимодействий
 5. Ферменты и белки – это молекулярные биологические автоматы с программным управлением
- Литература

1. Общие сведения

Непревзойденная избирательность действия ферментов и других белков клетки является одной из самых жгучих и волнующих загадок современной биохимии и молекулярной биологии. С ней связаны поиск и нахождение новых подходов и путей к секретам управления обменом веществ и поведения биологических молекул в живых системах. Живая форма материи до сих пор остается одной из самых таинственных мировых проблем. Даже сегодня кажется невероятным, что в ничтожном пространстве одной клетки скрыты все основные характеристики живого, – стремление к четкой структурной и функциональной организации, неуемная жажда активности, размножения и распространения. Однако, несмотря на величайшее разнообразие и необычайную сложность живых форм, – все они имеют единую материальную элементную базу и дискретную молекулярную и клеточную организацию.

Все живые клетки в своей основе имеют типовую молекулярно-биологическую систему управления и обладают генетической памятью с феноменальными информационными возможностями. А закономерности молекулярной биохимической логики и информатики, какими пользуются живые системы, по всей вероятности, являются теми инструментами и механизмами, при помощи которых осуществляется не только структурная организация, но и управление биологической формой материи. Предлагаемая статья является продолжением весьма дискуссионной в биологии темы – «молекулярной информатики», она посвящена информационным аспектам построения и функционального поведения белковых молекул, где попутно изложена и новая – альтернативная концепция фермент-субстратных информационных взаимодействий.

2. Принципы и механизмы структурной организации белковых молекул.

Программирование построения белковых молекул живой клетки, как известно, осуществляется универсальными клеточными аппаратными средствами транскрипции и трансляции под руководством генетической информации. Логика структурного построения и функционального поведения белковых молекул определяется генами и природными свойствами стандартных биологических элементов (аминокислот), которые входят в состав полипептидных цепей. А если учесть типовую дискретную

организацию различных биологических молекул и структур, то в обобщенном виде можно сказать: базовой основой организации биологической формы материи является генетическая информация и общий биохимический алфавит живой материи, который состоит более чем из 30 био-логических элементов (химических букв или символов) – нуклеотидов, аминокислот, простых сахаров, жирных кислот и других мономеров.

По меньшей мере, существует два информационных уровня организации белковых (и других) макромолекул. На первом уровне построения – осуществляется последовательное ковалентное соединение соответствующих аминокислот в длинные полипептидные цепи. Так производится позиционное размещение аминокислот в «линейных» цепях, а, следовательно, и декодирование различного рода сигналов, информационных сообщений, инструкций и команд управления, передаваемых генами. Так осуществляется и запись нужного алгоритма структурного преобразования цепи, то есть – программирование трёхмерной организации белковой макромолекулы.

При этом, загруженные в «линейную» цепь алгоритмы, – это воплощенные в последовательности аминокислот правила молекулярной биохимической логики, по которым, занесенные в цепь данные воспринимаются как элементарные сигналы, подлежащие исполнению. Здесь под алгоритмом следует понимать последовательность операций, которые выполняются аминокислотами в составе полипептидной цепи, сначала во время конформационного преобразования, а затем, и во время функционального поведения белковой молекулы. Таким образом, программирование структур и функций белковых молекул в клеточной среде осуществляется с помощью унифицированной системы био-логических элементов – аминокислот, которые являются химическими буквами белкового алфавита. А прохождение этих процессов осуществляется соответствующими аппаратными средствами транскрипции и трансляции под руководством генетической информации.

Это стало возможным, благодаря тому, что все типовые аминокислоты обладают удивительными природными характеристиками. Все двадцать стандартных аминокислот оказались наделёнными такими химическими и физическими качествами и свойствами, сочетание которых позволяет им, в составе белковых молекул, одновременно выполнять буквально различные био-логические функции и операции. А именно:

1) служить в качестве строительных блоков, с помощью которых осуществляется физическое построение белковых молекул;

2) выполнять роль натуральных информационных единиц – химических букв, с помощью которых записывается молекулярная информация;

3) служить в качестве элементарных единиц аминокислотного кода, с помощью которого сначала идёт преобразование, а впоследствии, – воплощение и реализация генетической информации;

4) быть программными элементами, с помощью которых строятся алгоритмы структурного преобразования, а затем и программа функционального поведения ферментов и других белковых молекул;

5) обуславливать потенциальную и свободную химическую энергию белков и т. д.

Здесь мы отметили лишь некоторые из основных направлений применения белкового алфавита. Однако, из этих примеров ясно, что аминокислотная система элементов действительно обладает уникальными многофункциональными природными качествами и свойствами, которые имеют фундаментальное значение в организации белковых молекул и их функций в любых живых клетках. Важно отметить, что указанные качества и свойства аминокислот существуют всегда и одновременно, и поэтому они, по своей сути, являются разными характеристиками одной и той же элементной базы. Только такое сочетание характеристик позволяет аминокислотам обеспечивать в живой клетке и информационное построение белковых молекул, и программное управление их биологическими функциями. И всё это может осуществляться только на основе и за счет загруженной (аминокислотным кодом) в белковые макромолекулы структурной, программной и функциональной информации.

Причем, каждая типовая аминокислота характеризуется наличием функциональных атомных групп (аминогруппы и карбоксильной группы), которые определяют её химические свойства и служат входными и выходными цепями, с помощью которых элементы могут ковалентно соединяться друг с другом в длинные полипептидные цепи. Кроме того, важно отметить, что каждая аминокислота имеет еще и свою индивидуальную боковую атомную R-группу, которая в живой системе, как правило,

используется в качестве элементарного информационного химического сигнала!

Поэтому, если в информационных технических системах наиболее широкое применение находят электрические сигналы, с переносчиком информации в виде импульсного тока или напряжения, то в молекулярно-биологических системах, в качестве элементарных сигналов, используются химические сигналы различных био-логических элементов общего алфавита – нуклеотидов, аминокислот, простых сахаров, жирных кислот и др. с переносчиком в виде их боковых атомных групп [1]. Наглядный пример: сообщение в цепи ДНК или РНК кодируется в виде последовательности нуклеотидов, а носителями генетической информации являются азотистые основания – «боковые» атомные группы нуклеотидов. Соответственно, и в полипептидной цепи белка это сообщение записывается в виде последовательности аминокислот, где носителями информации являются их боковые R-группы.

«Линейную» «структурную основу любого пептида составляет зигзагообразный остов, образованный атомами углерода и азота. Направленные вовне по отношению к остову боковые R-группы любых соседних аминокислотных остатков ориентированы в противоположные стороны. На одном конце в молекуле пептида находится свободная аминогруппа, а на другом конце – свободная карбоксильная группа» [2]. Таким образом, ориентация соседних боковых атомных группировок в противоположные стороны позволяет полипептидной цепи в составе белка осуществлять сначала внутримолекулярные, а затем, и межмолекулярные информационные взаимодействия.

Причем, если генетический код служит для переноса генетической программной информации на «линейную» структуру белка, то аминокислотный код является тем молекулярным кодом, с помощью которого осуществляется сначала преобразование, а затем, и, через деятельность белков, – воплощение и реализация генетической информации. Подробное изучение глобулярных и фибриллярных белков показало, что для каждого индивидуального белка характерна своя пространственная трёхмерная организация, которая зависит от его первичной структуры – то есть от информации, записанной линейным аминокислотным кодом.

Заметим, что генетическим кодом кодируется только первичная – «линейная» структура полипептидной цепи. Однако «конкретная конфигурация (вторичная, третичная и четвертичная структуры)

любого белка полностью определяется первичной структурой входящих в его состав полипептидных цепей и зависит от химических свойств боковых групп аминокислотных остатков» [2]. Следовательно, вторичная, третичная и четвертичная структуры белковых макромолекул кодируются и программируются уже другим молекулярным кодом – аминокислотным. Это ведёт к представлению, что только аминокислотный код обеспечивает трёхмерную структурную организацию белковой молекулы, а затем, и все её специфические свойства и функции. То есть, этот код, в первую очередь, предназначен для организации новой формы молекулярной информации – пространственной, стереохимической. Первый уровень организации белковых молекул характеризуется применением линейного аминокислотного кода, который служит основой преобразования линейной формы информации полипептидов в стереохимическую форму информации белковых молекул.

Здесь следует обратить внимание на то обстоятельство, что различные аминокислоты полипептидной цепи, по всей вероятности, тоже организованны в виде отдельных комбинационных кодовых сигналов, определяющих (в клеточной среде) различные по своей биохимической характеристике зоны, участки и фрагменты, которые обуславливают соответствующие пути, порядок и последовательность информационной сборки белка. В полипептидных цепях белковых молекул кодируется разнообразнейшая информация. Поэтому важно знать, что любая полипептидная цепь всегда является тождественным эквивалентом соответствующего кодового послания генома, указывающего будущие характеристики белковой молекулы. Причем, каждое сообщение, при передаче информации в полипептидной цепи белка, по всей видимости, передаётся своим индивидуальным кодом (кодowymi комбинациями аминокислот).

Поэтому информация в цепи может содержать как свою адресную и «операционную», так и свою структурную и текстовую (информационную) части. Значит, различные информационные сообщения в полипептидных цепях могут быть представлены различными молекулярными кодами и кодовыми комбинациями аминокислотных остатков. Следовательно, в кодовых посланиях структуры полипептидной цепи могут быть заключены: 1) адресные кодовые комбинации аминокислотных остатков, которые являются основой формирования адресных стереохимических кодов активного центра фермента (для коммуникативного

взаимодействия с молекулами субстрата); 2) «операционная» кодовая комбинация аминокислот, – служит для формирования стереохимического кода операции активного центра, указывающего характер реакции; 3) структурная часть кодовой комбинации аминокислотных остатков, которая кодирует построение и одновременно осуществляет программное обеспечение исполнительных органов и механизмов белковых молекул; 4) текстовая (информационная) часть – кодирует и программирует средства информационной коммуникации белка с различными его молекулярными партнёрами. То есть, «информационная» часть полипептидной цепи предназначена для формирования различного рода локальных или поверхностных рельефных микроматриц, которые обычно располагаются на локальных или поверхностных участках белковой макромолекулы и состоят из многочисленных боковых R-групп аминокислотных остатков.

Эффективность применения в живых системах молекулярных кодов обеспечивается многократным циклическим их повторением в структурах типовых биомолекул. Бесконечная череда длинных дискретных сообщений (в виде иРНК, полипептидных цепей и белковых молекул), по своей сути, и представляет собой, ничто иное, как те управляющие информационные потоки и сети, которые осуществляют циклическую передачу информации с целью управления, регулирования и контроля химических превращений и реализации различных молекулярных и других биологических функций.

Однако в живой клетке, как правило, функционируют только трёхмерные биомолекулы и структуры, поэтому полипептидные цепи, с помощью аминокислотного кода, должны быть преобразованы из линейной формы в пространственную – стереохимическую. Поэтому второй информационный уровень организации белковых молекул – пространственный, осуществляется уже при помощи химических связей, значительно более слабых, чем ковалентные. Это происходит потому, что боковые R-группы тех аминокислот, которые в цепи связаны ковалентно, способны к слабым информационным взаимодействиям с другими боковыми R-группами, как в пределах одной макромолекулы, так и с боковыми группами и атомами близлежащих молекул. К таким взаимодействиям относятся слабые: водородные и ионные связи, ван-дер-ваальсовы силы, гидрофобные взаимодействия, которые в совокупности, благодаря их многочисленности и разнообразию, оказываются весьма сильными.

Через посредство этих сил и связей идёт воплощение линейной молекулярной информации в пространственную структуру и стереохимическую форму информации белковых молекул. Связывание взаимодействующих молекулярных структур, как правило, многоточечное. Оно осуществляется за счет участия многочисленных боковых атомных R-групп программных элементов, входящих в состав полипептидной цепи, то есть за счет информации.

В результате таких преобразований «одномерная» молекулярная информация полипептидных цепей «сворачивается, упаковывается и сжимается» в трёхмерную информацию белковых молекул, которая в таком виде становится пригодной для транспортировки, передачи по различным каналам и компартментам, а затем, и для непосредственного использования в различных биологических процессах. Заметим, что эти информационные силы и связи определяют не только степень прочности белковых макромолекул, но обуславливают и их функциональные возможности.

Наличие в структурах белковых макромолекул как внутримолекулярных, так и внешних информационных сил и связей взаимодействия (обусловленных R-группами составляющих их элементов), которые сами по себе слабы, но мощны своей многочисленностью и разнообразием, позволяет говорить о том, что внутри и вокруг макромолекулы образуется специфическое силовое «информационное поле». Это поле способно влиять как на структуру самого белка, так и на его микроокружение. Поэтому белковая макромолекула как бы стабилизируется самосогласованным сжимающим информационным полем, обусловленным кооперативными силами притяжения между боковыми атомными R-группами аминокислотных остатков. А лабильность самой полипептидной цепи в пространственной решетке, с её многочисленными боковыми R-группами элементов, позволяет осуществлять не только точную комплементарную «подгонку» внутримолекулярных структур, но и «подгонку» локальных или поверхностных структур, взаимодействующих друг с другом биомолекул. Трансформация линейных генетических сообщений в трёхмерную структуру и форму различных белковых молекул, это важный этап перехода биологической информации из одной её молекулярной формы (линейной) в другую (стереохимическую).

Линейный и пространственный элементарный состав белков определяется генами, а каждый био-логический элемент (аминокислота) в составе белковой молекулы тождественно может

выполнять различные роли – как структурной, так и информационной единицы, как функционального, так и программного элемента. Поэтому все аппаратные средства живой клетки – белки, ферменты и другие клеточные компоненты обладают строго своей специфической структурной организацией, имеют своё информационное и функциональное назначение, а также своё индивидуальное энергетическое и программное обеспечение. И главное, в результате стереохимических преобразований в структуре белковой молекулы формируются соответствующие молекулярные органы и исполнительные механизмы, а на локальных и поверхностных участках возникает такая пространственно-упорядоченная организация боковых атомных R-групп элементов, которая в живой системе играет роль стереохимических кодовых информационных сигналов.

К таким сигналам могут относиться: стереохимические команды управления активного центра фермента (адресный код и код химической операции); различные сигнальные и регуляторные кодовые компоненты; коммуникативные локальные и поверхностные кодовые стереохимические матрицы (микроматрицы), служащие для информационного взаимодействия белковых молекул с их молекулярными партнёрами и т. д. При этом, сама программа функционирования белковой молекулы (благодаря программирующим свойствам элементов) коммутируется лабильными физико-химическими силами, связями и взаимодействиями между боковыми R-группами элементов (аминокислот) в составе её трёхмерной структуры.

Поэтому природа взаимодействий боковых атомных групп, определяющих конформационные особенности и внутреннюю динамику белковой макромолекулы, имеет химическую основу и носит информационный характер. Нативная белковая макромолекула как бы стабилизируется самосогласованным сжимающим информационным полем, обусловленным силами притяжения между аминокислотами (программными элементами). А в результате преобразований каждый белок клетки получает своё индивидуальное структурное, информационное, энергетическое, функциональное и программное обеспечение. Поэтому, стереохимический принцип кодирования молекулярной биологической информации применяется живой природой для размещения в одной макромолекуле различных по своему назначению сигналов, сообщений, инструкций, команд управления, а также органов и механизмов их реализации [1].

Такая организация белковых молекул не обладает сильной структурной жесткостью, она всегда достаточно лабильна в тех пределах, которые необходимы для выполнения ими биологических функций. А функциональное поведение макромолекулы, при взаимодействии её с молекулярными партнёрами, определяется свободной энергией и результатом информационного взаимодействия как внутренних, так и внешних составляющих её элементов. Поэтому этот информационный уровень характеризуется уже взаимодействием биологических молекул друг с другом с помощью их локальных, рельефных или поверхностных микроматриц, в результате которых и возбуждаются их биологические функции. Как мы видим, в «молекулярной информатике» открывается большое поле деятельности для исследования информационных путей построения и программного поведения белковых молекул.

3. Адресный код и код операции активного центра фермента представляет собой био-логическую команду управления

Стереохимические коды и микроматрицы, представляющие собой управляющие или коммуникативные сигналы белковых (как, впрочем, и других) макромолекул, возникли в процессе эволюции живой материи и в настоящее время являются основой молекулярных информационных процессов в каждой живой клетке (организме). Все они образованы соответствующей пространственной организацией боковых атомных группировок био-логических элементов (химических букв или символов), входящих в состав кодовых сигналов. Все стереохимические коды и биохимические матрицы белков образуются во время конформационных преобразований «линейных» полипептидных цепей в трёхмерную структуру и форму. Такое динамическое информационное взаимодействие элементов в составе биологических молекул, которое особенно характерно для белковых молекул, является основой динамического механизма их биологических функций.

Биохимическая логика информационных взаимодействий, в частности, предопределяет и протекание химических реакций, так как она основана на явлениях стереохимического узнавания соответствующими ферментами различных био-логических элементов или их функциональных и боковых атомных групп и их

химических связей, то есть различных химических букв, символов и знаков биологических молекул субстрата [1]. Стереохимические коды активных центров построены на основе аминокислотного кода, поэтому ферменты могут адресно взаимодействовать с молекулой субстрата и быстро находить нужную им химическую связь и связывающую группу. Кодовые компоненты активных центров ферментов могут комплементарно взаимодействовать с доступными для них функциональными или боковыми атомными группами и атомами молекулы субстрата. Поэтому все субстраты для своих ферментов являются сигнальными молекулами, несущими осведомляющую стереохимическую информацию. На этих принципах основана биохимическая логика информационных взаимодействий между ферментами и их субстратами. Субстраты – это тот химический и информационный материал, который обрабатывается управляющей системой клетки.

При этом каждый фермент имеет необходимый и достаточный набор информационных, энергетических, программных и управляющих молекулярных средств, для того, чтобы работать в автоматическом режиме. Процедура управления химической реакции (превращение субстрата), с химической и информационной точек зрения, протекает как полифункциональный катализ, который детерминируется управляющим сигналом, – кодовой комбинацией различных аминокислотных остатков активного центра фермента.

Основой стереохимического управляющего сигнала, как правило, служит пространственная кодовая комбинация различных функционально неоднородных аминокислотных остатков активного центра фермента. Причем, аминокислоты, образующие кодовые структуры сигнала, по длине полипептидной цепи обычно находятся далеко друг от друга и оказываются сближенными только при формировании свойственной данному ферменту трёхмерной конформации.

Стереохимические коды активного центра обычно состоят из двух зон, имеющих определённое информационное и функциональное назначение. Та пространственная комбинация атомных группировок активного центра фермента, которая осуществляет поиск, узнавание и ориентацию молекулы субстрата, контактирует с непревращаемыми фрагментами субстрата и укрепляет его в активном центре, то есть производит поиск, приём и рецепцию его информации, – представляет собой функциональный стереохимический адресный код фермента. У разных ферментов

этот код имеет различное, но строго своё определённое смысловое значение.

Та пространственная комбинация атомных группировок активного центра фермента, которая принимает непосредственное участие в синтезе или расщеплении связи субстрата и входит в каталитическую зону, – является кодом каталитической операции, определяющим, в каждом конкретном случае, характер химической реакции [1]. Таким образом, у ферментов формат команды управления может состоять из двух полей: адресного кода, с помощью которого осуществляется динамический поиск и рецепция молекулы субстрата и кода каталитической операции, который определяет характер химической реакции.

Во время информационного фермент-субстратного взаимодействия должны быть найдены и комплементарно соответствовать друг другу адресные и каталитические кодовые компоненты фермента и молекулы субстрата. Поэтому биохимическая логика информационных взаимодействий основана на матричных взаимодействиях кодовых компонентов различных биомолекул. По принципу взаимодополняемости локальные или поверхностные микроматрицы молекулярных партнёров должны комплементарно соответствовать друг другу. Значит, только по совпадению кодов в живой системе может осуществляться контроль передачи и приёма молекулярной биологической информации. После информационного этапа следует этап управляющих воздействий, когда вступают в действие электронно-конформационные механизмы фермент-субстратного комплекса и автоматически идёт управляемый акт химической реакции.

Комплементарный стереохимический контакт управляющих и сигнальных фермент-субстратных кодовых компонентов является достаточной формой воздействия на исполнительные органы фермента. Этот контакт выполняет роль «электронного ключа», который запускает электронно-конформационные механизмы аппарата химического катализа фермента. Таким способом осуществляется передача управляющей информации исполнительным органам макромолекул. По всей вероятности, это и есть те, пока недостающие и разыскиваемые фрагменты информационного управления, указывающие на единство процессов управления и информации в каждой живой клетке.

Важно также подчеркнуть, что адресный код и код операции являются пространственными комбинационными кодами, поэтому в результате стереохимического кодирования у разных классов

ферментов они принимают только своё смысловое значение. Этим, видимо, и объясняется высокая специфичность действия различных ферментов. Однако следует отметить, что более распространённым форматом команды управления являются не одноадресные, а двухадресные команды, когда активный центр фермента содержит код операции и адреса двух разных молекул субстрата, подлежащих преобразованию. К этому типу относится большинство известных управляемых химиче-ских реакций и, прежде всего, реакции переноса атомных химических групп. Имеются также трёхадресные и иные форматы команд управления, когда активный центр фермента содержит дополнительные адресные кодовые группы, например, для связывания с коферментом, с АТФ и т. д. На принципах различных вариантов адресации формируются и другие информационные сигналы, которые, как правило, размещены в углублениях или на поверхностных участках белковой молекулы. Эти сигналы обычно размещены в виде отдельных локальных или поверхностных кодовых биохимических матриц, которые служат для информационной коммуникации белка с другими биологическими молекулами клетки.

4. Информационная концепция фермент-субстратных взаимодействий

Длинная полипептидная цепь при построении любого белка оказывается как бы застёгнутой между отдельными аминокислотами и фрагментами цепи по матричному комплементарному типу. При этом относительно слабые многоточечные информационные взаимодействия, обусловленные многочисленными боковыми R-группами аминокислот, становятся с одной стороны, достаточно прочными для стабилизации нативной конформации белка, а с другой – достаточно лабильными для участия их в формировании биологических функций. Оказавшиеся на поверхностных участках многочисленные боковые R-группы организуются в локальные или поверхностные биохимические матрицы, которые служат для информационной коммуникации белка с другими молекулами клетки.

Белок строится на основе генетического кода, с использованием химических и стереохимических принципов записи информации, а это уже является достаточным условием для того, чтобы предложить и рассмотреть в данной статье информационную концепцию функционального поведения белковой молекулы. Ясно, что белки клетки, как носители информации в виде многочисленных

элементарных сигналов боковых групп, являются уже не столько средствами хранения этой информации, сколько средствами её реализации и воплощения.

В различных ситуациях связующим звеном между управляющей системой и управляемым процессом в живой клетке служат рецепторы информации – активные центры (или другие коммуникационные сигналы) и исполнительные органы и механизмы ферментов или других функциональных белков. Работа биологических рецепторов только в некоторой степени напоминает работу датчиков информации, которые используются в технических системах. Биологические рецепторы, например, ферментов сами осуществляют поиск, приём и рецепцию субстратной информации, что, по своей сути, является актом запрограммированного поиска объекта управления (молекулы субстрата), с «запросом» его информации. Нативная макромолекула белка вне информационного воздействия находится в исходном равновесном состоянии. Каталитический центр фермента становится активным и готовым к выполнению команды управления лишь с момента рецепции молекулы подлинного субстрата.

Рецепция информации осуществляется активным центром фермента за счет полного соответствия его адресного и каталитического кодов химическим кодовым группам субстрата, и благодаря их комплементарным физико-химическим, стерическим и слабым энергетическим взаимодействиям – электростатическим, гидрофобным, водородным, вандерваальсовым и др. А для того, чтобы эти силы могли возникнуть и действовать необходимо, прежде всего, стерическое, пространственное соответствие. Как считают биологи, субстрат присоединяется к активному центру фермента, который геометрически и химически представляет собой как бы негативный отпечаток молекулы субстрата, то есть – комплементарен ей. А с информационной точки зрения – это процесс рецепции кодовых компонентов и проверка их на функциональное соответствие друг другу. Поэтому рецепция и приём осведомляющей кодовой информации субстрата заканчивается подключением его молекулы, через контакт «устройства комплементарного сопряжения» активного центра, к управляющим органам и механизмам фермента.

В связи с этим, взаимодействие и контакт реагирующих белков и молекул в живой системе является событием информационным, генетически обусловленным, а не случайным как, например, при взаимодействии молекул в чисто химической реакции. Таким

образом, фермент-субстратные взаимодействия можно представить в виде информационной модели, основанной на стереохимических принципах и правилах молекулярной биохимической логики. Ферменты обладают своей программой «осязательного» распознавания кодовых компонентов молекул субстрата, которые комплементарны по химическим и стерическим (геометрическим) характеристикам их активному центру. Адресный код и код операции каждого типового фермента имеет свой элементарный состав и индивидуальное пространственное расположение боковых атомных группировок в активном центре, поэтому изучение стереохимических кодов белковых молекул является одной из многих задач молекулярной биологической информатики.

Процесс рецепции информации подлинного субстрата, осуществляемый активным центром фермента, вызывает конформационные изменения в фермент-субстратном комплексе, при которых кодовые химические группы фермента и молекулы субстрата занимают самое оптимальное положение для прохождения каталитической операции. Важно отметить, что подключение объекта управления (молекулы субстрата), через кодовый стереохимический контакт комплементарного сопряжения, ведёт к индукции электронно-конформационного возбуждения фермент-субстратного комплекса. Присоединение подлинного субстрата сначала ведёт к переброске электронов и протонов между ферментом и молекулой субстрата, усилению электронной перестройки вдоль сопряженной системы связей, что соответственно приводит к возбуждению фермент-субстратного комплекса и, как итог, благодаря подвижным водородным связям, ведёт к динамическим конформационным сдвигам и срабатыванию «силового молекулярного привода» аппарата химического катализа фермента. Эти механизмы обеспечивают ферменту не только химическую, но и динамическую реактивность и, как результат, – автоматический режим его работы.

Возникшие конформационные изменения в фермент-субстратном комплексе сопровождаются разрывом или образованием химических связей субстрата, которые происходят с высвобождением или затратой энергии. В случае необходимости эти процессы поддерживаются химической энергией в форме АТФ.

Быстрому протеканию ферментативной реакции способствует высокая химическая и динамическая реактивность фермента. Высокая химическая реактивность обеспечивается режимом полифункционального катализа, когда на превращаемую

химическую связь субстрата одновременно действует стереохимическая комбинация различных каталитически активных химических группировок активного центра (код операции) фермента. Интересным фактом здесь является то, что белковые молекулы стереохимическим способом решает сразу две задачи, – информационной коммуникации и полифункционального катализа.

Динамическая реактивность фермента, при взаимодействии фермента с субстратом, создаёт напряжение, то есть ориентирует и фиксирует взаимодействующие химические группы таким образом, что это создаёт механическую составляющую, которая снижает энергию активации и способствует эффективному прохождению реакции. Можно считать, что, в рамках сделанных допущений, информационная модель описывает процесс управления химической реакции, ведущий к образованию продуктов реакции. Образование продуктов реакции сопровождается нарушением их физико-химического соответствия управляющим кодовым компонентам фермента, а это приводит к возврату фермента в исходное состояние. Фермент, как взведённая пружина, возвращаясь в исходное состояние, способствует выбросу продуктов реакции из активного центра. Этап фермент-субстратного взаимодействия является заключительным фрагментом биокibernетического управления, указывающим на единство процессов управления и информации в живой клетке. Заметим также, что клеточная система сразу же получает информацию о ходе управляемых процессов в виде стереохимических кодов продуктов реакции, которые становятся субстратами для других ферментов или выступают в роли молекул обратной связи. Сигнальная (осведомляющая) информация субстратов служит для информирования управляющей системы о состоянии управляемых объектов, о ходе реакций, об эффективности протекающих процессов и т. д.

Отличительной особенностью белков клетки является их способность адекватно и сходным образом отвечать на довольно слабые информационные воздействия, достаточно мощными обратимыми конформационными изменениями. В этом, видимо, и заключается основа и сущность их биологической активности. Способность белка индуцировано возбуждаться и адекватно отвечать на сигнальную информацию изменением своей конформации является специфической особенностью. Конформация фермента меняется при взаимодействии его с субстратом, молекула гемоглобина – при соединении с кислородом,

конформационные изменения обеспечивают функционирование сократительных белков и т. д. Способность ферментов и других белков клетки автоматически отвечать на слабые информационные воздействия, довольно мощными обратимыми конформационными изменениями, используется клеткой практически для всех биологических функций.

5. Ферменты и белки – это молекулярные биологические автоматы с программным управлением

В живой клетке имеется множество локально рассредоточенных объектов управления (субстратов). Для эффективного управления ими все выходные управляющие аппараты биокibernетической системы клетки должны быть «механизированы и автоматизированы». Они должны быть снабжены системой адресной доставки, а также обладать свойствами адаптивного управления, в зависимости от наличия объектов управления, регуляторных сигналов обратной связи или физико-химических воздействий окружающей среды. Всеми этими свойствами в достаточной мере обладают ферменты и другие функциональные белки живой клетки, которые являются материальными носителями не только программных средств, но и самих управляющих органов и механизмов. В связи с этим, в молекулярно-биологической системе клетки, в качестве выходного управляющего звена используются белки и ферменты, представляющие собой молекулярные биологические автоматы или манипуляторы с программным управлением [3].

К примеру, фермент как молекулярный автомат всегда прямо или опосредованно нацелен на взаимодействие со своими молекулярными партнёрами: на связывание субстрата, на программное взаимодействие с коферментами, с регуляторными молекулами, с мембранами клетки и т. д. В результате стереохимического кодирования и программирования каждый белок клетки получает своё, как внешнее, так и внутреннее структурно-функциональное и информационно-программное обеспечение.

К средствам внешнего обеспечения белков могут относиться: 1) средства информационной коммуникации, представляющие собой адресные стереохимические коды активных центров, которые состоят из пространственной комбинации аминокислотных остатков с различными R-группами, – при помощи таких кодов

ферменты способны к адресному поиску, комплиментарному взаимодействию и связыванию молекул субстрата; 2) зона химического катализа, представляющая собой код каталитической операции активного центра фермента, который определяет характер химической реакции и состоит из стереохимической комбинации различных боковых R-групп, обладающих высокой химической реактивностью; 3) средства коммуникативного «общения» белка с другими молекулами клетки, к которым могут относиться разного рода и назначения локальные или рельефные поверхностные кодовые микроматрицы. Они образованы координатной мозаикой различных, иногда весьма многочисленных боковых R-групп, находящихся в углублениях или на поверхностных участках белковой молекулы.

К средствам внутреннего обеспечения белковых молекул могут относиться: 1) средства программного обеспечения, которые скорее неявно, чем в явной форме «загружены и заложены» в аминокислотной «линейной», а затем, и в трёхмерной организации белковой молекулы; 2) средства структурной организации исполнительных органов и механизмов белка, которые обладают высокой динамической реактивностью; 3) энергетические средства макромолекулы, заключенные в её химических ковалентных и нековалентных (слабых) связях, а при необходимости и в дополнительной энергии в форме АТФ.

Сtereохимические (пространственные) аминокислотные коды, находящиеся в белковых молекулах (и передаваемые по физическим каналам связи), по функциональному назначению могут разделяться на адресные коды, коды операций, регуляторные, информационные, структурные коды и др.

Адресный код (или коды), – служит для комплиментарной рецепции функционального адреса молекулы (или молекул) субстрата. При помощи адресных кодов определяется класс биохимических соединений (то есть вид молекулярной информации), тип информационного элемента или атомной группы для связывания его с активным центром. Код операции, – указывает характер химической операции (реакции) во время химических превращений.

Регуляторные коды, – служат для принятия информационных сигналов (молекул) обратных связей во время функционирования фермента.

Информационные коды – это те локальные или поверхностные рельефные биохимические матрицы, которые

служат для связывания белковой макромолекулы с её функциональными молекулярными партнёрами или партнёрами по агрегатированию.

Структурные коды – это та кодовая организация химических букв в макромолекуле, которая определяет структурную организацию исполнительных органов и механизмов белковой молекулы.

Такое стереохимическое кодовое разделение сигналов позволяет белку динамически и информационно взаимодействовать с различными молекулярными партнёрами: с транспортными молекулами, с коферментами, с мембранами клетки, с АТФ, с регуляторными молекулами, с партнёрами по агрегатированию и т. д. В связи с этим, процесс описания конкретного функционального алгоритма белковой молекулы на языке «стереохимических кодовых команд» можно было бы назвать – «программированием в стереохимических кодах».

Целью стереохимического кодирования белковых макромолекул является передача адресных информационных сообщений с кодовым разделением различных по своему назначению сигналов. Каждый функционально активный белок клетки, как молекулярный биологический программный объект, всегда состоит из данных, то есть, – функциональных биохимических программных элементов (аминокислот) и физико-химических алгоритмов, определяемых биохимической логикой их взаимодействия.

При этом динамическая реактивность макромолекулы белка связана с кооперативным изменением сил притяжения и отталкивания, поэтому свободная энергия взаимодействия аминокислот в составе макромолекулы, при информационном контакте с молекулярными партнёрами, определяет её функциональное поведение. При недостатке энергии белковые молекулы способны адресно (информационно) взаимодействовать с молекулами АТФ, которые в живой клетке выполняют роль аккумулятора химической энергии.

Как мы видим, стереохимический язык живой формы материи является не только средством выражения информационных сообщений, но и средством «естественного общения» биологических молекул друг с другом. Основной целью стереохимического кодирования и программирования белковых молекул является: 1) передача в трёхмерных структурах белков различных сообщений со стереохимическим кодовым разделением

сигналов; 2) программирование работы молекулярных органов и исполнительных механизмов, определяющих функции белковых молекул; 3) повышение помехоустойчивости информационных сообщений, путём применения комплиментарных обратных связей, при взаимодействии биологических молекул друг с другом с помощью биохимических матриц; 4) повышение достоверности передачи сообщений, так как ошибочное замещение одной аминокислоты на другую в любом стереохимическом коде, как правило, ведёт к «потере» биологического сигнала белковой молекулы; 5) возможность регуляторного воздействия на управляющие стереохимические коды макромолекулы фермента путем «разрешения или запрета» на прохождение управляющих команд (при помощи регуляторных молекул обратных связей); 6) экономное использование различных компартов и каналов связи.

Таким образом, стереохимический принцип кодирования и программирования функций белковых молекул – это, в первую очередь, и есть тот путь, который непосредственно ведёт от молекулярной информации к биологическим характеристикам живой формы материи. Нам до сих пор неясен и непонятен этот древнейший язык живой природы, который, по всей вероятности, является не только средством молекулярного «общения», но и формой выражения биологической сущности живой материи. Только таким способом программируется весь путь и биологическая судьба любой активной макромолекулы живой клетки. Поэтому каждый фермент или другой белок клетки становится обладателем своей сложной биологической судьбы и начинает функционировать строго в соответствии с теми обстоятельствами, в которых он находится, и в соответствии с той программой, которая химическим и стереохимическим способом загружена в его линейную и трёхмерную структуру.

Многие белки программируются таким образом, чтобы они могли реализовать не только свою управляющую информацию, но и специфически могли воспринимать и реагировать на осведомляющую информацию сигнальных и регуляторных молекул, а также на внешние факторы окружающей среды. Таким образом, трёхмерные структуры белков могут обладать своими «входными и выходными» средствами обмена информацией с другими молекулами клетки. К примеру, аллостерический фермент, благодаря выходным управляющим кодовым компонентам активного центра, всегда «знает» с каким объектом управления ему

следует взаимодействовать, а благодаря набору входных кодовых компонентов, которые служат для обратной связи, он способен адекватно реагировать на информационные воздействия сигнальных или регуляторных молекул.

Следовательно, для того, чтобы логический механизм фермента или другого белка клетки заработал и был способен точно и быстро выполнить все указания генов, в их трёхмерную структуру должны быть заложены как исполнительные органы и механизмы, так и их программное, функциональное, энергетическое и информационное обеспечение. Такое условное подразделение на отдельные средства необходимо для понимания информационных принципов и механизмов, лежащих в основе функционального поведения как белковых, так и других биологически активных молекул. Теперь мы знаем, что все эти многоплановые цели и задачи могут выполняться белковыми молекулами только благодаря наличию в их структурах многофункциональных био-логических элементов – аминокислот, комбинационный состав которых, в каждом конкретном случае, определяется генами.

Известно, что смысл действия информационных сигналов и сообщений, как правило, сводится к включению или выключению «силовых управляющих органов и механизмов». В молекулярной биологической системе эти функции обычно выполняются ферментами или другими белками, но, заметим, – только на молекулярном уровне. Здесь управление химическими реакциями осуществляются не только за счет высокой химической реактивности ферментов, но и за счет их высокой реактивности динамической. При этом любая молекула субстрата воспринимается соответствующим ферментом как биологический объект управления, подлежащий химическому и динамическому (механическому) воздействию. А сам объект управления (субстрат), воспринимающий эти воздействия, является «нагрузкой», как для аппарата химического катализа фермента, так и для его «силового молекулярного привода».

Таким образом, фермент действует на молекулу субстрата с помощью химических, динамических (механических) и информационных средств. Благодаря стереохимической форме представления информации ферменты способны в автоматическом режиме решать ряд биологических задач:

- 1) динамический поиск молекул субстрата (объектов управления) по их сигнальным (информативным) структурам;

2) приём осведомляющей информации молекул субстрата и подключение их, через матричный контакт устройства комплементарного сопряжения, к управляющим органам и механизмам фермента;

3) рецепцию кодов осведомляющей информации молекулы (или молекул) субстрата и проверку их на комплементарное соответствие управляющим сигналам – адресному коду и коду операции фермента;

4) запуск силовых молекулярных электронно-конформационных механизмов фермента, через контакт устройства «комплементарного сопряжения» фермента с субстратом.

Стереохимический контакт управляющих и сигнальных кодовых компонентов фермента и субстрата является достаточной информационной формой воздействия на исполнительные органы и механизмы фермента. Сдвиги зарядов макромолекулы, во время взаимодействия её с молекулой субстрата, определяют динамическую реактивность фермента и ведут к снижению энергии активации и ускорению прохождения химической реакции, то есть к реализации кода каталитической операции. Таким образом, весь смысл прохождения генетической информации заключается в управлении ферментами различного рода химических реакций или в выполнении белками определённых биологических функций. Поэтому все генетически детерминированные функции управления на расстоянии в клеточной системе выполняются управляющими автоматами, то есть ферментами и белками.

Динамическая организация белков включает в себя весь необходимый и достаточный набор информационных, управляющих, программных и энергетических средств, наличие которых указывает на несомненную принадлежность ферментов и других функциональных белков клетки к категории молекулярных биологических автоматов или манипуляторов с гибким программным управлением. Причем ключевые ферменты вполне можно отнести к категории полных автоматов с авторегулированием, так как после окончания рабочего цикла они не только начинают его вновь самостоятельно, но и могут регулировать прохождение химических реакций с помощью сигнальных или регуляторных молекул обратной связи.

Известно также, что некоторые ферменты и белки программно объединяются между собой или с молекулами РНК в агрегатированные автоматы и становятся способными к выполнению сложнейших биологических функций. К

молекулярным агрегатам такого рода можно отнести ДНК и РНК-полимеразы, рибосомы, АТФ-синтетазу и т. д. Причем, каждый из этих, иногда довольно сложных аппаратных устройств, приспособлен выполнять определённую последовательность команд и био-логических операций, то есть, способен реализовать какие-то алгоритмы биологической деятельности. Поэтому и в данном случае имеются все основания говорить о программировании молекулярных биологических функций.

Таким образом, живая клетка сама «проектирует», создаёт и применяет для дистанционного управления высокоэффективные автоматические молекулярные средства с программным управлением. Только благодаря молекулярным биологическим автоматам, манипуляторам и агрегатам управление всеми клеточными процессами полностью «механизировано и автоматизировано», информационно скоординировано и осуществляется в полном соответствии с теми генетическими программами, которые перенесены и загружены в их молекулярную структуру. Теперь уже не вызывает сомнений, что причиной упорядоченной организации живой материи является системная организация и высокая информационная насыщенность взаимодействующих биологических молекул, несущих как управляющую информацию – адресные и функциональные коды белков и ферментов, так и сигнальную осведомляющую – химические коды субстратов.

Информационная молекулярно-биологическая система самоуправления клетки – это комплекс различных молекулярных управляющих устройств и средств, который, с одной стороны, осуществляет управление различными химическими процессами и биологическими функциями, а с другой – занимается реорганизацией и реконструкцией своих же биологических структур и компонентов. Поэтому ферменты и другие функциональные белки используются клеткой в качестве выходного управляющего звена её биокibernетической системы.

И, действительно, только в клеточных условиях ферменты способны повышать «скорости катализируемых ими реакций в 10 в восьмой степени – 10 в двадцатой степени раз. А число оборотов наиболее активных ферментов достигает 36 000 000 в 1 мин. Такое число молекул субстрата, претерпевает превращение за 1 минуту в расчете на одну молекулу фермента» [4]. Заметим, что такую непревзойденную производительность и избирательность, по мнению автора статьи, могут развивать и вырабатывать только

лишь молекулярные биологические автоматы с программным управлением.

Биологи до сих пор пытаются обойтись без исследования закономерностей молекулярной информатики. А проблемы организации живой материи и функционального поведения белковых и других молекул они пытаются решать по-своему. Однако нельзя же серьезно относиться к той концепции, которая без всяких обоснований декларирует, что белковые и другие макромолекулы и структуры живой клетки просто «самоорганизуются», а ферменты, при этом, становятся теми катализаторами, которые получают способность управлять всеми химическими превращениями и биологическими функциями в живых клетках и организмах. Ясно, что катализаторы способны в определенной мере ускорять протекание химических реакций, но не до таких же астрономических значений и не с такой же производительностью, избирательностью и управляемостью, как это делают ферменты!

Поэтому процесс самоорганизации живой материи – далеко не изученный процесс, который, по моему мнению, связан, прежде всего, с информационной сущностью живого, а ферменты – это далеко не простые химические катализаторы даже только потому, что в своей работе применяют метод полифункционального катализа. Кроме того белки малых и средних размеров являются весьма микроскопическими естественными образованиями и составляют в длину от 3,6 до 6,8 нм. Поэтому, очевидно, что ферменты различного назначения, по представлениям сегодняшнего дня, можно отнести к сложным автоматам естественных нанотехнологий, которые применяются живой природой уже многие сотни миллионов лет.

Ясно, что феномен био-логического управления, которым обладают ферменты и другие клеточные белки, по силам лишь молекулярным биологическим автоматам или манипуляторам с программной биохимической логикой управления. Подобные процессы не могут обеспечиваться химическими катализаторами, какими бы уникальными и замечательными свойствами они не обладали. Работу ферментов, как организаторов всех химических процессов живой клетки, нельзя определять только одним, хотя и существенным их свойством. Поэтому называть ферменты биокатализаторами химических процессов, с точки зрения сегодняшнего дня, более чем несовременно. Феномен био-логического управления по силам лишь молекулярным

биологическим автоматам и манипуляторам. А полифункциональный катализ, используемый молекулярными биологическими автоматами (ферментами), применяется лишь как способ управления химическими превращениями. Однако избирательная химическая и динамическая реактивность фермента может осуществляться только информационным путём.

В связи с этим, все белковые молекулы представляют собой не только потоки биоорганического вещества, но они же образуют и информационные потоки и сети, контролирующие различные биохимические и молекулярные функции живой клетки (организма). Программирование этих потоков и сетей обеспечивается экспрессией десятков и сотен различных генов, объединённых между собой скоординированными управляющими и регуляторными воздействиями. А если учесть, что различные ферментативные системы, состоящие порой из десятков и сотен ферментов, участвуют в организации множества различных последовательностей идущих друг за другом химических реакций, которые в совокупности составляют клеточный метаболизм, то можно констатировать, что управление химическими процессами и биологическими функциями клетки осуществляется молекулярными информационными потоками и сетями «автоматизированного» управления.

К сожалению, мы еще полностью не осознали, что «информация» является отдельной самостоятельной сущностью и подчиняется она не законам материального мира, а только своим специфическим принципам и правилам! Игнорирование этого факта неизбежно ведёт к познавательным коллизиям и часто приводит к серьезным теоретическим упущениям и ошибкам. Например, мы забываем (или не знаем), что функциональное поведение биологических макромолекул в живой системе подчинено не только всем известным законам физики и химии. В первую очередь, оно подчинено закономерностям молекулярной биохимической логики и информатики, иными словами, – информации, закодированной (загруженной) в структурах биологических макромолекул. Следовательно, изучением живой материи должны заниматься не только биофизика, биохимия, молекулярная биология, но и молекулярная информатика. К сожалению, этот факт биологами пока еще не осознается и не воспринимается, что, на мой взгляд, является причиной мировоззренческого застоя и отставания в изучении биологической формы движения материи.

Автор этой статьи уже давно придерживается мнения, что первичная биологическая информация, находящаяся в структурах ДНК живой клетки, представляет собой закодированные генетические сообщения и послания. Поэтому путём транскрипции (переписывания) и трансляции (перекодирования) этих сообщений на аминокислотный код, в полипептидные цепи записываются (загружаются) те текстовые предписания, в которых содержится не только описание алгоритмов структурного преобразования, но и сама программа функционального поведения белковых молекул. А посредством ферментов и других белковых молекул кодируются и программируются все остальные макромолекулы и структуры живой клетки. Здесь, как мы видим, само появление и развитие живой материи обязано такому фундаментальному свойству, как способности одной и той же информации существовать в различных её видах и формах. Причем, переводом информации из одной её системы кодирования в другую, обычно занимаются различные устройства – дешифраторы, трансляторы, преобразователи и т. д.

Можно сказать, что ферменты – это автоматы биологических нанотехнологий, специально созданные для «телеуправления» различными рассредоточенными молекулярными объектами живой системы (субстратами). Поэтому в структуру ферментов закладывается не только необходимая для этого информация, но и тот материальный переносчик, который в соответствии с закономерностями молекулярной биохимической логики, становится еще и материальным субстратом, из которого строятся все необходимые органы, механизмы и программы молекулярного автомата (фермента). Получается, что все макромолекулы клетки состоят из материальных (мономеров) и виртуальных компонентов (программ, команд, данных) [5]. Разные классы биомолекул выполняют различные специфические функции, которые основаны на применении своих биохимических элементов и своей структурно-функциональной информации. Так или иначе, генетическая информация, проникая в биологическую структуру через её элементарный состав, переносит туда и весь необходимый набор программных, энергетических и функциональных средств, на основе которых живая клетка достигает упорядоченности структур и процессов.

В связи с этим все клеточные процессы управляются и взаимно координируются той программной информацией, которая в данное время экспрессирована, перенесена и загружена в молекулярную

структуру функциональных биологических молекул клетки. Радикально функции клеток могут меняться только при загрузке в её аппаратную часть новой молекулярной информации, то есть уже за счет других синтезированных биологических молекул, и в первую очередь, – белковых макромолекул, включаемых в состав различных молекулярных средств, структур и компонентов, например, в процессах деления или дифференцировки клеток.

Литература

1. Ю. Я. Калашников. Основы молекулярной биологической информатики. – М., 2004. – 66с. – Депонир. в ВИНТИ РАН 13.04.04, № 622 – В2004, УДК 577.217: 681.51
2. Ф. Айала, Дж. Кайгер. Современная генетика. Пер. с англ. в 3-х томах – М: Мир, 1988.
3. Ю. Я. Калашников. Ферменты и белки – это молекулярные биологические автоматы с программным управлением. – М., 2002. – 25с. – Депонир. в ВИНТИ РАН 21.05.02, № 899 – В2002, УДК 577.217: 681.51
4. А. Ленинджер. Основы биохимии. Пер. с англ. в 3-х томах – М: Мир, 1985.
5. Ю. Я. Калашников. Кодирование и программирование биологических молекул. Дата публикации: 01.01.2007г., источник: <http://new-idea.kulichki.com/>

Хмельник С.И.

Еще о кодировании функций

Аннотация

Данная статья продолжает публикацию [1]. Ниже подробно рассматриваются алгоритмы операций с четверичными тригонометрическими треугольными кодами, описанные выше в общем случае. Целью при этом является конкретизация теории кодирования функций до такой степени, которая допускает постановку задачи технического проектирования соответствующих компьютеров. Теория дополняется многочисленными примерами.

Оглавление

Введение

Четверичные тригонометрические треугольные коды

1. Арифметические операции с четверичными треугольными кодами
 - 1.1. Алгебраическое сложение
 - 1.2. Деление на параметр
 - 1.3. Умножение
2. Кодирование и декодирование четверичных треугольных кодов
 - 2.1. Кодирование и декодирование четверичных треугольных кодов
 - 2.2. Кодирование и декодирование четверичных тригонометрических треугольных кодов
3. Математические операции с четверичными тригонометрическими треугольными кодами
4. Укорочение четверичных тригонометрических треугольных кодов
5. Погрешность кодирования четверичных тригонометрических треугольных кодов

Литература

Введение

В данном разделе подробно рассматриваются алгоритмы операций с четверичными тригонометрическими треугольными кодами, описанные выше в общем случае. Целью при этом является конкретизация теории кодирования функций до такой степени, которая допускает постановку задачи технического проектирования соответствующих компьютеров. Предпочтение, отдаваемое четверичным кодам, вызвано следующими обстоятельствами:

1. не существует двоичных треугольных кодов,
2. схемы для операций с четверичными кодами легко реализуются на двоичных элементах,
3. большинство формул, используемых в алгоритмах кодирования и декодирования тригонометрических треугольных кодов, приобретают для четверичных кодов более простой вид.

Далее без замечаний даются номерные ссылки на элементы предыдущей статьи.

4. Четверичные тригонометрические треугольные коды

В связи с тем, что далее будут рассматриваться исключительно четверичные коды, символ R в обозначениях кода будет опускаться. Условимся далее, что множество значений величин разрядов $D_R = \{-2, -1, 0, 1\}$.

1. Арифметические операции с четверичными треугольными кодами

В общем виде арифметические операции с треугольными кодами описаны выше. Здесь будут указаны лишь особенности четверичных кодов.

1.1. Алгебраическое сложение.

Вначале рассмотрим алгебраическое сложение четверичных кодов чисел $K_4(A)$, которые составляют прямоугольный код. Вообще говоря, такие коды при $R=4$ и $D_R = \{-2, -1, 0, 1\}$ эквивалентны двоичным кодам вещественных чисел по основанию (-2) . Тем не менее мы рассмотрим (для дальнейших аналогий) табл. 1.1, которая описывает алгебраическое сложение кодов $K_4(A)$ при $R=4$ и

$D_R = \{-2, -1, 0, 1\}$. Эта таблица построена с использованием формул (1.2.1), (1.2.3) и удовлетворяет условиям полноты.

В табл. 1.2 перечислены варианты алгебраического сложения треугольных кодов при $R=4$ и $D_R = \{-2, -1, 0, 1\}$. Эта таблица построена с использованием формул (1.3.1), (1.3.2) и удовлетворяет условиям полноты.

Таблица 1.1.

S	σ	π
5	1	1
4	0	1
3	-1	1
2	-2	1
1	1	0
0	0	0
-1	-1	0
-2	-2	0
-3	1	-1
-4	0	-1
-5	-1	-1
-6	-2	-1
-7	1	-2
-8	0	-2
-9	-1	-2
-10	-2	-2

The diagram shows five vertical bars of varying heights and positions, connected to specific rows of the table. The bars are labeled as follows from left to right: $\alpha + \beta$, $-\alpha$, $\alpha - \beta$, $4 * \alpha$, and $-\alpha - \beta$. Lines connect the top and bottom of these bars to the corresponding σ and π values in the table rows.

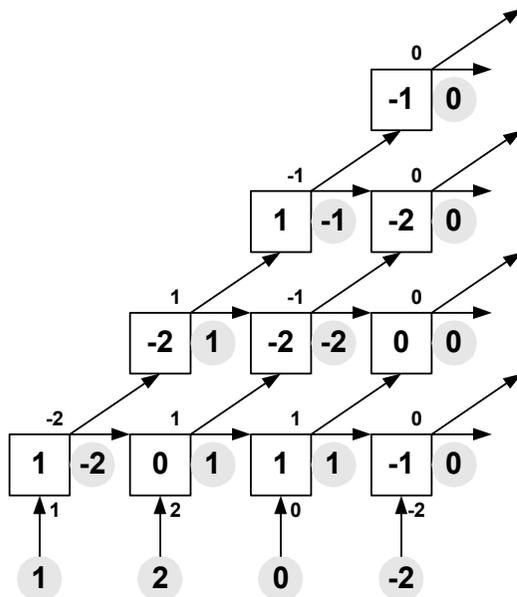
Таблица 1.2.

S	σ	π
8	0	2
7	-1	2
6	-2	2
5	1	1
4	0	1
3	-1	1
2	-2	1
1	1	0
0	0	0
-1	-1	0
-2	-2	0
-3	1	-1
-4	0	-1
-5	-1	-1
-6	-2	-1
-7	1	-2
-8	0	-2
-9	-1	-2
-10	-2	-2
-11	1	-3
-12	0	-3
-13	-1	-3
-14	-2	-3

Пример 1.1. Умножение на параметр кода функции

$$SK_4(f(x)) = \begin{matrix} & & & & 0 \\ & & & & -1 & 0 \\ & & & 1 & 1 & 0 \\ -2 & 0 & 2 & 0 & & \\ & 1 & -2 & -2 & 0 & \end{matrix}$$

По табл. 1.2 строим схему распространения переносов, где в кругах записаны разряды α_{mk} исходного кода, в квадратах - разряды σ_{mk} произведения, а рядом со стрелками – переносы π_{mk} из разряда, откуда выходят стрелки.



Следовательно, код произведения

$$TK_4(4f(x)) = \begin{matrix} & & & -1 \\ & & & 1 & -2 \\ & & -2 & -2 & 0 \\ & 1 & 0 & 1 & -1 \end{matrix}$$

1.2. Деление на параметр.

В данном случае $R=4$, $D_R = \{-2, -1, 0, 1\}$ и $(\alpha_{mk}, \pi'_{mk}, \pi''_{mk}) \in D_R$. При этом по формуле (1.4.1) находим: $\frac{-11}{4} \leq S_{mk} \leq \frac{7}{4}$. Каждое из этих значений представляется в виде удовлетворяет условию (1.4.2), где σ_{mk} - целое число. В табл. 1.3 перечислены все возможные значения и соответствующие им значения. Важно отметить, что в этой таблице $-3 \leq \sigma_{mk} \leq 2$. Это означает, что разряды частного должны иметь 2 бита (а не 2, как в других случаях) и после деления должно выполняться распространение переносов из разрядов, не удовлетворяющих условию $\sigma_{mk} \in D_R$.

Таблица 1.3.

$4S_{mk}$	π_{mk}	σ_{mk}
-11	1	-3
-10	-2	-2
-9	-1	-2
-8	0	-2
-7	1	-2
-6	-2	-1
-5	-1	-1
-4	0	-1
-3	1	-1
-2	-2	0
-1	-1	0
0	0	0
1	1	0
2	-2	1
3	-1	1
4	0	1
5	1	1
6	-2	2
7	-1	2

Пример 1.2. Деление на параметр. Рассмотрим код

$$\begin{array}{r}
 1 \\
 0 \ 0 \\
 0 \ 0 \ 0 \\
 TK_4 = 0 \ 0 \ 0 \ 0
 \end{array}$$

После деления первой строки получаем:

$$\begin{array}{r}
 1/4 \\
 0 \ 0 \\
 0 \ 0 \ 0 \\
 TK_4 = 0 \ 0 \ 0 \ 0
 \end{array}$$

После передачи переноса из третьей строки получаем:

$$\begin{array}{cccc}
 & & & 0 \\
 & & & 1 \quad (-1/4) \\
 & & 0 & 0 \quad 0 \\
 \text{TK}_4 = & 0 & 0 & 0 \quad 0
 \end{array}$$

После передачи переноса из второй строки получаем:

$$\begin{array}{cccc}
 & & & 0 \\
 & & & 1 \quad 0 \\
 & & 0 & -1 \quad (1/4) \\
 \text{TK}_4 = & 0 & 0 & 0 \quad 0
 \end{array}$$

После передачи переноса из первой строки получаем:

$$\begin{array}{cccc}
 & & & 0 \\
 & & & 1 \quad 0 \\
 & & 0 & -1 \quad 0 \\
 \text{TK}_4 = & 0 & 0 & 1 \quad (-1/4)
 \end{array}$$

После передачи переноса из нулевой строки получаем частное

$$\begin{array}{cccc}
 & & & 0 \\
 & & & 1 \quad 0 \\
 & & 0 & -1 \quad 0 \\
 \text{TK}_4 = & 0 & 0 & 1 \quad 0
 \end{array}$$

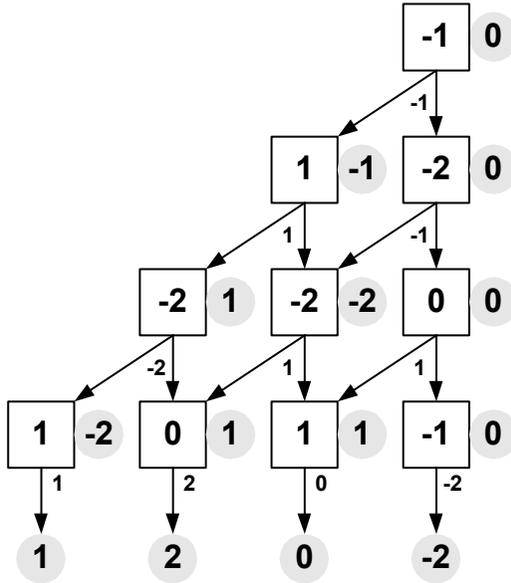
и остаток

$$\text{LK}_4 = 0 \quad 0 \quad 0 \quad (1/4)$$

Пример 1.3. Деление на параметр кода функции

$$\begin{array}{cccc}
 & & & -1 \\
 & & & 1 \quad -2 \\
 & & -2 & -2 \quad 0 \\
 \text{TK}_4(F(x)) = & 1 & 0 & 1 \quad -1
 \end{array}$$

По табл. 1.3 строим схему распространения переносов, где в квадратах записаны разряды α_{mk} делимого, в кругах – разряды частного σ_{mk} , между стрелками – переносы π_{mk} из разряда, расположенного над стрелками.



Следовательно, смешанный код частного

$$SK_4(F(x)/R) = \begin{matrix} & & & & 0 \\ & & & & -1 & 0 \\ & & & 1 & 1 & 0 \\ & -2 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & -2 & -2 & 0 \end{matrix}$$

Сравнивая примеры 1.2 и 1.3 замечаем, что в них описаны обратные действия – коды на рисунках совпадают, рисунки различаются направлением стрелок-переносов и

$$F(x) = Rf(x), SK_4(F(x)/R) = SK_4(f(x)), TK_4(R \cdot f(x)) = TK_4(F(x))$$

1.3. Умножение.

Умножение четверичных треугольных кодов не имеет особенностей по сравнению с общим случаем.

Пример 1.4. Умножение. Найдем код $TK_4(z(x))$ произведения ξ -ив функций, коды $TK_4(u(x))$ и $TK_4(v(x))$ которых приведены в примерах 2.3 и 2.4 соответственно.

В примере 2.5 этот код декодирован и тем самым найдено произведение ξ -ив функций, определенных в примерах 2.3 и 2.4.

								0
								0
							0	0
						0	0	1
				0	0	1	-1	1
			0	-2	0	-1	-1	1
		-2	-1	-1	0	-2	-2	1
TK ₄ (z(x))	-2	1	1	-1	0	-1	0	0
	-2	1	1	-1	0	-1	0	0

2. Кодирование и декодирование четверичных треугольных кодов

В общем виде кодирование и декодирование четверичных треугольных кодов описано в разделе 2.4. Здесь будут указаны лишь особенности четверичных кодов.

2.1. Кодирование и декодирование четверичных треугольных кодов

Рассмотрим примеры.

Пример 2.1. Кодирование и декодирование при $R = 4$, $D_R = \{-2, -1, 0, 1\}$. Вначале рассмотрим декодирование треугольного кода $TK(F(x))$ из примера 1.3. При делении кода $TK(F_0(x)) = TK(F(x))$ на 4 образуется код частного $TK(F_1(x))$ и код остатка $AK(f_0(x))$. При делении кода $TK(F_1(x))$ образуется код частного $TK(F_2(x))$ и код остатка $AK(f_1(x))$. При делении кода $TK(F_2(x))$ образуется код частного $TK(F_3(x))$ и код остатка $AK(f_2(x))$. Последнее деление кода $TK(F_3(x))$ дает нулевое частное и остаток $TK(f_3(x)) = TK(F_3(x))$. В обратном направлении этот же пример иллюстрирует процесс кодирования прямоугольного кода последовательным умножением его на параметр.

				0					0
				0	0				-1 0
		0	-1	0				1	-1 1
TK(F ₀ (x)) =	1	0	1	-1		TK(F ₁ (x)) =	-2	-2	-2 1
						AK(f ₀ (x)) =	1	-2	0 -2

			0				0
			-1	0			0 0
TK($F_2(x)$)=	1	-1	1		TK($F_3(x)$)=	-1	0 0
AK($f_1(x)$)=	-2	1	-2		AK($f_2(x)$)=	1	0 1

Следовательно,

$$\begin{aligned}
 \text{PK}(F(x)) &= \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ -2 & 1 & -2 & 0 \\ 1 & -2 & 0 & -2 \end{pmatrix} = \begin{matrix} \text{AK}(f_3(x)) \\ \text{AK}(f_2(x)) \\ \text{AK}(f_1(x)) \\ \text{AK}(f_0(x)) \end{matrix} \\
 A_\psi &= \begin{pmatrix} -55 & 2 & 8 & -2 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Итак, $F(x) = -55 + 2\psi_{01} + 8\psi_{02} - 2\psi_{03}$.

Пример 2.2. Преобразование кода TK($F(x)$) в код PK($F(x)$) последовательным делением на параметр.

							0
							0 1
						-1	-2 1
					1	0	-1 1
				-1	1	0	0 1
			-1	-1	1	-2	1 1
		-1	-1	-1	1	-1	-1 1
	0	-1	-1	1	1	0	1 0
TK =	0	-2	0	-1	0	1	0 0 0

							0
							0 1
						-1	-2 0
					1	1	1 1
				-1	0	-1	-1 1
			-1	0	1	-1	-2 1
		-1	0	-1	1	1	1 0
	0	0	-1	-2	-2	1	0 0
СК1=	0	-2	0	0	-2	0	0 0 0

							0
							0 0
						0	1 0
					-1	-1	0 1
				1	-2	0	-2 1
		-1	-1	-2	1	-1	1

		-1	1	-2	-1	-1	-1	1
	-1	1	-2	-1	-1	0	-2	1
	0	1	-2	0	-1	-2	1	-2
СК2=	0	-2	0	0	-2	0	0	0

								0
							0	0
				0	1	0		
			-1	-1	-1	1		
		1	-1	1	-1	0		
	-1	-1	-1	-1	0	0	1	
	-1	-1	0	0	-1	-1	0	
	-1	-2	0	-1	-1	1	-1	1
СК3=	0	1	-2	0	-1	-2	1	-2
	0	-2	0	0	-2	0	0	0

								0
							0	0
				0	0	0		
			0	1	0	1		
		-1	-1	-1	-2	1		
	1	0	-2	-2	0	1		
	-1	-2	0	-2	-1	-2	1	
	-1	0	-2	1	1	0	-2	0
	-1	-2	0	-1	-1	1	-1	1
СК4=	0	1	-2	0	-1	-2	1	-2
	0	-2	0	0	-2	0	0	0

								0
							0	0
				0	0	0		
			0	1	0	1		
		-1	-1	-2	-2	1		
	1	0	-1	0	-2	1		
	-1	1	-1	-1	-1	0	0	0
	-1	0	-2	1	1	0	-2	0
	-1	-2	0	-1	-1	1	-1	1
СК5=	0	1	-2	0	-1	-2	1	-2
	0	-2	0	0	-2	0	0	0

								0
							0	0
			0	0	0			
		0	1	-1	1			

	-1	-1	1	-2	0			
	1	1	0	-1	0	1	0	0
	-1	1	-1	-1	-1	0	0	0
	-1	0	-2	1	1	0	-2	0
	-1	-2	0	-1	-1	1	-1	1
	0	1	-2	0	-1	-2	1	-2
СК6=	0	-2	0	0	-2	0	0	0

	0	1	-1	1	0	0	0	0
	-1	-1	0	-1	-1	0	0	0
	1	1	0	-1	0	1	0	0
	-1	1	-1	-1	-1	0	0	0
	-1	0	-2	1	1	0	-2	0
	-1	-2	0	-1	-1	1	-1	1
	0	1	-2	0	-1	-2	1	-2
PK=	0	-2	0	0	-2	0	0	0

A0	-3408							
A1		13538						
A2			-16776					
A3				11056				
A4					-4310			
A5						1032		
A6							-140	
A7								8

Пример 2.3. Кодирование функции

$$u(x) = -4 + 7\psi_{01} + 12\psi_{02} - 6\psi_{03} + \psi_{04} :$$

					0
					0
				0	1
				0	1
TK ₄ (u(x))		-1	-2	1	1
	0	-2	-2	-2	1

Пример 2.4. Кодирование функции

$$v(x) = 10 + 48\psi_{01} - 36\psi_{02} + 8\psi_{03} :$$

					0
					0
				1	0
				1	0
TK ₄ (v(x))		-1	-2	-2	1
	-2	-1	1	-2	1

Пример 2.5а. Декодирование кода

$$TK_4 = \begin{pmatrix} & & -1 \\ & 1 & -1 \\ 1 & 0 & -2 \end{pmatrix}$$

Выполним последовательное деление кода TK_4 на параметр:

			0
		-1	0
$\Delta K1 =$	1	-1	0
	1	-1	-2
			0
		0	0
	-1	0	0
$\Delta K2 =$	1	1	0
			0
		0	0
	0	0	0
$\Delta K3 =$	-1	0	0

Формируем прямоугольный код:

	-1	0	0	$\Delta K3$
RK_4	1	1	0	$\Delta K2$
	1	-1	-2	$\Delta K1$

Декодирование прямоугольного кода RK_4 дает функцию $(-11 + 3\psi_{01} - 2\psi_{02})$

Пример 2.5. Декодирование кода $TK_4(z(x))$ из примера 1.4.

Выполним последовательное деление кода $TK_4(z(x))$ на параметр:

				0	0	0	0	1
				0	0	1	-1	0
			0	-2	1	-2	0	1
		-2	0	-2	1	0	-2	0
	-2	0	0	-2	1	-1	-2	0
$\Delta K1 =$	0	-2	0	0	-2	0	0	-1

				0	0	0	1	0
			0	0	1	-2	-1	0
		0	-2	1	1	1	1	0
	-2	1	0	0	-1	1	-2	1
$\Delta K2 =$	-2	-2	-2	-2	1	0	1	-2

			0	0	1	1	0	0
		0	0	-2	-1	-1	-1	0
	0	-2	-2	1	-1	0	0	0
ЛК3=	-2	1	-2	-1	-1	-2	-1	1

		0	0	1	1	0	1	0
	0	0	-2	-1	-2	-2	1	0
ЛК4=	0	-2	-2	-1	1	-2	-1	0

	0	0	1	1	-1	1	0	0
ЛК5=	0	0	-2	-2	1	-2	0	0

Формирование прямоугольного кода:

	0	0	1	1	-1	1	-1	0	ЛК6
	0	0	-2	-2	1	-2	0	0	ЛК5
	0	-2	-2	-1	1	-2	-1	0	ЛК4
	-2	1	-2	-1	-1	-2	-1	1	ЛК3
РК ₄ (z(x))	-2	-2	-2	-2	1	0	1	-2	ЛК2
	0	-2	0	0	-2	0	0	-1	ЛК1

Декодирование прямоугольного кода РК₄(z(x)):

$$z = \begin{bmatrix} -40 - 122\psi_{01} + 344\psi_{02} + 424\psi_{03} \\ -718\psi_{04} + 352\psi_{05} - 76\psi_{06} + 7\psi_{07} \end{bmatrix}$$

2.2. Кодирование и декодирование четверичных тригонометрических треугольных кодов

Рассмотрим вначале функции γ_{ω}^i – см. теорему 2.1.3. Можно убедиться в следующих свойствах функций γ_{ω}^i при $R=4$ и $n>1$:

$$\psi_{01} \cdot \gamma'_{\omega} = \gamma_{\omega} + \gamma_{\omega-1},$$

$$\gamma_{\omega} = \gamma'_{\omega} + \gamma'_{\omega-1},$$

$$\psi_{01} \cdot \gamma'''_{\omega} = \gamma''_{\omega} + \gamma''_{\omega-1},$$

$$\gamma''_{\omega} = \gamma'''_{\omega} + \gamma'''_{\omega-1}.$$

Из этих формул при $n>2$ следует:

$$\gamma_{\omega}^i = (\psi_{01} - 2)\gamma_{\omega-1}^i + \gamma_{\omega-2}^i.$$

Таблица 2.1.

n	$TK_4(\gamma_\omega)$					$TK_4(\gamma'_\omega)$				
1		1					1			
	-2	0				-1	0			
2			0					0		
		1	-1				1	-1		
	-2	1	0			1	0	0		
3				0					0	
			0	1				0	1	
		0	-2	0			-2	-1	0	
	-2	1	0	0		1	0	0	0	
4					0					0
				0	0				0	0
			0	-1	1			1	-1	1
		1	0	-1	0		-2	-2	0	0
	-2	1	0	0	0	1	0	0	0	0
5					0					0
					0	0				0
				0	1	0			0	1
			0	-2	-1	1		-1	-1	-2
		0	-2	-1	0	0	1	0	-1	0
	-2	1	0	0	0	0	1	0	0	0
n	$TK_4(\gamma''_\omega)$					$TK_4(\gamma'''_\omega)$				
1		0					1			
	1	-1				-2	0			
2			0					0		
		0	-1				1	-1		
	1	1	0			-1	1	0		
3				0					0	
			0	1				0	1	
		0	-2	0			-1	-2	0	
	-1	-2	1	0		0	1	0	0	
4					0					0
				0	0				0	0
			0	0	1			0	-1	1
		0	-2	-1	0		1	-1	-1	0
	1	-2	1	0	0	1	1	0	0	0
5					0					0
					0	0				0
				0	0	0			0	1
			0	1	-2	1		0	-2	-1
		0	0	1	-1	0	-1	1	-2	0
	-1	-1	1	0	0	0	-2	-2	1	0

Четверичные коды этих функций упрощаются по сравнению с общим случаем. Коды $TK_4(\gamma_\omega^i)$ для младших значений n приведены в табл. 2.1. На использовании заранее рассчитанных таблиц кодов $TK_4(\gamma_\omega^i)$ основан алгоритм 2.4.1 кодирования функций.

Рассмотрим примеры кодирования и декодирования четверичных кодов. Некоторые числа, которые будут использоваться в этих примерах, сведены в табл. 2.2-4.

Таблица 2.2. К примерам кодирования и декодирования.

i	0	1	2	3	3	3
ω	0	1	1	0	1	2
$TK_4(\gamma_\omega^i)$	0 1 0	1 -1 0	0 1 -1	0 1 0	1 -2 0	1 -1 0
D_ω^i	2	2	-2	-4	-2	-2
E_ω^i	2	-1	1	-2	1	-1
$TK_4(E_\omega^i)$	1 -2 1	1	-1	-2	1	-1

Таблица 2.3. К примерам кодирования и декодирования.

i	0	1	1	2	2	3	3
v	0	0	1	0	1	0	1
A_v^i	2	-3	1	2	-2	3	-2

Таблица 2.4. К примерам кодирования и декодирования.

i	0	1	3	3
$PK_4(f^i(x))$	1 0 -2 0	-1 0 1 1	0 0 1 -1	1 0 -1 -2
$TK_4(f^i(x))$	1 -2 1	-1 1 0	0 -1 -1	-1 1 -1

Пример 2.6. Кодирование функции по алгоритму 2.4.1 при $R = 4$ и $\alpha \in \{-2, -1, 0, 1\}$.

Рассмотрим функцию

$$\Phi(x) = 2 - 4\sin 2x - 2\sin 3x + 2\cos 3x + 2\sin 4x - 2\sin 6x$$

1. выделяем из ряда $\Phi(x)$ функции $\eta^i f^i(x)$, равные при $i = 0, 1, 2, 3$ соответственно $(2), (2\sin 3x), (-2\cos 3x), (-4\sin 2x - 2\sin 4x - 2\sin 6x)$; отсюда находим числа D_ω^i , приведенные в табл. 2.2;
2. находим числа E_ω^i при известных числах D_ω^i по формуле (2.1.19) - см. табл. 2.2;
3. кодируем числа E_ω^i и получаем коды $\text{TK}_4(E_\omega^i)$;
4. пользуясь формулой (2.4.2), известными кодами $\text{TK}_4(\gamma^i)$ и вычисленными кодами $\text{TK}_4(E_\omega^i)$, вычисляем коды $\text{TK}_R(\eta^i f^i(x))$, равные при $i = 0, 1, 2, 3$ соответственно:

$$\begin{Bmatrix} 1 \\ -2 & 1 \end{Bmatrix}, \begin{Bmatrix} -1 \\ 1 & 0 \end{Bmatrix}, \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 & -1 \end{Bmatrix}, \begin{Bmatrix} 0 \\ -2 & 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 1 \\ -2 & 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -1 \\ 1 & 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -1 \\ 1 & -1 \end{Bmatrix}$$

- см. также табл. 2.4;

5. компонуем код

$$\begin{matrix} & & & & 0 \\ & & & & 1 & -1 \\ & & & & 1 & -1 & 0 \\ & & & & -2 & 1 & -1 & -1 \\ \text{ТТК}_4(\Phi(x)) = & -2 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Пример 2.7. Кодирование функции по алгоритму 2.4.2 при условиях примера 2.6

1. находим числа D_ω^i - см. п. 1 примера 2.6
2. при известных числах D_ω^i и $S^i(v, \omega)$ находим числа A_v^i по формуле (2.1.18) - см. табл. 2.3;
3. кодируем функции $f^i(x)$, заданные числами A_v^i , то есть формируем коды $\text{PK}_4(f^i(x))$, а затем - коды $\text{TK}_4(f^i(x))$ - см. табл. 2.4; эти коды совпадают с теми, которые получены в п. 4 примера 2.6;
4. компонуем код $\text{TK}_4(\Phi(x))$ - см. п. 5 примера 2.6.

Пример 2.8. Декодирование кода по алгоритму 2.4.3.

Рассмотрим код $TK_4(\Phi(x))$, полученный в примере 2.6.

1. декомпируем код $TK_4(\Phi(x))$, что приводит к образованию кодов $TK_4(f^i(x))$ - см. табл. 2.4;
2. декодируем полученные коды для получения чисел A_v^i - см. табл. 2.3;
3. при известных числах A_v^i и $L^i(v, n)$ вычисляем числа D_ω^i по формуле (2.1.17) - см. табл. 2.2;
4. формируем тригонометрический ряд функции $\Phi(x)$ при известных числах D_ω^i - см. условие примера 2.6.

Пример 2.9. Кодирование функции в ТТК по алгоритму 2.4.1.

Рассмотрим функцию из примера 2.2.2 с использованием известных кодов $TK_4(\gamma_\omega^i)$, приведенных в табл. 2.1. Применяя формулу (2.1.19) для преобразования ряда (2.1.8) в ряд (2.1.10), из примера 2.2.2 находим:

$$F(x) = 32 + 21\gamma_1^0 - 4\gamma_2^0 + 2\gamma_3^0 - \gamma_4^0,$$

$$F'(x) = 2\text{Sin}x(128 - 5\gamma_1^1 + \gamma_2^1),$$

$$F''(x) = 2\text{Cos}x(128 + 5\gamma_1^2 + \gamma_2^2)$$

$$F'''(x) = 2\text{Sin}x\text{Cos}x(42 - 16\gamma_1^3 + 12\gamma_2^3 - 8\gamma_3^3)$$

	32				
$21\gamma_1^0$	0				
	-42	21			
$-4\gamma_2^0$			0		
		-4	4		
$2\gamma_3^0$	8	-4	0		
				0	
			0	2	
$-\gamma_4^0$		0	-4	0	
	-4	2	0	0	
					0
			0	0	
		0	1	-1	
	-1	0	1	0	

	2	-1	0	0	0
$F^0(x)$					0
				0	0
			0	3	-1
		-5	0	1	0
	-4	18	0	0	0

	128		
$-5\gamma_1^1$		5	
	-5	0	
γ_2^1			0
		1	-1
	1	0	0
$F^1(x)$ $\frac{2\text{Sin}x}{2\text{Sin}x}$			0
		6	-1
	124	0	0

	128		
$5\gamma_1^2$		0	
	-5	5	
γ_2^2			0
		0	-1
	1	1	0
$F^2(x)$ $\frac{2\text{Cos}x}{2\text{Cos}x}$			0
		0	-1
	124	6	0

	42			
$-16\gamma_1^3$		0		
	32	-16		
$12\gamma_2^3$			0	
		12	-12	
	-12	12	0	
$-8\gamma_3^3$				0
			0	-8
		8	16	0
	0	-8	0	0
$F^3(x)$ $\frac{2\text{Sin}2x}{2\text{Sin}2x}$				0
			0	-8
		20	4	0
	62	-12	0	0

табл. 2.2.1 следует, что

$$\begin{matrix} & & & & 0 \\ & & & & 0 & 0, \\ & & & & 0 & 1 & 0 \\ & & & & 0 & & 0 \\ & & & & 1 & 0 & & & 0 & 1. \end{matrix}$$

$$\underline{\text{ТТК}}_4(2\text{Cos}(x)) = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \quad \underline{\text{ТТК}}_4(2\text{Sin}(2x)) = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Далее коды $\text{ТТК}_4(\varepsilon_{\omega}^i)$ могут быть получены по одному из вышеописанных алгоритмов кодирования. Другой способ – использование простых формул тригонометрии. Например, из

$$2\text{Cos}(2x) = 2 - 4\text{Sin}^2(x), \quad \text{ТТК}_4(4\text{Sin}^2(x)) = \begin{matrix} 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

что $\underline{\text{ТТК}}_4(2\text{Cos}(2x)) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 & 0 \\ -2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$.

Далее, из $2\text{Sin}(3x) = 6\text{Sin}(x) - 8\text{Sin}^3(x)$,

$$\text{ТТК}_4(6\text{Sin}(x)) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \text{ТТК}_4(8\text{Sin}^3(x)) = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

следует, что $\underline{\text{ТТК}}_4(2\text{Sin}(3x)) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$. Наконец, из

$$2\text{Cos}(3x) = -6\text{Cos}(x) + 8\text{Cos}^3(x),$$

$$\text{ТТК}_4(6\text{Cos}(x)) = \begin{bmatrix} 3 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \text{ТТК}_4(8\text{Cos}^3(x)) = \begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

следует, что $\underline{\text{ТТК}}_4(2\text{Cos}(3x)) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$.

3. Математические операции с четверичными тригонометрическими треугольными кодами

В общем виде эти операции описаны в разделе 2.3. Здесь будут указаны лишь особенности четверичных кодов. Рассмотрим примеры.

Пример 3.1. Сдвиг оси ординат.

Проверим преобразованием ТТК справедливость равенства

$$F''(x) = F'(x + \pi/2)$$

где функции $F''(x)$, $F'(x)$ определены в примере 2.2.2. Из примера 2.9 находим $ТТК_4(F'(x))$. Применяя к нему формулу

$$\psi'_{mk}(x) = (-1)^m \psi_{k-m,k}(x)$$

получаем $ТТК_4(F''(x))$, приведенный в примере 3.3.

Пример 3.2. Умножение.

Найдем произведение $\Phi_1(x) = F(x) \cdot F'''(x)$, где коды функций $F(x)$, $F'''(x)$ определены в примере 2.9 – см. коды $ТК_4^0$ и $ТК_4^3$ соответственно. При этом

									0
								0	1
							-1	-2	1
					1	0	-1	1	1
				-1	1	0	0	1	1
			-1	-1	1	-2	1	1	1
		-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
$ТК_4(\Phi_1(x)) =$	0	-2	0	-1	0	1	0	0	0

Пример 3.3. Дифференцирование.

Проверим дифференцированием ТТК справедливость равенства

$$F'''(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

где функции $F'''(x)$, $F(x)$ определены в примере 2.2.2. Из примера 2.9 находим $ТТК_4(F(x))$. Производя вычисление по формуле (2.3.1), получаем

								0
								0
						0	0	0
						0	0	0
					0	0	0	0
			0	2	0	-4	0	2
		0	0	0	0	0	0	0
ТТК($F'''(x)$) =		0	6	0	2	0	8	0
	0	0	0	0	0	0	0	0

Преобразуя этот код в четверичный, находим ТТК₄($F'''(x)$), приведенный в примере 2.9.

4. Укорочение четверичных тригонометрических треугольных кодов

В общем виде укорочение четверичных тригонометрических треугольных кодов описано в разделе 2.6. Четверичные тригонометрические треугольные коды имеют особенность, состоящую в том, что функции вычисляются по упрощенным формулам и коды этих функций являются целыми. Действительно, из (2.6.6) следует:

$$\delta^i(n) = \sum_{v=0}^{n-1} [(-1)^{n+v+1} S^i(v, n) \cdot \psi_{0v}] \tag{4.1}$$

Но числа $S^i(v, n)$ являются целыми – см. теорему 2.1.1. Следовательно, коды $TK_4(\delta^i(n))$ также являются целыми – см. теорему 1.6.1. Таким образом, функции $\delta^i(n)$ имеют целые коды (а не смешанные, как это предполагалось для общего случая). Кроме того, коды $TK_4(\delta^i(n))$ имеют ровно $(n+1)$ значащих столбцов.

Смешанные коды $B_n^i = SK_4\left(\frac{\delta_n^i}{4}\right)$ функций $\frac{\delta_n^i}{4}$ могут быть получены (как и в общем случае) по формуле (2.6.4) при известных $\eta^i \gamma_n^i$. Но в данном случае эти смешанные коды имеют только одну строку в прямоугольной части кода (из-за того, что коды $TK(\delta^i(n))$ являются целыми). Все это существенно упрощающими выполнение приближенных операций с ТТК₄. Для иллюстрации в

табл. 4.1 приведены коды функций, $\gamma_n^0, \delta_n^0, \delta_n^0/4$ при $n < 5$. Для вычисления формула (2.6.4) была преобразована к виду

$$\delta_n^i = (-1)^{n+1} \gamma_n^i + \psi_{0n}.$$

Таблица 4.1.

n	$TK_4(\gamma_n^0)$	$TK_4(\delta_n^0)$	$B_n^0 = SK_4\left(\frac{\delta_n^0}{4}\right)$
0	1	0	0
1	1 -2 0	1 -2 1	1 ----- -2
2	1 -1 -2 1 0	0 1 -2 0 1	0 0 1 ----- -2 0
3	1 -2 1 -2 0 0 0	1 -2 1 -2 0 0 1	0 0 1 1 -2 -2 1 ----- -2 -1 -2 0
4	0 -1 1 1 0 -1 0 -2 1 0 0 0	0 1 -1 0 0 1 0 -2 0 0 0 1	0 0 0 1 -1 0 0 0 1 ----- -2 0 0 0

Как указывалось, укорочение сосчит в делении на параметр и округлении полученного смешанного кода, имеющего одну строку в прямоугольной части. Рассмотрим алгоритм округления такого смешанного кода, использующий указанные свойства кодов

$B_n^i = SK_4\left(\frac{\delta_n^i}{4}\right)$ и таблицы этих кодов. Этот алгоритм основан на

замене разряда π_{ov} этого смешанного кода SK_4^{old} на код $\pi_{ov} B_v^i$. Новое значение округляемого смешанного кода вычисляется как сумма смешанных кодов:

$$SK_4^{new} = SK_4^{old} + \pi_{ov} (B_v^i - \psi_{-1,v}). \tag{4.2}$$

При этом могут встретиться случаи сложения с кодом B_v^i и вычитания кодов B_v^i или $2B_v^i$, так как $\pi_{0v} \in \{-2, -1, 0, 1\}$.

Алгоритм 4.1. Округление кода $SK_4(f^i(x))$.

1. Присвоение значения $SK_4^{old} = SK_4(f^i(x))$.
2. Последовательный поиск старшего значащего разряда π_{0v} в младшей (-1)-строке округляемого кода SK_4^{old} . Если значащий разряд при $v > 0$ есть, то выполняется переход к следующему пункту. В противном случае выполняется переход к пункту 5.
3. Стирание разряда π_{0v} и алгебраическое сложение результата с кодом $\pi_{0v}B_v^i$, то есть реализация формулы (4.2).
4. Присвоение значения $SK_4^{old} = SK_4^{new}$ и переход к пункту 2.
5. Прекращение счета, поскольку SK_4^{old} не имеет (-1)-строки, то есть является треугольным кодом $SK_4(f_0^i(x))$, где $f_0^i(x)$ - округленная функция $f^i(x)$. При этом погрешность округления $\Delta = \Delta_n^i | \pi_{0v} |_{\max} / R$. Учитывая что $\Delta_n^i = 2$ и $| \pi_{0v} |_{\max} = 2$, находим $\Delta_{\max} = 1$

Пример 4.1. Укорочение.

Пусть $R=4$, $\alpha \in \{-2, -1, 0, 1\}$ и известен код, который необходимо укоротить на один столбец:

					0
				-1	-1
			1	1	-1
$TK_4(F^0(x)) =$		-2	0	-2	0
	1	0	-1	-2	0

После деления кода данной функции на параметр 4 получаем смешанный код функции $f^0(x) = F^0(x)/4$:

					0
				-1	0
$SK_4(f^0(x)) =$		1	-2	0	0
	-2	0	0	0	0
	1	-2	0	-2	0

После округления этого кода, выполненного в примере 4.2, получаем

$$TK_4(f_0^0(x)) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & & -1 \\ \hline & 1 & -1 \\ \hline 1 & 0 & -2 \\ \hline \end{array}$$

Пример 4.2. Округление.

Округлим код $SK_4(f^0(x))$, полученный в примере 4.1, по алгоритму 4.1.

1. Присваиваем $SK_4^{old} = SK_4(f^0(x))$.

2. Находим $\pi_{03} = -2$.

3. Выбираем из табл. 4.1 код B_3^0 и вычисляем код $\pi_{03}B_3^0 = -2B_3^0$:

$$B_3^0 = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & 0 & 0 & 1 \\ \hline 1 & -2 & -2 & 1 \\ \hline -2 & -1 & -2 & 0 \\ \hline \end{array} \quad -2B_3^0 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & 0 & 1 \\ \hline -1 & 1 & -2 \\ \hline 0 & -2 & 0 \\ \hline \end{array}$$

4. Складываем полученный код с кодом SK_4^{old} , в котором стерт разряд π_{03} , т.е. вычисляем код SK_4^{new} :

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline & & -1 \\ \hline & 1 & -2 \\ \hline -2 & 0 & 0 \\ \hline 1 & -2 & 0 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|c|} \hline & & 0 \\ \hline & 0 & 1 \\ \hline -1 & 1 & -2 \\ \hline 0 & -2 & 0 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & & -1 \\ \hline & 0 & -1 \\ \hline 1 & 0 & -2 \\ \hline 1 & 0 & 0 \\ \hline \end{array}$$

Это эквивалентно тому, что к функции $f^0(x)$, представленной кодом SK_4^{old} , прибавлена функция $(\delta_3^n - \psi_{0n})/4 = (2\gamma_3^0)/4$.

5. Присваиваем $SK_4^{old} = SK_4^{new}$.

6. Обнаруживая, что $\pi_{0v} = 0$ при $v > 0$, прекращаем счет. Это эквивалентно тому, что к функции, представленной кодом SK_4^{new} , прибавлена (-1). В результате получаем

$$TK_4(f_0^0(x)) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & & -1 \\ \hline & 1 & -1 \\ \hline 1 & 0 & -2 \\ \hline \end{array}$$

Таким образом, $4[f^0(x) - f_0^0(x)] = [2\gamma_3^0 - 1]$.

Пример 4.3. Оценка погрешности округления.

Для оценки погрешности округления в примере 4.2 заметим, что по существу вычислений $4[f^0(x) - f_0^0(x)] = [2\gamma_3^0 - 1]$. Из примера 2.1.2 следует, что $[2\gamma_3^0 - 1] = [-1 - 4\text{Cos}(6x)]$. Таким образом, абсолютная погрешность вычислений является функцией

$$[f^0(x) - f_0^0(x)] = -0.25 - \text{Cos}(6x),$$

то есть абсолютная погрешность коэффициентов тригонометрического ряда $\Delta = 1$. Для определения относительной погрешности округления кода в примере 4.1 декодируем результат округления $\text{TK}_4(f_0^0(x))$, как показано в примере 2.5а, и получаем функцию

$$f_0^0(x) = (-11 + 3\psi_{01} - 2\psi_{02})$$

Далее, преобразуем эту функцию, как показано в примере 2.1.3а, и получаем

$$f_0^0(x) = -17 - 10\text{Cos}(2x) - 4\text{Cos}(4x).$$

Далее находим:

$$f^0(x) = -17.25 - 10\text{Cos}(2x) - 4\text{Cos}(4x) - \text{Cos}(6x).$$

Таким образом, относительная погрешность округления

$$\Delta / \left| D_{\omega}^0 \right|_{\max} = \Delta / \left| D_2^0 \right|_{\max} = 1/17 \approx 6\%.$$

5. Погрешность кодирования четверичных тригонометрических треугольных кодов

Выше (в разделе 2.5) было показано, что для оценки максимальной относительной погрешности приближенных вычислений необходимо построить функцию M_{ω} максимально возможного модуля коэффициента D_{ω} . В качестве иллюстрации рассмотрим построение кривой для кодов $\text{ТТК}(F(x))$ – см. свойство 2.2.3. Напомним, что числа $p(m, k, \omega)$ и $q(m, k, \omega)$ определены в теоремах 2.5.1 и 2.5.2 соответственно. Обозначим:

$\Pi_1(k, \omega)$ - сумма всех положительных чисел $p(m, k, \omega)$ при постоянных k и ω ;

$\Pi_2(k, \omega)$ - сумма всех отрицательных чисел $p(m, k, \omega)$ при постоянных k и ω ;

$Q_1(k, \omega)$ - сумма всех положительных чисел $q(m, k, \omega)$ при постоянных k и ω ;

$Q_2(k, \omega)$ - сумма всех отрицательных чисел $q(m, k, \omega)$ при постоянных k и ω ;

Числа $\Pi_1(k, \omega)$ и $\Pi_2(k, \omega)$ приведены в табл. 2.5.1 раздела 2.5. Из формулы (2.5.8) при $R=4$ находим:

$$Q(k, \omega) = \begin{cases} \Pi(k, \omega) & \text{if } \omega = 0, \\ 2\Pi(k, \omega) & \text{if } \omega > 0. \end{cases} \quad (5.1)$$

Далее при $\alpha_{mk} \in \{-2, -1, 0, 1\}$ имеем:

$$\left[\sum_{m=0}^k (\alpha_{mk} \cdot q(m, k, \omega)) \right]_{\max} = Q_1(k, \omega) + 2Q_2(k, \omega),$$

$$\left[\sum_{m=0}^k (\alpha_{mk} \cdot q(m, k, \omega)) \right]_{\min} = 2Q_1(k, \omega) - Q_2(k, \omega).$$

Отсюда, учитывая (2.5.10), получаем:

$$|D_\omega > 0|_{\max} = \sum_{k=\omega}^n [Q_1(k, \omega) + 2Q_2(k, \omega)], \quad (5.2)$$

$$|D_\omega < 0|_{\max} = \sum_{k=\omega}^n [2Q_1(k, \omega) - Q_2(k, \omega)]. \quad (5.3)$$

Обозначим:

$$\mu_1(\omega, n) = \sum_{k=\omega}^n [\Pi_1(k, \omega)], \quad (5.4)$$

$$\mu_2(\omega, n) = \sum_{k=\omega}^n [\Pi_2(k, \omega)]. \quad (5.5)$$

Числа $\mu_1(\omega, n)$, $\mu_2(\omega, n)$ при $\omega \leq 5$, $n \leq 5$ приведены в табл. 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1. Числа $\mu_1(\omega, n)$

$n \setminus \omega$	0	1	2	3	4	5
0	1					
1	5	1				
2	19	5	2			
3	67	21	14	2		
4	233	81	70	14	3	
5	817	307	310	75	27	3

Таблица 5.2. Числа $\mu_2(\omega, n)$

$n \setminus \omega$	0	1	2	3	4	5
0	0					
1	0	-1				
2	0	-5	-1			
3	0	-21	-5	-2		
4	0	-81	-17	-14	-2	
5	0	-307	-49	-75	-14	-3

Имея в виду формулу (5.3), а также то, что $p(m, k, \omega=0) > 0$ и, следовательно, $\Pi_2(k, \omega=0) = 0$, находим:

$$|D_\omega > 0|_{\max} = \begin{cases} \mu_1(\omega, n) & \text{if } \omega = 0, \\ (2\mu_1(\omega, n) - 4\mu_2(\omega, n)) & \text{if } \omega > 0, \end{cases} \quad (5.6)$$

$$|D_\omega < 0|_{\max} = \begin{cases} 2\mu_1(\omega, n) & \text{if } \omega = 0, \\ (4\mu_1(\omega, n) - 2\mu_2(\omega, n)) & \text{if } \omega > 0, \end{cases} \quad (5.7)$$

Числа (5.6) и (5.7) при $\omega \leq 5, n \leq 5$ приведены в табл. 5.3 и 5.4. В этих же таблицах приведены аналогичные величины, подсчитанные для n -разрядного четверичного кода числа по формулам:

$$|D > 0|_{\max} = \sum_{k=0}^n 4^k = \frac{1}{3}(4^{n+1} - 1),$$

$$|D < 0|_{\max} = 2 \sum_{k=0}^n 4^k = \frac{2}{3}(4^{n+1} - 1).$$

Из табл. 5.3 и 5.4 видно, что $M_\omega = |D_\omega < 0|_{\max}$. Зависимости $\lg(M_\omega^0)$ от ω при различных значениях n приведены на рис. 5.1.

Таблица 5.3. Числа $|D_\omega > 0|_{\max}$.

$n \setminus \omega$	0	1	2	3	4	5	$ D > 0 _{\max}$
0	1						1
1	5	6					5
2	19	30	8				21
3	67	126	48	12			85
4	233	1842	208	84	14		341
5	817	6930	816	450	110	18	1365

Таблица 5.4. Числа $|D_\omega < 0|_{\max}$.

$n \setminus \omega$	0	1	2	3	4	5	$ D < 0 _{\max}$
0	2						2
1	10	6					10
2	38	30	10				42
3	134	126	66	12			170
4	466	486	314	84	16		682
5	1634	1842	1338	450	136	18	2730

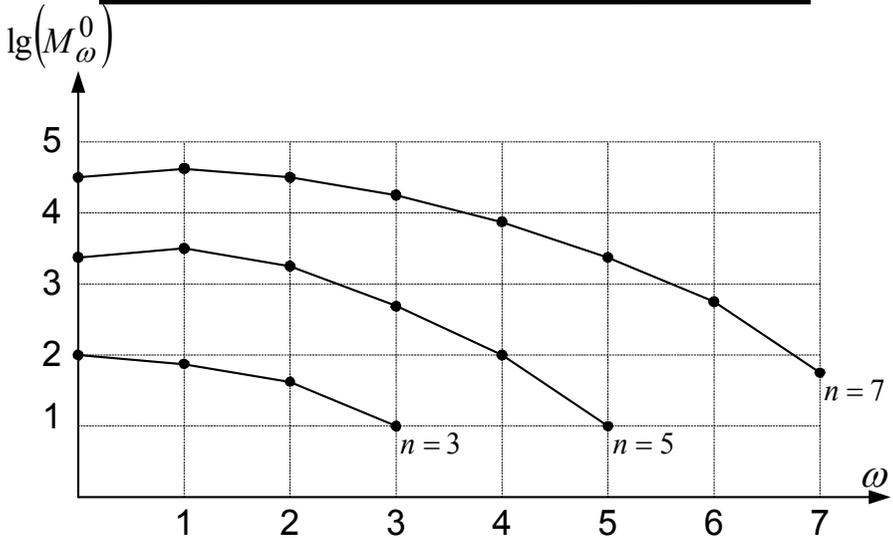


Рис. 5.1. Зависимость M_ω^0 от ω .

На рис. 5.2 изображены зависимости $\lg(M_\omega^0)$ от n при различных значениях ω . Там же для сравнения приведена зависимость максимального модуля действительного числа в системе кодирования $\langle \rho = 4, A_4 = \{-2, -1, 0, 1\} \rangle$ (в этом случае индекс ω теряет смысл).

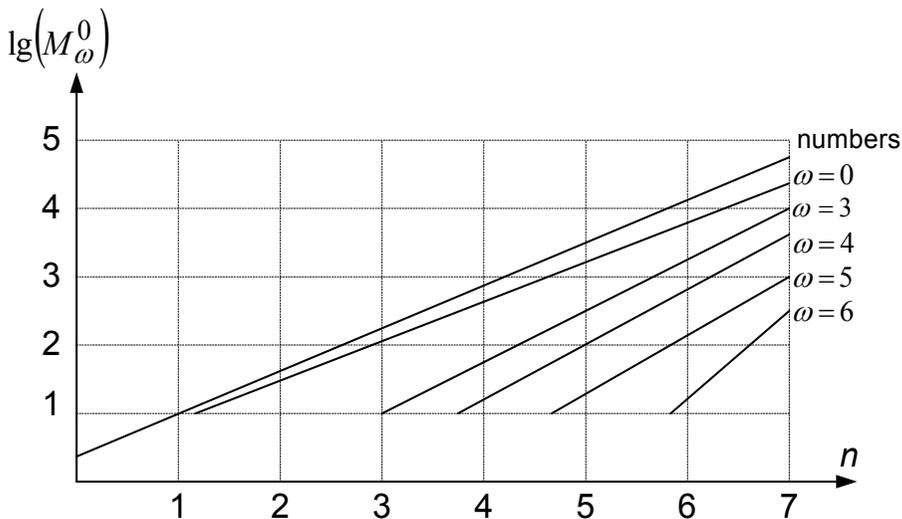


Рис. 5.2. Зависимость M_ω^0 от n .

Литература

1. Хмельник С.И., Кодирование функций. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2007, вып. 6, printed in USA, Lulu Inc., ID 1146081, ISBN 978-1-4303-0843-0.

Серия: МЕДИЦИНА

Семёнов С.Н., Рус Р.

**Альтернативный механизм
опьянения под действием алкоголя и
других органических растворителей.
Рассмотрение с позиций фононной
биологии.****Аннотация**

В рамках “Квантово-механической модели строения и функционирования биологических мембран” рассмотрено действие алкоголя и ряда других, в основном чужеродных для организма, «небольших» молекул влияющих на структуру углеводородной части биомембран. Предложен новый не традиционный механизм опьянения под действием алкоголя и других органических «растворителей». Кратко обсуждается квантово-фононный механизм передачи информации в живых системах (включая нейроны) и возможные причины его нарушения. Наши исследования показали, что алкоголь, различные органические «растворители», наркотики, звук могут дестабилизировать липидную структуру клеточных мембран и приводить к изменению их физических характеристик: сжимаемости и латерального поверхностного давления (свободной энергии). На этой основе получены несколько конкретных рекомендаций по уменьшению последствий употребления алкоголя.

Психотропные средства, включая алкоголь, были известны многим древним цивилизациям: шумерам, древним египтянам,... Сейчас изучением действия психотропных средств на организм занимается множество исследовательских групп, созданы специальные национальные и международные институты, общественные организации, разрабатывающие различные методики и средства борьбы с этим заболеванием, написано множество работ,

начиная с древних времён, включая Библию, Коран, и до наших дней.

Однако, рост числа различных наркоманов в мире, не смотря на увеличение числа в разнообразия методов лечения, вызывает сомнение в эффективности традиционных подходов в выяснении молекулярного механизма действия этих средств, что отмечается и другими исследователями [1, 2], на клетки, и в первую очередь, на клеточные мембраны.

Материалы данной работы базируются на результатах и базовых выводах, кратко изложенных в работе «Молекулярно-механическая модель строения и функционирования биологических мембран» (далее – **Модель**) [3, 4], позволяя взглянуть на ряд хорошо известных фактов и явлений с нетрадиционной точки зрения. Если в данной работе какие-то результаты приведены без литературных ссылок, то это означает, что они даны при описании **Модели**.

В процессе создания **Модели** получено, что клеточные мембраны являются одновременно классическими и квантовыми физическими системами, и квантами, передающими в них взаимодействия, служат фононы.

По сути, описание **Модели** является **введением в квантовую фононную биологию**. Основными действующими частицами или **квантами «квантовой» биологии являются фононы**.

Приведённые в **Модели** результаты говорят о том, что воздействие звука на клетки изменяет свойства клеточных мембран, как целой системы, так и её отдельных компонент, в частности, мембранных белков. При таком воздействии звук необходимо рассматривать не только как волны, но и как квантовые квазичастицы **фононы (бозоны** или Бозе-частицы) [5]. Мир вокруг нас во многом выглядит классическим, хотя фундаментальные законы физики основаны на квантовой механики, следовательно, последняя может маскироваться явлениями классической физики, что, и проявляется в биомембранах. О важности квантовых явлений в биологии говорил ещё Нильс Бор, и время подтвердило актуальность его слов [6 – 9], при этом одни и те же системы – биомембраны – проявляют как классические, так и квантовые свойства, что тоже рассмотрено в предложенной **Модели**.

Для тех, кто не занимается постоянно квантовой физикой надо подчеркнуть, что главное отличие фононов от привычного всем света, для которого первоначально и строилась квантовая механика, состоит в том, что они обладают целыми спинами. А это означает,

что одновременно и/или последовательно с мишенью (в данном случае – объектом биомембраны) может взаимодействовать несколько фононов. Строго говоря, на одном энергетическом уровне системы может находиться одновременно не лимитированное число таких квантовых частиц, в то время как для Фермионов, к которым относятся фотоны, это число не может превышать 2. Другими словами, к примеру, поглощая разное число фононов, мембранный белок может переходить в разные конечные или промежуточные состояния при прочих равных условиях, т.е. в зависимости от полученного сигнала мембранный белок может функционировать по-разному.

Учитывая особенности и уникальность биологических мембранных систем, следует постоянно иметь в виду, что квантовые явления могут влиять на саму же систему, изменяя её классические параметры и наоборот.

Обнаруженные квантово-фононные явления позволяют легко описать множество различных биологических процессов, при этом становится естественным и понятным ряд структур различных клеток и основы их функционирования. В частности, это относится к нейронам и механизму передачи нервного импульса, а это необходимо для понимания физических аспектов молекулярного механизма опьянения. Влияние звука на клеточные молекулярные структуры и, в частности, на нейроны подтверждено уже рядом независимых исследований [10, 11]. Однако надо учитывать, что звук может оказывать двойное действие на биологические объекты. С одной стороны, на макроуровне, мы сталкиваемся с проявлением волновых свойств звука, что справедливо для относительно высоких его интенсивностей, когда звуковая волна производит по мере своего распространения сжатие и разрежение в среде своего распространения. Звуковая волна, проходя через клетку и, соответственно, через её мембрану, будет вызывать изменение плотности упаковки молекул. Это, в свою очередь вызывает изменение поверхностного давления мембраны (её свободной энергии) и её эластичности, локально меня условия функционирования мембранных белков и, соответственно может менять их активность, что и может регистрироваться в экспериментах [10]. Более подробно этот вопрос рассмотрен при описании **Модели**. Как пример здесь можно привести общеизвестный факт, что музыка (особенно ритм) оказывает заметное воздействие на эмоциональное состояние человека. Кроме

того, известно что, часть звуков вызывает резкую реакцию организма, и не только у человека. Их характерная черта – это резкие и/или громкие звуки – громкий треск, гром, выстрел, удар – звуки, которые в повседневной жизни связаны с реальной и/или потенциальной опасностью. Чем-то они близки к звукам ударных, в частности барабанов, бубнов – инструментов, которые практически всегда используются в «ритуальной музыке». Более подробно этот вопрос рассмотрен в другой работе [12].

Предложенный в **Модели** фононный механизм передачи внутриклеточной и, возможно, межклеточной информации позволяет непротиворечиво объяснять множество наблюдаемых явлений, при этом избежать проблем, возникающих при электрической природе самого нервного импульса [13]. В его рамках становится логически понятна и объяснима структура нейронов.

Предложенный **Моделью** механизм можно кратко описать следующим образом: Внутренний объём нейрона служит для обеспечения жизнедеятельности самой клетки. Там происходит внутриклеточный транспорт тех или иных компонентов, синтез, метаболизм белков и иных молекул, необходимых для функционирования клетки как живой системы. А главное, обеспечивает функционирование клеточной «информационной» молекулярной мембранной системы, поддержание её работоспособности и постоянной готовности для передачи сигналов, т.к. пути передачи информации и транспорта веществ, необходимых клетке, пространственно разделены между собой. (Упрощенное описание.)

В любом учебнике по проблемам передачи информации можно прочесть, что для передачи сигнала необходимо периодически его усиливать и корректировать возможные его искажения. Поэтому нужны промежуточные усилительные станции, которые могут, при необходимости ещё производить, коммутацию и/или трансформацию (перекодировку) поступивших на них сигналов. Эти станции должны быть в постоянной готовности и быть обеспечены независимыми источниками энергиями. В нашем случае мы имеем дело с «молекулярными усилителями», которые должны быть периодически расположены по длине нейтрона (аксона). Строение аксона удовлетворяет всем этим требованиям. Видим регулярную структуру, по длине которой расположены одинаковые структуры – перехваты Равнье. Тогда получаем информационный сигнал и сопровождающий его скачок потенциала, возникающий в

этих участках – хорошо известный всем потенциал действия, сопровождающий распространения нервного сигнала по аксону, и вызванный работой молекулярных «усилителей». Естественно для работы молекулярного фононного усилителя надо использовать источник энергии, который всегда «под руками» – источник электрической энергии, всегда существующий в биологических клетках, как трансмембранная разность потенциала. Трансмембранный потенциал существует по всей поверхности клеточной мембраны и может быть использован в любой её точке и в любое время. При этом не так важно, где расположен молекулярный «электрический генератор» и скорость его работы или его мощность. Медленную скорость работы «генератора» можно компенсировать их числом. Единственное, что желательно сделать – изолировать поверхность мембраны, чтобы компенсировать её самопроизвольную разрядку. Миелиновая оболочка аксонов именно так и выглядит и обладает всеми необходимыми свойствами. Иными словами, в этом случае мы имеем всё необходимое и достаточное для функционирования молекулярной квантово-фононной мембранной информационной цепи.

Очевидно, что разрушить молекулярную систему можно несколькими способами: дестабилизацией путей передачи сигналов и/или нарушением работы молекулярных «усилителей». Достаточно нарушить работу одного «молекулярного усилителя» на линии, что бы вся данная линия перестала работать. Её нужно восстанавливать, или искать обходные пути передачи информации. Естественно, что одновременное нарушение путей передачи сигналов и работы молекулярных усилителей, к которым можно ещё добавить источники сигналов и конечные приёмники этих сигналов, будет достигать свой цели – разрушение всей информационной системы клетки – быстрее и иметь более разнообразный характер. Иными словами, очевидно, что чем больше узлов и частей клеточной информационной системы мы нарушаем, то тем больше дестабилизируем работу всей этой системы.

По-видимому, некоторые наркотики – опиаты, кокаин и иные – действуют специфически на белковые части «молекулярных усилителей», блокируя активность отдельных участков мембранных белков. В данной работе ограничимся только неспецифическими соединениями, способными «растворяться» в липидных бислойных районах биомембран. Одним из наиболее известных соединений

такого рода является алкоголь (C_2H_5OH), с действием которого сталкивается широкий круг людей, причём не только специалисты, изучающие его сугубо с профессиональной точки зрения.

Уже ранее, кратко предсказано, [3, 4] что алкоголь, местные анестетики и ряд других органических растворителей разжижают внутреннюю углеводородную область липидного бислоя, действуя как дефектообразующие агенты. Алкоголь и иные растворимые в липиде молекулы могут уходить с поверхности мембраны в её центр и, возможно, накапливаться там, т.к. структура хвостовых участков углеводородных жирнокислотных цепей молекул липида ближе к структуре растительных масел. Т.е. может наблюдаться эффект «вымораживания» чужеродных молекул из структурированной области липидного бислоя. Аналогичный процесс экспериментально обнаружен для фазовых переходов липида жидкость-гель [14]. Естественно, что чем больше дефектов мембране, то тем больше её структура и физические параметры отличаются от исходных, обеспечивающих оптимальное функционирование всевозможных мембранных белковых систем.

Разумно полагать, что чем лучше растворимость молекул в липиде мембран, то, соответственно, при прочих равных, они смогут образовать большее количество дефектов и сильнее повлиять на параметры мембраны, тем выше будет и активность этих соединений. Т.е. получено известное ранее правило Мейера-Овертона (Meyer-Overton rule) [14].

Как следует из **Модели**, появление инородных молекул в мембране меняет свободную энергию её поверхности, т.е. силу латерального механического сжатия (поверхностного давления), действующую на молекулы в мембране, и меняет сжимаемость самой мембраны. Иными словами, меняется добавочная свободная энергия мембранных белков, получаемая ими со стороны окружающих их молекул, что совпадает с выводами, полученными другими исследователями [15]. Также не противоречит **Модели** предположение о стерических взаимодействиях (взаимном пространственном соответствии) между соседними компонентами мембраны, т.к. они взаимно давят друг на друга [15, 16]. Таким образом, алкоголь и иные растворители, меняя свойства липидной матрицы биологических мембран, действуют, тем самым, на мембранные белки, но не прямо, а опосредованно, нарушая при этом функционирование мембранных белков, препятствуя их активации и/или возвращению (релаксации) в исходное состояние

после выполнения ими элементарного акта своего функционирования. Нужно отметить, что изменение интегральных физических параметров липидной матрицы – поверхностного давления (свободной энергии поверхности мембраны) и её сжимаемости влияет на работу различных белковых систем, расположенных в этой мембране, в том числе и на ионные каналы [14]. При этом так же может нарушаться процесс обмена фононными сигналами между различными белковыми молекулами внутри биологической мембраны. Это не противоречит сложившимся представлениям [17].

Сделанный выше вывод об изменении свободной энергии мембраны и её сжимаемости, полученный на основе **Модели**, по своей сути, совпадает с выводами, полученными другими исследователями при термодинамическом изучении действия анестетиков на липидными мембраны [14]. Однако там был проведен анализ полученных результатов в рамках классической физики, без учёта квантовых явлений.

Нужно ещё раз отметить, что алкоголь, органические растворители, анестетики и иные подобные молекул разной природы, включая и газы, используемые для анестезии (или опьянения), в рамках предложенной **Модели** обладают принципиально сходным молекулярным механизмом действия. Механизм действия зависит от их растворимости в мембранах, пространственной структуры, а не только просто от химического строения исследованных соединений. Именно поэтому и проводится данное описание альтернативного механизма для этого достаточно широкого класса соединений. Конечно, между ними могут быть и отличия, но эти отличия не принципиальны, что также совпадает с выводами, полученными при независимых исследованиях [14].

Вообще говоря, упомянутые выше соединения, всегда ухудшают **условия передачи сигнала вдоль биологических мембран**. Это обусловлено тем, что их внедрение в биомембрану **нарушает квазикристаллическую структуру липидного бислоя, необходимую для нормальной передачи фононного сигнала** [3, 4]. Причём такое нарушение структуры пропорционально количеству дефектов в структуре квазикристалла, что показано в ставших уже классическими и вошедших в учебники работах по физике твёрдого тела. При этом нарушаются и/или меняются условия функционирования различных мембранных белковых

систем. Иными словами, рассматриваемые соединения ухудшают работу как различных мембранных белковых систем, включая «молекулярные усилители» в мембранах нервных клеток, так и путей передачи самих фононных сигналов, которыми могут обмениваться для «координации своей деятельности» пространственно удалённые мембранные белки. Возможно, что «звуковой» обмен сигналами внутри клетки и между клетками может иметь более универсальный характер [11, 13].

Тем или иным способом алкоголь и другие рассматриваемые соединения попали в организм, в кровь, которая разнесла их далее, к различным органам и тканям. Естественно, что в первую очередь к тем органам, которые лучше снабжаются кровью. По мере потребления алкоголя и увеличения его содержания в организме передача сигналов всё ухудшается и ухудшается. Общеизвестный факт что реакция, речь и координация движений становится всё хуже и хуже, мысли начинают путаться, поведение меняется и т.д. Для тех счастливиц, которые никогда в жизни с этим не сталкивались, были проведены множество специальных исследований, полностью подтверждающих описанные выше признаки опьянения. При этом показали, что практически любой орган в организме под действием алкоголя начинает работать хуже.

Мембранные белки работают всё хуже, а некоторые может, и совсем перестают функционировать и/или функционируют «неправильно». Передача сигналов всё ухудшается и ухудшается, до тех пор, пока не сравняется с температурным шумом, который существует всегда, так как существует температура. Если потом, с трудом повысится ещё концентрация алкоголя в организме и всё — он отключится. Сигналы больше не передаются! Они сравнимы с тепловым шумом самой мембраны. Если заменить «алкоголь» на «наркотик или психотропное соединение» то на клеточном уровне в молекулярном механизме действия данных веществ абсолютно ничего не изменится.

Считать состояние «отключения» сном нельзя. Это именно отключение, отключение внутренних связей в организме на уровне клеток. Грубо, организм становится не единым организмом, состоящим из органов, уже не действующих согласованно друг с другом. Более того, уже и сами органы нельзя рассматривать, как единое целое, действующее согласованно для реализации заложенных в нём природой функций. Данное состояние можно рассматривать как анархию на клеточном уровне, когда клетки

начинают работать не согласованно, а сами по себе. Получаем как бы сборище «одноклеточных организмов», но в оболочке внешне целого организма. Но платой за специализацию клеток в многоклеточном организме является их гораздо меньшая живучесть по сравнению с обычными одноклеточными организмами. Самым простым доказательством этого факта служить специальные условия, необходимые для поддержания культур клеток. Так что к алкоголикам должна цепляться всякие инфекционные заболевания, которые обычные здоровые люди просто не замечают. При этом алкоголь и прочие соединения должны действовать на иммунную систему, нарушая её работу, что также не идёт на пользу владельцу этой системы.

При наборе некоторого критического времени таких отключений мы увидим и реально видим, что происходит необратимое разрушение отдельных органов и/или их деградация. Часть клеток становится «самостоятельными», потеряв связь с организмом. Реально, можно сказать, что происходит частичное самоубийство, плавно переходящее у некоторых в полное. При этом действие рассматриваемых соединений (алкоголя и прочих органических «растворителей») приводит к тому, что клетка воспринимает их присутствие, как действие повышенной температуры, которая также вызывает возникновение нарушений структуры квазикристаллической матрицы биомембраны. Это уже тепловые дефекты, возникающие за счет теплового движения молекул. Что, как показано для микроорганизмов [3, 4] запускает клеточные адаптационные механизмы. Состояние опьянения организм воспринимает, как воздействие повышенной температуры. Соответственно, что бы его компенсировать, восстановить оптимальные условия для функционирования мембранных белков, клетка меняет жирно-кислотный состав биомембраны. Жирнокислотный состав клеточных липидов модифицируется таким образом, что бы компенсировать «кажущееся» повышение окружающей температуры. Но это повышение температуры только «кажущееся», реально организм живёт в тех же условиях, что жил и раньше, но воспринимает эти условия как ненормальные. Это характерно для случая систематического употребления рассматриваемых соединений. Поэтому, в частности, с похмелья у алкоголиков и наблюдается дрожь (реакция организма на «замерзание»: организму холодно) – субъективная реакция организма на отсутствие растворителей, но не в крови, а

непосредственно в клеточных мембранах. Кровь служит только транспортным средством, поставляющим растворители в мембраны различных клеток организма. Поэтому, при наступившем отключении в результате употребления растворителей, последнее, что помнит ещё работающее сознание, это то, что в организме «выработано излишнее количество тепла». Следовательно, нужно уменьшить его выработку и усилить охлаждение организма – усилить ток охлаждающей жидкости – крови – к внешней поверхности организма – его коже. Однако, максимальный охлаждающий эффект, как следует из физики, достигается при использовании «радиаторов» (систем со специально созданной большой поверхностью для теплообмена охладителя с окружающей средой). Такими идеальными радиаторами в организме являются лёгкие, у некоторых животных ещё и язык, но это не исчерпывающий список. Кроме того, для усиления охлаждения самого «радиатора» нужно испарение воды с его поверхности, что в лёгких не проблема. Этот эффект используют многие животные для охлаждения своего организма. Таким образом, организм человека в состоянии алкогольного отключения, теряет много жидкости через испарение в лёгких. Отсюда, после такого состояния алкогольного «отключения», особенно после хорошей дозы, наблюдается сильная жажда, связанная с потерей организмом жидкости, идущей на его охлаждение при «кажущемся перегреве». (Это объясняет и такой общеизвестный факт, как запотевание окон в автомобиле, где находится человек в состоянии алкогольного опьянения.) А последующие сигналы о том, что уже стало холодно, не воспринимаются – просто не доходят до своего адресата в мозгу. Так при опьянении алкоголем и/или растворителями и замерзают, даже если и не холодно, что в иных условиях организм переносит достаточно легко.

Последующая стадия после приёма алкоголя будет заключаться в ощущении холода. Организм потратил энергию на своё охлаждение. Теперь ему нужна добавочная энергия. Происходит сжатие сосудов, что бы уменьшить охлаждение организма, у алкоголиков наблюдается дрожь – организм пытается согреться. Это опять расход энергии. Но энергия требуется и на детоксикацию организма. Т.е. для приведения организма в норму ему нужна энергия.

При больших дозах алкоголя и иных подобных инородных веществ, часть из них может накапливаться в центральной, «жидкой»

липидной бислоистой области биомембран. Можно сказать, что там существует локальный энергетический минимум для растворимых в масле молекул. Они уже относительно слабо влияют на свойства липидной матрицы. Но, однако, при уменьшении их концентрации во внешнем, омывающем клетки растворе, эти чужеродные молекулы будут вымываться из мембраны, проходя через приповерхностные мембранные слои, опять меняя их структуру. Внешне это будет проявляться как повторное алкогольное, токсическое или наркотическое опьянение организма, происходящее без «видимых» причин.

При длительном воздействии рассмотренных соединений – алкоголизм, токсикомания – клетки вынуждены менять свойства своих мембран для оптимизации работы своих мембранных белков. Такие изменения происходят – меняется жирнокислотный состав клеточных мембран. Мембраны адаптируются существовать при постоянном присутствии чужеродных растворителей – при кажущейся повышенной температуре. Происходит изменение липидного состава клеточных мембран, уменьшается доля ненасыщенных жирнокислотных остатков. Тогда абстинентный синдром у токсикоманов и/или алкоголиков будет определяться тем, что в отсутствии алкоголя (токсинов и т.д.) организму холодно, сигналы по мембранам плохо передаются, функции белковых систем нарушены. Руки дрожат, общая вялость, как минимум. Нужно восстановить утраченные физические свойства мембран в организме – нужна новая доза. На данный момент в рамках **Модели** ещё не возможно сказать, может ли организм при этом умереть не получив необходимого алкоголя, но то, что ему плохо – однозначно.

Способность клетки изменять свой жирнокислотный состав ограничена тем, что изменение доли ненасыщенных липидов в мембране за пределы некоторого диапазона делает биомембрану нестабильной. Наличие или отсутствие алкогольдегидрогеназы ещё может ни о чём не говорить. Различия в активностях этого фермента у разных рас и народов не превышают 10 раз. Эта величина примерно равна $\exp 2$ – примерно минимальное различие, которое может быть, что бы энергия активации процесса позволяла ему не происходить самопроизвольно из-за температурного шума т.е. температурных флуктуаций плотности упаковки липида в биологических мембранах.

Отсюда ясно, что при граничных экстремальных температурах: север и жаркая пустыня, там, где организм работает на грани своих адаптационных возможностей – растворители – смерть. Возможно, поэтому северные народы практически мгновенно спиваются, а жителям пустынь Коран запрещает употреблять спиртное. Это подтверждается и очевидным фактом, что в жару пьянеют гораздо быстрее, а при холоде – замерзают. Может и есть у этих жителей механизм адаптации к алкоголю, вот только времени и возможности запустить его – в процессе эволюции не было! Не так уж и важно из-за чего жирнокислотный состав биологических мембран выходит за допустимые пределы – от алкоголя, или от попытки адаптироваться к нему. Так что в этом случае наличие или отсутствие нужных ферментов не играет существенной роли.

Те же самые эффекты наблюдаются уже при меньшем воздействии алкоголя.

Хотя диетология не является областью физики и химии, понимая актуальность рассмотренной темы, решено дать некоторые рекомендации по преодолению последствий потребления алкоголя и борьбы с проявлениями токсикомании.

Выше было отмечено, что для приведения организма в норму ему требуется энергия. Следовательно, чтобы облегчить восстановление организма после потребления алкоголя (и иных упомянутых выше соединений) эту энергию нужно поставить организму и желательно в традиционной форме. В пользу этого есть и ещё один аргумент: слишком много химии, включая различные лекарства, мы потребляем. Сначала потребляем, а потом обнаруживаем множество побочных явлений такого потребления. Поэтому желательно уже изначально исключить возможность возникновения побочных эффектов – использовать то, что различные организмы постоянно используют для поддержания своей жизнедеятельности.

Самым распространённым соединением в человеке и животных является вода. Потом, подавляющее большинство живых организмов дышит кислородом, который нужен для выработки энергии организмами. А энергия необходима для борьбы с последствиями приёма алкоголя, токсикомании и, возможно, для борьбы с последствиями других отравлений. Поэтому естественно, что уже длительное время испытывались эти два соединения для решения поставленной в данной работе цели – облегчение выхода

из состояния алкогольного и/или токсического опьянения (отравления) [18].

Мы исходили из того, что применяемая традиционная методика насыщения воды кислородом под давлением не является самой оптимальной, так как после открывания бутылки или банки с водой происходит обильное выделение газа, сопровождающееся образованием пузырьков O_2 . Естественно, это заметно снижает концентрацию кислорода в воде и, соответственно, его эффективность. Очевидно, что при получении такой воды затрачивается избыточная энергия, приводящая в тепловому загрязнению окружающей среды. Для повышения экономичности процесса и уменьшения его влияния на экологию мы решили найти иную, более эффективную методику получения обогащённой кислородом воды. Для этих целей удалось с помощью специальных технологий увеличить реальную растворимость кислорода в воде по сравнению с его обычной величиной без использования традиционного процесса сатурации.

Поставленная задача была достигнута путём получения гексагональной кристаллической модификации структуры воды и последующего её насыщения O_2 без использования высокого давления. При этом содержание растворённого в такой воде O_2 в несколько раз было больше по сравнению с обычной питьевой водой. Необходимо подчеркнуть, что достигалось именно повышение растворимости отдельных молекул кислорода, располагающихся в центрах гексагональной решётки воды.

Вода такого свойства уже прошла необходимую регистрацию в Евро Союзе и разрешена к использованию в качестве пищевого продукта [19].

Проведённые исследования подтвердили правильность сделанных нами предположений о молекулярном механизме опьянения и пути выхода из него. Кроме того, они указывают, что предложенная обогащённая O_2 вода может использоваться ещё и как профилактическое средство для снижения последствий опьянения и отравления жирорастворимыми растворителями.

Систематическое потребление обогащённой O_2 воды улучшало работу сердечно-сосудистой системы и увеличивало выносливость организма при стрессовых физических нагрузках, уменьшает образование молочной кислоты в организме [20]. Обогащённая O_2 вода как средство борьбы с последствиями алкоголизма и токсикомании проходит дальнейшую апробацию, направленную на

её использование как самостоятельно, так и совместно с другими методиками.

Нужно добавить, что как следует из **Модели** и приведённых в данной работе результатов, для борьбы с последствиями длительного потребления алкоголя и кроме энергии, нужны ещё и ненасыщенные жирные кислоты, необходимые для нормального функционирования клеточных мембран при отсутствии алкоголя. Источниками этих жирных кислот служит пища животного происхождения, но пока нет возможности дать рекомендаций по научно обоснованным диетам.

Литература

1. H. R. Kranzler, Pharmacotherapy of Alcoholism: Gaps in Knowledge and Opportunities for Research, «Alcohol and Alcoholism», Vol. **35**, No. 6, pp. 537-547, 2000.
2. H. R. Kranzler, Evidence-Based Treatments for Alcohol Dependence: New Results and New Questions, «JAMA», **295**, 2075-2076, 2006.
3. Семёнов С.Н. МОЛЕКУЛЯРНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕМБРАН. ВВЕДЕНИЕ В КВАНТОВУЮ ФОНОННУЮ БИОЛОГИЮ. Internet: SciTecLibrary.com.
(<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6013.html>)
4. Semenov S.N. INTRODUCTION TO QUANTUM PHONON BIOLOGY – THE MOLECULAR MECHANICAL MODEL OF STRUCTURE AND FUNCTIONS OF BIOLOGICAL MEMBRANES. Internet: SciTecLibrary.com.
(<http://www.sciteclibrary.ru/eng/catalog/pages/6646.html>)
5. Blom A. Have you ever seen a phonon? «CAL-laborate» November 2004, pp. 1-8.
6. Garjajev P. P. Der wellengenetische Code. Moscow, 1997, ISBN 5-7816-0022-1 (in Russian.)
7. Peter P. Gariaev, Boris I. Birshtein, Alexander M. Iarochenko, Peter J. Marcer, George G. Tertishny, Katherine A. Leonova, Uwe Kaempff, "The DNA-wave Biocomputer" at <http://www.rialian.com/rnboyd/dna-wave.doc>
8. J. P. PAZ, Quantum engineering: Protecting the quantum world, «Nature», **412**, 869 – 870, (2001).

9. P. Hunter, A quantum leap in biology. One inscrutable field helps another, as quantum physics unravels consciousness. «EMBO reports», **7**, 10, 971–974 (2006); doi: 10.1038/sj.embor.7400802.
10. T. Heimburg, A. D. Jackson. On soliton propagation in biomembranes and nerves. PNAS, vol. **102**, No 28, pp. 9790–9795, July 12, 2005.
www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0503823102
11. Mi-Jeong Jeong, Chang-Ki Shim, Jin-Ohk Lee, Hawk-Bin Kwon, Yang-Han Kim, Seong-Kon Lee, Myeong-Ok Byun, Soo-Chul Park. Plant gene responses to frequency-specific sound signals. Mol Breeding, 2007, DOI 10.1007/s11032-007-9122-x.
12. Семёнов С.Н. Связь рок музыки с наркоманией и алкоголизмом. В печати. (S.N. Semenov. The Relationship of rock music with drug addiction and alcoholism. In press.)
13. Косарев А.В. ИДЕИ СЕМЁНОВА С.Н. О ФОНОННОЙ ПРИРОДЕ НЕРВНОГО ИМПУЛЬСА С ПОЗИЦИЙ ДИНАМИКИ ЭВОЛЮЦИИ: SciTecLibrary.com.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8754.html>
14. T. Heimburg, A. D. Jackson, The thermodynamics of general anesthesia. «Biophys J BioFAST», February 9, 2007, <http://www.biophysj.org>
15. Dumas F, Lebrun MC, Tocanne JF. Is the protein/lipid hydrophobic matching principle relevant to membrane organization and functions? «FEBS Lett.», 1999, Sep 24; 458.
16. N. Dan, S.A. Safran, Effect of lipid characteristics on the structure of transmembrane proteins. «Biophys. J.» (1998) **75**, 3, pp. 1410-1414.
17. Y. Katz, I. Aharon. A thermochemical analysis of inhalational anesthetics. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Volume 50, 1-2, Number 1997. pp. 117-124.
18. Hyvärinen J, Laakso M, Sippel H, Roine R, Huopaniemi T, Leinonen L, Hytönen V. Alcohol detoxification accelerated by oxygenated drinking water. «Life Sci.», 1978 Feb; **22** (7): pp. 553-559.
19. Регистрация (Registration) O2max. AM 4901/2000; Reg. No. 193 111.
20. W. Binder. The Effects of Sustained Consumption of Oxygenated Water upon Selected Performance Parameters in a Standardized Ergometric Trial. Summary of Results. in „Sauerstoffwasser & Entgiftungsmittel“ 2002, ISBN 3-980374

Недосекин Ю.А.

Потенциальная энергия – понятие математическое

Аннотация

В работе показано, что понятия “потенциал” силового поля и “потенциальная энергия” не соответствуют каким-либо физическим сущностям. Эти понятия являются чисто математическими понятиями, облегчающими вычисления некоторых физических величин. Потенциальную же энергию специально ввели лишь только для того, чтобы получить закон сохранения механической энергии.

Содержание

1. Возникновение понятия о потенциальной энергии
 2. М. Планк о потенциальной энергии
 3. Выдержки о понятии потенциальной энергии из обзора Кравец Т.П.
 4. Анализ понятия “потенциальная энергия”, изложенного Леви-Чивитой и Амальди в своем курсе теоретической механики
 5. Анализ понятия “потенциальная энергия”
 6. Доказательство отсутствия потенциальной энергии
 7. Взаимодействие тела с гравитационным полем и заряда с электрическим полем
- Литература

После открытия закона всемирного тяготения Ньютона и закона Кулона для взаимодействия электрических зарядов началось их использование для задач механики и электростатики при помощи математических методов. Использование математики для развития физических теорий совершенно необходимо, так как собственно физика изучает явления Природы при помощи экспериментальных исследований. Открытые из опытов законы, физика по мере возможности пытается объяснить при помощи построения разного рода моделей, отражающих существование и процесс развития в

Природе наблюдаемого явления. Математика же не вникает в сущность физических понятий и не пытается понять природу вещей. Она использует физические законы, выраженные в некоторой простой математической формуле (законы Ньютона, Кулона, Ома, уравнения Максвелла и т.д.), и свойства рассматриваемых тел и сред в задачах, требующих сложных математических вычислений. В результате чего создаются математические теории рассматриваемых явлений, составляющие содержание физических наук. Однако применение математики в физике требует осторожности и является недопустимым формально введенным математическим понятиям придавать физический смысл. К такого рода математическим понятиям относятся, например, потенциал и потенциальная энергия, возникшим в математических теориях механики и электричества. В дальнейшем будет показано, что понятия потенциала и потенциальной энергии не имеют физического смысла. Они являются всего лишь математическими понятиями, используемыми в вычислениях. Необходимость их использования не является неизбежной. Вместо потенциальной энергии, входящей в закон сохранения энергии, будет введена другая величина, в физическом смысле которой сомневаться не приходится. Поэтому закон сохранения энергии не будет нарушен, а наоборот приобретет должный физический смысл, каковым он и должен быть. К сожалению, понятию потенциальной энергии, введенного в математических теориях механики и электричества, в физике придается статус реальной энергии. Разоблачению этой ошибки и посвящена настоящая работа.

Сначала мы сделаем краткий обзор о потенциальной энергии, исходя из доступной нам литературы. Из этого обзора будет видно, что осмысление понятия потенциальной энергии вызывает определенные трудности. В большинстве научных и учебных изданий это понятие не обсуждается, а принимается в том виде, в каком оно сложилось к моменту выхода в свет того или иного издания. Тем более ценными являются те редкие работы, в которых рассматриваются вопросы происхождения понятия потенциальной энергии и выявления ее физического смысла. После приводимых выдержек из работ, рассматривающих понятие о потенциальной энергии, мы будем делать свои критические замечания по их содержанию и излагать свое понимание обсуждаемых вопросов.

1. Возникновение понятия о потенциальной энергии

Рассмотрим историю возникновения понятия “потенциальная энергия” на основе материала, изложенного в книге [1].

В 80-х годах XVIII века Лагранж показал, что силу притяжения, действующую на тело со стороны системы дискретных материальных точек, можно представить в виде суммы частных производных некоторой функции, названия которой он не дал.

В 1782 г. Лаплас опубликовал “Теорию притяжения”, в которой показал, что для тела с объемной плотностью ρ функцию Лагранжа можно представить в виде

$$U = \iiint \frac{\rho dx dy dz}{r},$$

которая удовлетворяет уравнению

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0,$$

названному впоследствии уравнением Лапласа.

При построении в 1812 г. математической теории электричества и магнетизма Пуассон вводит функцию, названную впоследствии потенциалом. Основываясь на аналогии электрических сил с силами тяготения, Пуассон использовал функцию U для описания силового действия заряженных тел.

По поводу введенной функции U Дуков В.М. [1, стр. 91] пишет: “Важнейшим достижением было введение функции U , позволившей выразить некоторые существенные черты электрических явлений. Однако это был формальный шаг. Функция представляла не более, как полезную математическую фикцию.”

В 1828 г. Дж. Грин строит теорию электростатики с использованием функции U , названной им потенциальной.

Дальнейшее исследование свойств функции U продолжил Гаусс в своей работе, опубликованной в 1840 г. В этой работе для сил, действующих на тела обратно пропорционально квадрату расстояния, функцию U Гаусс называет потенциалом масс. Это такая функция от x, y, z , частные производные которой по этим переменным представляют составляющие X, Y, Z действующей силы. Гаусс показывает, что по любому отрезку линии s интеграл $\int F \cos \theta ds = \varepsilon(U_1 - U_0)$, где U_0 и U_1 – значения потенциалов в

начальной и конечной точках, $\varepsilon = \pm 1$. Если этот интеграл взят по замкнутой линии J , то он равен нулю.

В начале сороковых годов XIX века произошло открытие закона сохранения энергии. Внедрение этого закона в физику началось в 1847 г. после опубликования работы Гельмгольца “О сохранении силы”. Исследования Джоуля и Ленца в области теплового действия электрического тока экспериментально подтвердили выполнимость закона сохранения энергии. В работе “О сохранении силы” Гельмгольд раскрывает физический смысл потенциала и обобщает его на все виды электрических и магнитных воздействий. Мы будем использовать перевод этой работы, выполненный академиком П.П. Лазаревым [2]. Гельмгольд вводит понятие потенциальной энергии и впервые четко различает кинетическую энергию (в оригинале он называет ее “живой силой”) и потенциальную энергию (в оригинале он называет ее “количеством сил напряжения” или “напряженными силами”).

Рассматривая движение материальной точки m в поле, создаваемым другой материальной точкой a , Гельмгольд записывает закон изменения живых сил в виде [2, стр. 46]:

$$\frac{1}{2} mQ^2 - \frac{1}{2} mq^2 = - \int_r^R \varphi dr, \quad (2)$$

где Q, q и R, r – соответствующие тангенциальные скорости и расстояния; φ – величина силы, действующей на точку m со стороны другой материальной точки a , создающей поле притяжения. Гельмгольд показывает, что значение величины $\int_r^R \varphi dr$

равно сумме всех элементарных работ, которые произведены на расстояниях, лежащих между R и r . Потенциальную энергию Гельмгольд вводит следующим образом [2, стр. 46].

“Если назвать энергию, обладая которой точка m может двигаться, но пока еще не движется, потенциальной энергией, в противоположность тому, что механика называет живой силой, то мы могли бы назвать

величину $\int_r^R \varphi dr$ суммой потенциальных энергий между

расстояниями R и r , и предыдущий закон мог бы быть выражен так: увеличение живой силы точки при ее движении под влиянием центральной силы равно сумме соответствующих изменению ее расстояния потенциальных энергий.”

Приведенный фрагмент не состыкуется с уравнением (2), так как увеличение живой силы согласно (2) равно увеличению $-\int_r^R \varphi dr$, а не $\int_r^R \varphi dr$, как это написано в приведенном фрагменте (видимо Гельмгольц упустил это из виду). Выражение "... мы могли бы назвать величину $\int_r^R \varphi dr$ суммою потенциальных энергий" вводится без всякого обоснования. Назвать можно, но чему это физически будет соответствовать? Разъяснений по этому поводу мы у Гельмгольца не находим. Поэтому чисто формально выражение $\int_r^R \varphi dr$ Гельмгольц называет суммою потенциальных энергий.

В середине XIX века энергия еще не рассматривалась как характеристика материи. Сам закон сохранения энергии еще только зарождался. Поэтому в рассуждения о выяснении физической сущности энергии Гельмгольц не вдавался, удовлетворившись тем, что равенство (2) выражает собой закон сохранения механической энергии, одной из составляющих которой является введенная им потенциальная энергия. И как мы увидим в дальнейшем, выражение, названное потенциальной энергией, является всего лишь математической функцией. Но введенное Гельмгольцем понятие потенциальной энергии настолько прочно вжилось в физику, что сохранилось до наших дней. И причиной этому является выполняющийся закон сохранения механической энергии, в котором сумма кинетической и потенциальной энергий во все время движения механической системы остается постоянной. Поэтому полагали, что поскольку эта сумма энергий сохраняет свое постоянное значение во все время движения механической системы, то следовательно входящая в закон потенциальная энергия реально существует. Но сохраняться может не только физическая величина, но и математическая. Как раз в данном случае потенциальная энергия является математической величиной, а не физической, что будет показано ниже.

Для системы материальных точек принцип сохранения энергии Гельмгольц записывает в следующем виде [2, стр. 50]:

$$-\sum \left[\int_{r_{ab}}^{R_{ab}} \varphi_{ab} dr_{ab} \right] = \sum \left[\frac{1}{2} m_a Q_a^2 \right] - \sum \left[\frac{1}{2} m_a q_a^2 \right]. \quad (4)$$

“Мы имеем здесь слева опять сумму затраченных работ, справа сумму живых сил всей системы, и мы можем теперь выразить этот закон так: во всех случаях движения свободных материальных точек под влиянием исходящих из них притягательных или отталкивательных сил, величины которых зависят только от расстояния, уменьшение количества работы, которую можно от системы получить, всегда равно увеличению живой силы, и, наоборот, увеличение первой – уменьшению второй. Следовательно, всегда сумма существующих в системе потенциальной энергии и живых сил постоянна. В этой наиболее общей форме мы можем наш закон назвать принципом сохранения силы.”

Содержимое этого фрагмента уже соответствует уравнению (4) в отличие от содержимого предыдущего фрагмента, которое не согласуется с уравнением (2), о чем мы уже выше сделали свое замечание.

2. М. Планк о потенциальной энергии

Приведем достаточно подробные выдержки из книги М. Планка [3], на основе которых проследим введение и обоснование понятий потенциала и потенциальной энергии и выяснение их физического смысла.

[3, стр. 43]:

“§35. Мы возвратимся теперь к общему случаю произвольных центральных сил, причем рассмотрим результирующее притяжение произвольно расположенной системы масс на какую-нибудь отдельную материальную точку P . Действующие материальные точки, координаты которых пусть будут опять ξ, η, ζ , мы будем считать неподвижными, а, наоборот, точку P , на которую производится действие и которую поэтому мы будем называть “точкою воздействия”, будем считать перемещающейся, и потому ее координаты x, y, z переменными. Вопрос заключается в том, как изменяется по величине и направлению притяжение, если точка воздействия P как-либо перемещается.

Для общности мы предположим, что притяжение действует не по ньютоновскому закону тяготения, а по какому-либо другому закону, причем величину притяжения, которое точка ξ, η, ζ производит на точку P , мы положим равным какой-либо функции расстояния $f(r)$.”

Далее, на этой же стр. 43, Планк продолжает:

“Для общего случая слагающие результирующего притяжения системы материальных точек ξ, η, ζ на точку P выражаются по образцу выражений (84) и (86) следующим образом:

$$\begin{aligned} X &= \sum f(r_i) \cdot \frac{\xi_i - x}{r_i}, \\ Y &= \sum f(r_i) \cdot \frac{\eta_i - y}{r_i}, \\ Z &= \sum f(r_i) \cdot \frac{\zeta_i - z}{r_i}. \end{aligned} \quad (106)''$$

[3, стр. 44]:

“§36. Чтобы установить влияние смещения точки воздействия P на величину и направление действующей на нее силы притяжения, мы можем исследовать компоненты X, Y, Z результирующей силы как функции координат x, y, z точки воздействия. При этом получается важный результат, что три функции X, Y, Z могут быть всегда сведены к одной только функции.

Именно положим:

$$\int f(r)dr = F(r) \quad (107)$$

$$U = F(r_1) + F(r_2) + \dots = \sum F(r_i), \quad (108)$$

тогда получается, если мы продифференцируем таким образом определенную функцию U по x :

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \sum \frac{\partial F(r_i)}{\partial r_i} \cdot \frac{\partial r_i}{\partial x} = \sum f(r_i) \cdot \frac{\partial r_i}{\partial x}.$$

Но из (85), взяв частную производную по x , имеем:

$$r_i \frac{\partial r_i}{\partial x} = x - \xi_i. \quad (109)$$

Вставив это в последнее уравнение и приняв во внимание (106), мы получим соотношение:

$$X = -\frac{\partial U}{\partial x},$$

(110)

а также

$$Y = -\frac{\partial U}{\partial y} \quad \text{и} \quad Z = -\frac{\partial U}{\partial z}.$$

Функция U , производные которой по x, y, z , взятые с отрицательным знаком, представляют слагающие силы, называется потенциалом действующих на точку P масс. Вследствие неопределенности нижнего предела в интеграле (107) постоянная в

потенциале остается неопределенной. Эта постоянная, очевидно, не имеет никакого физического значения.

Для частного случая ньютонова тяготения $f(r)$ переходит в (82); поэтому по (107):

$$F(r) = -f \frac{m\mu}{r},$$

и гравитационный потенциал имеет вид, по (108):

$$U = -fm \sum \frac{\mu_i}{r_i}. \quad (111)$$

Здесь постоянная для простоты определена так, что U обращается в нуль, когда точка воздействия P удаляется на бесконечное расстояние от всех притягивающих масс.

Введением потенциала трактование всей задачи о притяжении необычайно упрощается, так как приходится вместо трех функций исследовать только одну. Кроме того, потенциал по сравнению с силой представляет еще несколько выгод: например, он имеет простое и симметричное строение, и при сложении действий нескольких масс потенциалы их складываются, тогда как силы должны быть прежде разложены на составляющие.”

[3, стр. 47]:

“§39. Теперь мы рассмотрим несколько ближе физическое значение потенциала, при этом не будем ограничиваться тяготением, а в соответствии с выражением (108) предположим произвольный закон притяжения. Каждой точке x, y, z пространства, рассматриваемой как точка воздействия, можно приписать определенное значение потенциала U , и по (110) каждый из трех компонентов силы действует в ту сторону, в которую U убывает; например, если U возрастает в сторону положительных x , то X отрицательно. При этом компонент силы тем больше, чем сильнее изменяется U по соответствующей координате: сила равна “падению потенциала” в соответственном направлении. Это можно выразить также следующим образом: сила притяжения стремится уменьшить потенциал U .”

Введенная Планком в §36 функция U , названная потенциалом, позволяет легко выразить компоненты силы, действующие на точку воздействия P . Это является чисто вспомогательным математическим способом, облегчающим вычисление компонентов силы.

В §39 из приведенного фрагмента следует, что по изменению потенциала U можно определить направления компонентов силы, действующих на точку воздействия. Таким образом, зная потенциал U , можно легко определить величины и направления компонентов силы, действующих на точку воздействия. В этом состоит его

математическое значение, облегчающее вычисление величин и направлений компонентов силы.

Физического же смысла функция U не имеет, так как величина U не характеризует ни точку воздействия (притягиваемая материальная точка), ни само силовое поле. Это будет понятным после приведенного ниже фрагмента [3, стр. 58].

[3, стр. 56]:

“Если умножить уравнения (55) последовательно на u, v, w и сложить, то получится:

$$m(uu' + vv' + ww') = X \frac{dx}{dt} + Y \frac{dy}{dt} + Z \frac{dz}{dt} ;$$

умножив на dt , по (41), имеем:

$$d\left(\frac{1}{2}mq^2\right) = Xdx + Ydy + Zdz . \quad (147)$$

Величина $\frac{1}{2}mq^2$ по Лейбницу называется, хотя несколько нецелесообразно, “живою силой” точки воздействия, а дифференциальное выражение в правой части – “работою” A , которую совершает сила \mathbf{F} , когда точка воздействия переходит из положения x, y, z в положение $x + dx, y + dy, z + dz$.”

[3, стр. 57]:

“Но если, в частности, действующая сила – центральная сила, производимая покоящейся точкой, то по (110) существует потенциал U , и работа будет:

$$A = -dU , \quad (150)$$

т.е. работа силы равна убыли U . Подстановкою в (147) и интегрированием получаем в этом случае:

$$\frac{1}{2}mq^2 - \frac{1}{2}mq_0^2 = U_0 - U , \quad (151)$$

где q_0 и U_0 – значения q и U для момента $t = 0$.”

[3, стр. 58]:

“... Из (150) выясняется также физическое значение потенциала U . Это есть работа, которую совершает центральная сила, если точка воздействия перемещается каким-либо образом из места, где потенциал равен U , в место, где потенциал – нуль. Уравнение (151) носит название “принципа живой силы”.”

Таким образом потенциал равен работе, производимой центральной силой при перемещении материальной точки из положения x, y, z в положение, в котором потенциал принят за нуль. Это и понятно, поскольку работа силы поля равна разности

потенциалов, взятой с противоположным знаком. И коль скоро на бесконечности $U_0 = 0$, то остается только U в данной точке x, y, z . Ясно поэтому, что $U = A$ при перемещении материальной точки из положения x, y, z в бесконечность. Но $U(x, y, z) = A$ не является значением физической величины в данной точке x, y, z , а является значением, “собираемым” на достаточно большом (теоретически бесконечном) участке перемещения материальной точки из положения x, y, z в бесконечность, где $U_0 = 0$. Поэтому потенциал $U(x, y, z)$ является всего лишь математической функцией, лишенной физического содержания. Через посредство этой математической функции определяется работа силового поля при перемещении в нем материальной точки. Очень важно осмыслить, что потенциал U не является физической величиной, т.е. он не характеризует состояние материи в данной точке силового поля, предполагая конечно само поле материальным. Градиент потенциала, взятый с противоположным знаком, определяет вектор силы, действующей на материальную точку. Из этого обстоятельства вовсе не следует, что потенциал U должен характеризоваться как физическая величина. Сила \mathbf{F} является физической величиной, а потенциал U , через который определяется сила ($\mathbf{F} = -\text{grad}U$), физической величиной не является. Такое свойство математического преобразования назовем физическим вырождением. Теория поля, использующая понятие потенциала, обычно не выясняет его физический смысл, если не считать за таковой выполнение равенства $U = A$. Считается достаточным, что при использовании потенциала легко могут быть вычислены компоненты силы, действующей на материальную точку или на заряд в электростатике. Если задано распределение масс (зарядов), то потенциал поля может быть найден либо через вычисление интеграла, либо из решения соответствующего уравнения Пуассона. Именно эта возможность нахождения потенциала, а через него и вычисление компонентов силы, является важной для физики.

Также и векторный потенциал \mathbf{A} , при помощи которого описывают магнитное поле, является всего лишь математической функцией.

[3, стр. 58]:

“§49. Судя по тому, что мы видели, механический принцип живой силы находит себе только ограниченную область применения. Но если не

ограничиваться только областью механики, то ему можно дать более общую формулировку, выражающую универсальный, имеющий без исключения силу по всей области физических и химических явлений закон: принцип сохранения энергии. Основанием этого принципа служит добытое путем многовековых испытаний убеждение, что никаким способом нельзя устроить *perpetuum mobile*, т.е. такое приспособление, при помощи которого можно было бы непрерывно производить какое-либо действие, не вызывая тем какого-либо другого действия, компенсирующего первое, или, другими словами, что в природе существует некоторая величина \mathcal{E} , которую можно рассматривать как “запас” производительности и которая имеет ту особенность, что она так же, как и имеющийся в природе запас материи, может проявляться в самых разнообразных формах и испытывать различные превращения, но никогда не может измениться по своей величине и навсегда неизменно сохраняется: $\mathcal{E} = const$.

Решающим при формулировании принципа энергии является соответствующее существу дела определение \mathcal{E} ; именно относительно этого пункта, а не относительно годности принципа самого по себе, было много различных мнений и недоразумений.

Единственный путь для решения этого вопроса состоит в том, что сначала исходят из частных случаев и ищут соотношения, выражающие факты, которые можно истолковывать как $\mathcal{E} = const$. Следовательно, если мы в области рассматриваемой здесь механики материальной точки станем искать подобное соотношение, то нужно прежде всего помнить, что \mathcal{E} кроме координат и скоростей не должно содержать явно времени t , потому что \mathcal{E} как запас производительности может зависеть только от мгновенного физического состояния точки, т.е. от ее положения и скорости. Но тогда не остается более места для сомнения. Единственное из найденных нами соотношений, которые не содержат времени, это – выражения (17), (80) и более общее (151). Из этого вытекает, что выражение (151), или принцип живой силы:

$$\frac{1}{2}mq^2 + U = \frac{1}{2}mq_0^2 + U_0 = const , \quad (154)$$

можно истолковывать как применение принципа сохранения энергии к чисто механическим процессам и что при этом механическую энергию можно положить равною:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2}mq^2 + U = K + U . \quad (155)$$

Механическая энергия состоит, таким образом, из двух частей: живой силы K , или кинетической энергии (энергии движения), и потенциала U , или потенциальной энергии (энергии положения). Их сумма при всех чисто механических процессах постоянна.”

Уравнение (155) было истолковано Планком совершенно произвольно. Из принципа живой силы (154) отнюдь не вытекает,

что механическая энергия должна состоять из двух частей: кинетической K и потенциальной U . Левая часть равенства (154) является сохраняющейся величиной, что непосредственно вытекает из решения соответствующего уравнения (интеграл живой силы). Но это обстоятельство нельзя бездоказательно рассматривать в виде того, что величина U , входящая в (154), представляет собой энергию. Желание вписать в закон сохранения энергии механические явления и побудило величину U рассматривать как потенциальную энергию. После приведенного выше фрагмента [3, стр. 58] нами было показано, что потенциал U является всего лишь математической функцией, лишенной физического содержания, и потому величину U нельзя рассматривать как энергию, являющуюся свойством материи, а не математики.

3. Выдержки о понятии потенциальной энергии из обзора Кравец Т.П.

Приведем некоторые выдержки из обзора [4].

Стр. 339:

“Отметим, что у «механистов» с самого начала учения о сохранении энергии возникло некоторое затруднение теоретического характера. В сущности, в механике совершенно наглядным является только один из видов энергии – энергия кинетическая (или, на первых порах, «живая сила»). Как только мы формулируем понятие об энергии потенциальной («напряженная сила» у Гельмгольца), мы попадаем в строй мыслей, ведущих нас прочь от механики.”

Этот тезис Кравец Т.П. обосновывает необходимостью обосновывания природы происхождения сил, через посредство которых выражается потенциальная энергия. Далее он пишет:

“Но это значит, что самое понятие потенциальной энергии не принадлежит к простым понятиям. Нельзя ли совсем обойтись без этого понятия?”

Частично ответ на этот вопрос Кравец Т.П. нашел в работе [5]. Эта работа “... отражает некоторую философскую неуспокоенность, существовавшую у ученых того времени, задумывавшихся о самых основах этого учения и, в частности, об энергии потенциальной. Автор отвергает это понятие и старается его устранить из физики, вводя предположение, что количество кинетической (или, как он пишет, динамической) энергии в природе остается постоянным; если же нам кажется, что запас ее уменьшился (другими словами, перешел в потенциальную энергию), то это только видимое уменьшение, так как на самом деле, по мнению Н.А. Умова, потенциальная энергия есть кинетическая энергия другой среды, которая остается скрытой. П.П. Лазарев (П.П.

Лазарев. Н.А. Умов. 1940. Юбилейное издание к 135-летнему юбилею Московского Общества испытателей природы.), излагая учение Умова пользуется такой наглядной иллюстрацией: газ, находящийся при большом давлении под поршнем, обладает некоторым количеством видимой потенциальной энергии. Но эта потенциальная энергия есть на самом деле кинетическая энергия молекул газа – среды, внутренние движения которой остаются для нас незаметными.”

Далее [4, стр. 340] Кравец пишет: “Самая же мысль Н.А. Умова о сведении потенциальной энергии к кинетической и ныне заслуживает глубокого внимания. Мы видим в его попытке явное доказательство того, что логический строй нашего физического мировоззрения не может обойтись одним понятием о кинетической энергии, а нуждается в дополнительных положениях чисто физического характера – например, в гипотезах о природе тех или иных сил и т.п. Тут кроется та причина, которая позже привела к гибели все механистическое воззрение, несмотря на его огромные успехи и завоевания*). Отдадим должное проницательности нашего замечательного соотечественника, который сумел на столь ранних стадиях учения об энергии, когда оно развивалось на чисто механистической основе, усмотреть слабые стороны последней и сделал попытку избежать грозящей ей опасности.”

Примечание (Кравец Т.П.)

*) Мы не считаем своей задачей изложение успехов кинетических представлений. Второй закон термодинамики, истолкованный статистически в трудах Больцмана, Смолуховского, Эйнштейна – вот главные завоевания в этой области.

[4, стр. 340]: “Чрезвычайно важный момент своего развития пережило представление об энергии, когда физикам пришлось задуматься над вопросом о локализации энергии. Дадим пример: мы взяли проволоку и, наперекор действующим между ее частицами упругим силам, растянули ее грузом P на длину l . Тогда можно написать выражение для работы, нами при этом совершенной; она равна $P \cdot l$. В этом выражении фигурирует наряду с приложенным к концу проволоки грузом P , только вызываемое им удлинение проволоки l .”

Затем Кравец приводит выкладки с использованием характеристики упругих сил (модуль Юнга), из которых следует, что энергия, затраченная на удлинение проволоки, распределилась равномерно по всей ее длине.

Как в предыдущем примере Лазарева П.П. со сжатым газом, так и в этом примере с растянутой проволокой, локализация положительной потенциальной энергии находится в материальной среде (газ и проволока соответственно). Эти потенциальные энергии соответственно возникли за счет работы внешней силы по преодолению силы давления газа на поршень и силы упругости при удлинении проволоки. Эти примеры наглядно показывают, что

потенциальная энергия относится в первом случае к газу, а не к поршню, а во втором случае – ко всему объему проволоки, а не к грузу, под действием которого произошло ее удлинение. В рассмотренных примерах фраза «потенциальная энергия» является условной, выражающей запас энергии, распределенной по всему объему соответствующей среды. Во втором примере с удлинением проволоки вместо груза P можно было бы к концу проволоки приложить эквивалентную силу $F = P$, расположив при этом проволоку с закрепленным на ее конце грузом горизонтально. Тогда в обоих случаях после прекращения действия внешних сил по сжатию газа и растяжению проволоки силы давления сжатого газа приведут поршень в движение, а силы упругости растянутой проволоки приведут в движение груз, находящийся на конце проволоки, высвобождая при этом запасенную энергию. Никто в рассмотренных примерах не станет утверждать, что запасенная (потенциальная) энергия относится к поршню и грузу. В случае со сжатым газом энергия, затраченная на его сжатие, перешла во внутреннюю энергию газа, т.е. в кинетическую энергию его молекул. В случае с растянутой проволокой энергия, затраченная на ее растяжение, перешла в электромагнитные поля кристаллических решеток материала проволоки. Именно электромагнитным взаимодействием кристаллических решеток твердого тела объясняются в настоящее время силы упругости, возникающие при его деформации.

Так почему же тогда в физике для сил притяжения и отталкивания утвердилось положение, согласно которому тело в гравитационном поле и заряд в электрическом поле обладают потенциальной энергией? Здесь имеется в виду локализация потенциальной энергии на теле и заряде. Мы считаем это положение ошибочным.

В 1874 году Умов публикует свою работу о движении энергии в телах, которую представил к защите в Московский университет как докторскую диссертацию. Известные московские профессора критиковали воззрения Умова о субстанциальности энергии, излагаемые в представленной работе, которые по их мнению были не достаточно обоснованны.

Они говорили, что пока доказано только одно: сумма энергий разных видов остается постоянной во всех явлениях, происходящих в изолированной системе. На что Кравец отвечает следующим образом [4, стр. 343]: “Но это свойство принадлежит многим математическим функциям, и отсюда нельзя делать вывода об

их физическом существовании. С точки зрения математика такая точка зрения понятна: ведь еще Лагранж в своей аналитической механике писал выражение $T + V = H$, где в наших терминах T является кинетической энергией, V – потенциальной, а их сумма H – постоянной величиной. Это – так называемый у механиков математического уклона «интеграл живых сил», и никакого физического смысла вкладывать в него они не привыкли. Даже термина «работа», необходимого для физического обоснования понятия «потенциальная энергия», до Понселе не существовало, уже не говоря об энергии вообще; V – это некоторое математическое выражение «потенциальная функция». И вот их, привычных к этим терминам математиков, хотят уверить, что эти математические понятия, эти интегралы имеют физическое существование, что они размещены в пространстве, текут и пр. и пр.”

На этом Кравец и остановился в своих размышлениях о потенциальной энергии. Его замечание, что из сохраняющегося математического выражения нельзя делать вывода о физическом существовании некоторой величины, содержащейся в этом выражении, заслуживает всяческого внимания. Кравец не развил далее эти соображения в данном обзоре и нам неизвестно продолжил ли он их в своих последующих работах.

4. Анализ понятия “потенциальная энергия”, изложенного Леви-Чивитой и Амальди в своем курсе теоретической механики

В отличие от многих других курсов по теоретической механике Леви-Чивита и Амальди сделали попытку физически обосновать введение понятия «потенциальная энергия» и расписали это достаточно подробно в своем курсе по теоретической механике [6]. Это предоставило нам возможность на основе их изложения доказать, что понятия «потенциал» и «потенциальная энергия» являются всего лишь математическими понятиями, которые не соответствуют каким-либо физическим сущностям, за что мы им весьма благодарны. Во многих же других курсах по теоретической и аналитической механике и научных изданиях потенциальную энергию вводят формально без какого бы то ни было физического обоснования. В подобных изданиях обычно пишут, что значение потенциальной энергии равно значению силовой функции, взятому с противоположным знаком. Если бы мы стали говорить, что такое введение потенциальной энергии физически не обосновано, то услышали бы примерно такой ответ: сумма потенциальной и кинетической энергий является сохраняющейся величиной (что соответствует закону сохранения механической энергии) при

наблюдаемых механических движениях любой физической системы и следовательно нет оснований считать потенциальную энергию физически необоснованной. Дальнейшая дискуссия была бы бесполезной.

Леви-Чивита и Амальди в своем курсе, начиная со стр. 334, рассматривают движение материальной точки в консервативном поле. Элемент работы, выполненной силой поля, равен $dL = dU$, где $U(x, y, z)$ представляет собой потенциал поля. Откуда после интегрирования получим работу, произведенную силой поля при перемещении материальной точки от положения $P_1(x_1, y_1, z_1)$ до положения $P_2(x_2, y_2, z_2)$, равную (стр. 335):

$$“L_{P_1 P_2} = U(x_2, y_2, z_2) - U(x_1, y_1, z_1) . \quad (7)”$$

Далее читаем:

“Пользуясь аддитивной произвольной постоянной, входящей в состав силовой функции, мы можем всегда достигнуть того, чтобы в определенной точке поля P_0 потенциал обращался в нуль; если теперь обозначим через $P(x, y, z)$ произвольную точку поля, то соотношение (7) дает:

$$L_{P_0 P} = U(x, y, z) .$$

Таким образом потенциал в точке P можно определить как работу, выполненную силой поля, когда ее точка приложения перемещается из постоянного начального положения P_0 в положение P , по какому бы пути это перемещение ни происходило.”

Когда какую-либо среду описывают при помощи понятия математического поля, то каждой точке этой среды ставят в соответствие некоторый геометрический образ, например, точку или вектор, соответствующий некоторому физическому понятию. В этом случае значение геометрического образа в любой точке математического поля равно значению соответствующей физической величины в этой же точке данной среды. Если при этом описываемая математическим полем физическая величина может быть измерена соответствующим прибором, то в таком случае мы будем считать, что эта величина соответствует некоторой физической сущности, т.е. эта величина будет являться количественной характеристикой исследуемой материальной среды. *Выполнение такого соответствия между математическим полем и материальной средой назовем принципом физического соответствия.*

Так, например, если распределение температуры в некоторой среде (газ, жидкость) описывается скалярным математическим полем, то тогда каждой точке среды приписывается числовое значение температуры, равное значению математической величины в этой же точке. Это значение температуры в любой точке среды может быть измерено некоторым прибором. Следовательно величина, называемая температурой, соответствует физической сущности, которую она выражает в количественной форме. В данном случае такой физической сущностью является средняя кинетическая энергия молекул газа или жидкости, величину которой выражает температура.

Силовая функция $U(x, y, z)$, названная потенциалом, является всего лишь математической функцией, полученной в результате интегрирования равенства $dL = dU$, приводящего к выражению (7). И поскольку равенство (7) выражает работу силы поля при перемещении материальной точки из одного ее положения в другое, то отсюда и возникло физическое представление о потенциале $U(x, y, z)$ как о предполагаемой работе, совершенной силой поля при ее предполагаемом перемещении из начального положения $P_0(x_0, y_0, z_0)$, в котором $U(x_0, y_0, z_0) = 0$, в данное положение $P(x, y, z)$. И если бы такая работа была действительно совершена, то конечно величина этой работы была бы равна значению потенциала $U(x, y, z)$ в точке $P(x, y, z)$. В результате чего кинетическая энергия перемещаемой материальной точки увеличилась бы на величину этой работы. Таким образом потенциал $U(x, y, z)$ является интегральной величиной, значение которой было “собрано” на всем перемещении материальной точки. В данном случае это значение потенциала будет равно значению кинетической энергии в этой же точке, т.е. $T(x, y, z) = U(x, y, z)$ при условии, что кинетическая энергия материальной точки в начальном ее положении была равна нулю, т.е. $T_0(x_0, y_0, z_0) = 0$. Тогда скалярное математическое поле $U(x, y, z)$ описывало бы значение кинетической энергии материальной точки $T(x, y, z) = U(x, y, z)$ во всем пространстве, кроме области распределения масс. Таким образом мы получили, что значение потенциала $U(x, y, z)$ равно значению кинетической энергии $T(x, y, z)$ в одной и той же точке, т.е. потенциал

$U(x, y, z)$ соответствует физической сущности в виде кинетической энергии материальной точки. Вследствие этого скалярное математическое поле $U(x, y, z)$ и гравитационное поле, в котором происходит движение материальной точки, удовлетворяют принципу физического соответствия, введенному выше. Но, напомним, что это справедливо только для рассмотренного частного случая, при котором имеет место равенство $T_0(x_0, y_0, z_0) = 0$. Во всех же других случаях перемещения материальной точки из положения $P_1(x_1, y_1, z_1)$ в положение $P_2(x_2, y_2, z_2)$ совершаемая силой поля работа выражается равенством (7), в котором потенциалы $U(x_1, y_1, z_1)$ и $U(x_2, y_2, z_2)$ являются математическими функциями, значения которых не равны соответствующим значениям кинетической энергии материальной точки, т.е. $U(x_1, y_1, z_1) \neq T(x_1, y_1, z_1)$ и $U(x_2, y_2, z_2) \neq T(x_2, y_2, z_2)$. Вследствие выполнения этих неравенств во всем пространстве скалярного поля $U(x, y, z)$ заключаем, что значение потенциала $U(x, y, z)$ в каждой отдельной точке $P(x, y, z)$ не соответствует какой-либо физической сущности, характеризующей гравитационное поле. Не существует такого прибора, при помощи которого можно было бы измерить значение потенциала $U(x, y, z)$ в одной точке, т.е. потенциал $U(x, y, z)$ является физически неизмеримой величиной. А раз так, то потенциал $U(x, y, z)$ является всего-навсего лишь математической величиной, не выражающей значения какой-либо физической величины. Это очень важное заключение, так как при дальнейшем рассмотрении Леви-Чивитой и Амальди понятия о потенциальной энергии используется значение потенциала $U(x, y, z)$. Забегая немного вперед, мы уже сейчас по "горячим следам" сделаем выводы о фиктивности потенциальной энергии материальной точки. Потенциальная энергия материальной точки, находящейся в потенциальном силовом поле, определяется равенством $V(x, y, z) = -U(x, y, z)$. Поскольку, как только что было установлено, потенциал $U(x, y, z)$ является математической функцией, которой не соответствует какая-либо физическая

сущность, то и функция $V(x, y, z) = -U(x, y, z)$ является также лишь математической функцией, не имеющей физического содержания. Мы уж не говорим о том, что для сил притяжения в гравитационных и электрических полях потенциальная энергия $V(x, y, z) < 0$. На это вообще механика и физика закрыли глаза. Разве энергия может быть отрицательной? Отрицательность потенциальной энергии также указывает нам на то, что она является всего лишь математической величиной, удобной для соблюдения выполнимости закона сохранения механической энергии. И поскольку мы отказали потенциальной энергии в праве быть физической энергией, то и сам закон сохранения механической энергии оказался теперь не существующим, так как осталась только одна форма механической энергии – кинетическая. А это значит, что при описании механического движения тела в силовом поле выполняется обычный закон сохранения энергии, в котором вместо потенциальной энергии выступает энергия материального силового поля, распределенная по всему его объему. Поэтому изменение кинетической энергии тела при его свободном движении в силовом поле происходит за счет соответствующего изменения энергии материального силового поля.

Далее на стр. 337 мы читаем:

“... работа силы \vec{F} на пути элементарного смещения материальной свободной точки выражается через

$$dL = dT. \quad (10)$$

На этом важном результате необходимо остановиться и, прежде всего, нужно выяснить значение скалярной величины $mv^2/2$, которую мы обозначили через T .

Это *полупроизведение из массы материальной точки на квадрат ее скорости (скалярной) в определенный момент* называется *живой силой* или *кинетической энергией* (т.е. энергией движения) точки в рассматриваемый момент. Прежде всего, постараемся выяснить наглядным путем смысл этого названия. Каждый из нас ясно себе представляет, что материальные тела, обладающие определенной скоростью, приобретают способность производить работу, которую они не обладают в состоянии покоя.”

Далее авторы приводят несколько примеров превращения кинетической энергии в механическую работу и делают следующие выводы.

“Итак, наиболее обычные повседневные опыты показывают, что этого рода энергия, которую материальные тела приобретают в зависимости от состояния своего движения, проявляется в виде эффекта, тем более значительного, чем больше, с одной стороны, абсолютное значение их

скорости, а с другой стороны – при равных скоростях, – чем больше их масса; это приводит к заключению, что данное полупроизведение (9) название кинетической энергии вполне согласуется с нашими физическими представлениями.”

Этот абзац мы привели только для того, чтобы сопоставить его затем с введением авторами понятия потенциальной энергии. Из дальнейшего будет видно, что введение понятия потенциальной энергии уже не является таким простым и наглядным как в случае понятия кинетической энергии.

Далее (стр. 338) авторы приводят известную теорему об изменении кинетической энергии и поясняют:

“В более наглядной форме можно сказать, что всякий раз, как сила \bar{F} производит работу, настолько же возрастает кинетическая энергия точки; всякий же раз, как сила \bar{F} поглощает работу, кинетическая энергия настолько же уменьшается.”

Сила \bar{F} производит работу – это значит, что работа этой силы при перемещении материальной точки положительна; сила \bar{F} поглощает работу – это значит, что работа этой силы при перемещении материальной точки отрицательна. Разберем более подробно эти выражения “*производит*” и “*поглощает*” работу.

Если сила \bar{F} производит работу, то кинетическая энергия материальной точки увеличивается. За счет чего происходит это увеличение? Ясно, что за счет соответствующей убыли некоторой другой формы энергии. Эту другую форму энергии в механике и физике называли потенциальной энергией. Но просто так сказать без выяснения физического смысла понятия потенциальной энергии, значит поступить чисто формально, не вдаваясь в подробности.

Если сила \bar{F} поглощает работу, то кинетическая энергия материальной точки уменьшается. Во что переходит кинетическая энергия в этом случае? Механика и физика говорят, что в потенциальную энергию.

Чтобы делать такие утверждения о переходе потенциальной энергии в кинетическую и наоборот, необходимо все же дать четкое определение понятию потенциальной энергии и сделать пояснение о ее локализации. Такого четкого определения потенциальной энергии и тем более разъяснения о ее локализации мы не находим в трудах классиков науки и их последователей. Поскольку, введенное в науку, понятие потенциальной энергии согласуется с законом сохранения энергии, то это обстоятельство по всей вероятности и послужило тормозом для более осмысленного его понимания. Некоторые ученые видимо в силу этой причины не захотели

вникать в сущность потенциальной энергии и выяснять ее физический смысл. Другие же видимо боялись “подмочить” свой научный авторитет – как бы не выглядеть в глазах научного сообщества в чем-то недопонимающим в этом вопросе. Как бы то там ни было, но не обоснованное физически и не осмысленное понятие о потенциальной энергии просуществовало в физике с середины XIX века и до наших дней. А разрешение вопроса о реальности или нереальности потенциальной энергии является достаточно простым и нам только остается удивляться тому, что, как это классики науки и другие именитые ученые проглядели эту возможность. Разрешение этого вопроса непосредственно связано с фарадеевским представлением о существовании материального физического поля вокруг электрически заряженного тела. То же самое относится и к гравитационному полю, являющемуся некоторой материальной средой. Поэтому мы и взяли на себя труд доказать, что потенциальная энергия не является физической реальностью, а представляет собой просто математическое понятие в виде числовой величины. В существующем в настоящее время законе сохранения механической энергии наблюдается смесь реальной (кинетической) энергии и числового значения величины, названной потенциальной энергией.

Далее (стр. 338) читаем:

“Рассмотрим теперь работу L , выполненную силой \vec{F} в промежутке времени от определенного момента t_0 до переменного момента t ; с этой целью интегрируем равенство (10) в пределах от t_0 до t ; мы получим:

$$L = T - T_0, \quad (11)$$

где T_0 обозначает кинетическую энергию точки в момент t_0 , ...

10. Если, как в предыдущем параграфе, будем обозначать через L работу, которую выполнила сила, вызывающая движение материальной точки, и будем смотреть на нее, как на *энергию*, сообщенную материальной точке внешними обстоятельствами, которыми обуславливается движение, то $-L$ выразит *энергию, выделенную материальной точкой во-вне*. Так как равенство (11) можно написать в виде:

$$T - L = const, \quad (11')$$

то мы можем сказать, что законы механики устанавливают для движения материальной точки под действием силы консервативный характер состояния энергии в том смысле, что происходит компенсация энергии T , которой движущаяся точка обладает в каждый момент в кинетической форме, энергией $-L$, которую она, начиная от произвольного момента t_0 выделяет наружу в виде работы: сумма той и другой энергии (*полная энергия*) остается постоянной.”

Разберем содержимое этого пункта 10. Авторы пишут: "... будем обозначать через L работу, которую выполнила сила, вызывающая движение материальной точки, и будем смотреть на нее, как на *энергию*, сообщенную материальной точке внешними обстоятельствами, которыми обуславливается движение, ...". Однако хорошо известно, что работа силы поля может быть как положительной, так и отрицательной, поэтому на нее нельзя смотреть как на энергию (ведь энергия не может быть отрицательной). Авторы равенство (11) записывают в виде равенства (11'), которое интерпретируют с точки зрения представления работы в виде некоторой энергии. Поскольку такое представление является физически не верным, то и предлагаемая интерпретация равенства (11') лишена физического смысла.

В конце приведенного абзаца читаем, что сумма той (T) и другой ($-L$) энергии (*полная энергия*) остается постоянной. Равенство (11') следовало бы записать в форме, соответствующей равенству (11), т.е. в виде $T - L = T_0$, $T_0 = const$. Из этого равенства, которое эквивалентно равенству (11'), следует, что сумма энергий T и ($-L$) равна T_0 , которая полной энергией не является. Чтобы правая часть равенства (11') представляла бы полную механическую энергию, к ней необходимо добавить потенциальную энергию. Это явное упущение авторов.

Работа силы поля от момента t_0 до момента t может быть записана в виде равенств: $L = U - U_0 = T - T_0$, откуда находим, что $T - U = T_0 - U_0 = E = const$, где E - полная энергия. Отсюда следует, что $T - L = T_0 \neq E$, вопреки утверждению авторов.

Равенство (11') конечно же выполняется, только левую его часть нельзя считать суммой двух энергий. Это равенство было получено из известного выражения для изменения кинетической энергии свободно движущейся в силовом поле материальной точки.

Выше в этом пункте мы уже объяснили, что изменение кинетической энергии свободно движущейся в силовом поле материальной точки происходит за счет изменения энергии этого материального силового поля. Сила, действующая на материальную точку со стороны поля, выполняет функцию преобразователя энергии:

1. при увеличении кинетической энергии материальной точки происходит уменьшение энергии поля;

2. при уменьшении кинетической энергии материальной точки происходит увеличение энергии поля.

Такое объяснение изменения кинетической энергии материальной точки, свободно движущейся в силовом поле, удовлетворяет закону сохранения энергии без введения искусственных построений.

Читаем дальше следующий пункт (стр. 339).

“11. Этот вывод принимает особенно выразительный характер в случае консервативных сил. Энергия $-L$ представляет собой не что иное, как потенциал U с обратным знаком (по крайней мере до аддитивной постоянной, не имеющей существенного значения). Если поэтому обозначим через E постоянную, то уравнение (11') дает:

$$T - U = E ; \quad (11'')$$

это – чрезвычайно важное соотношение между двумя элементами T и U (т.е., по существу, между скоростью и положением движущейся точки), имеющее место во все время движения.

Количество $-U$ по своему значению и по тому обстоятельству, что оно зависит только от положения движущейся точки, называется *энергией положения* или также *потенциальной энергией*. Соотношение (11''), которое обыкновенно называют *уравнением* или *интегралом живой силы*, выражает поэтому принцип сохранения энергии в самом узком его значении, поскольку здесь речь идет только об одной изолированной материальной точке и ее механической энергии.”

Уравнение (11'') авторы получают из уравнения (11'), обозначая в нем *const* через E . Все эти построения были ни к чему, ибо уравнение (11'') было получено нами сразу без каких-либо переобозначений констант (см. наши замечания после анализа пункта 10 несколькими абзацами выше).

Авторы пишут в этом абзаце.

“Количество $-U$ по своему значению и по тому обстоятельству, что оно зависит только от положения движущейся точки, называется *энергией положения* или также *потенциальной энергией*.”

Из этого абзаца следует, что понятие потенциальной энергии было введено без какого бы то ни было физического обоснования. Просто некоторую величину взяли и назвали потенциальной энергией. Чисто формально, конечно, назвать можно, но при этом останутся вопросы о физическом смысле этой величины.

Итак, выражение для потенциальной энергии записывают в виде $V = -U$. В начале этого пункта мы показали, что потенциал U является всего лишь математической величиной, не имеющей физического смысла, поэтому и определяемая через него потенциальная энергия является просто числовым значением. Эта потенциальная энергия $V = -U$ не обладает какой-либо физической сущностью и потому нельзя говорить, что есть две формы механической энергии – кинетическая и потенциальная. Нет потенциальной энергии вообще в реальном физическом мире, она является плодом математического воображения, которому не место в физической картине мира. Равенство (11"), конечно же, выполняется, но величина U является математической величиной, выражающей воображаемую работу, произведенную силой поля при воображаемом перемещении материальной точки от ее положения, в котором $U = 0$, до места (x, y, z) , занимаемого материальной точкой в данный момент. Реальный физический смысл имеет только разность $L = U - U_0 = T - T_0$, выражающая работу силы поля при перемещении материальной точки от момента времени t_0 до момента t . Из этих равенств следует, что $T - U = T_0 - U_0 = E$, что совпадает с равенством (11"). Работа силы поля $L = U - U_0$ имеет реальный физический смысл, а по отдельности величины U и U_0 физического смысла не имеют, так как они представляют всего лишь значения математической функции $U(x, y, z)$ в точках (x, y, z) и (x_0, y_0, z_0) соответственно, что убедительно было нами показано в начале этого пункта. В равенстве (11") величина U_0 содержится в $E = const$, а величина U вошла в это равенство явно. Если теперь в равенстве (11") положить $-U = V$, то получим равенство $T + V = E$, выражающее закон сохранения механической энергии. В этом законе сохранения механической энергии величина T является реальной кинетической энергией материальной точки, а величина V – числовым значением математической функции $-U(x, y, z)$. Поэтому данный закон следует назвать законом сохранения числовых значений, а не энергий.

Запишем теперь окончание пункта 11 (стр. 339).

“Всякое состояние движения точки (характеризуемое ее скоростью и положением) можно рассматривать как одаренное двумя формами энергии – кинетической и потенциальной. Самое движение в этом свете

представляется как явление преобразования кинетической энергии в потенциальную, и обратно; но общее количество E энергии постоянно остается неизменным, поскольку энергия данной точки не поглощается извне и не выделяется во-вне. Таким образом название *полной энергии* материальной точки, которое обыкновенно присваивается постоянной E , представляется вполне оправданным. Ее называют также *постоянной живой силы*, как говорили механики старого времени, когда вся физика еще не была проникнута общей идеей об *энергии*.”

В этом фрагменте Леви-Чивита и Амальди заключают, что материальная точка была одарена двумя формами энергии – кинетической и потенциальной. Но Природа не так щедра, как теоретики механического движения, и потому она материальной точке подарила возможность иметь только одну форму энергии – кинетическую. А потенциальная энергия, как мы показали выше, является вымышленной и не соответствующей какой-либо физической сущности.

5. Анализ понятия “потенциальная энергия”

Построение математических теорий электрического и гравитационного взаимодействий привели к введению понятия “потенциальная энергия”, имеющего одинаковый физический смысл в этих двух областях. Поэтому в данном пункте мы ограничимся рассмотрением этого понятия в теории гравитационного взаимодействия. Все нижеизложенное будет верным и в отношении электрического взаимодействия с учетом знаков взаимодействующих электрических зарядов и заменой ньютоновского притяжения тел кулоновским взаимодействием зарядов.

Сила гравитационного взаимодействия двух точечных масс m_1 и m_2 описывается законом всемирного тяготения Ньютона

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} = \frac{a}{r^2}, \quad (1)$$

где r – расстояние между массами, G – гравитационная постоянная, $a = Gm_1m_2 = const$. При анализе понятия “потенциальная энергия” мы будем рассматривать перемещение тела массой m в центральном поле сил тяготения, созданным неподвижной массой M и подчиняющимся закону (1). Во всем данном пункте под полем сил будем понимать центральное поле сил.

Работа силы поля при перемещении тела из положения 1 в положение 2 выражается в виде

$$A = \int_1^2 (\vec{F} d\vec{r}) = - \int_1^2 \frac{a}{r^2} dr = \frac{a}{r} \Big|_1^2 = \frac{a}{r_2} - \frac{a}{r_1} = U_2 - U_1, \quad (2)$$

где U_1, U_2 – соответствующие значения некоторой силовой

функции $U(r) = \frac{a}{r}$ в положениях тела 1 и 2. Работа силы

центрального поля при перемещении в нем тела равна разности значений силовой функции $U(r)$ в конечном и начальном положениях тела независимо от траектории его движения из положения 1 в положение 2. Поле, обладающее таким свойством, назвали потенциальным полем. Вместо силовой функции $U(r)$ ввели в рассмотрение потенциальную функцию, определяемую равенством

$$V(r) = -U(r). \quad (3)$$

По известной потенциальной функции $V(r)$ сила, действующая на тело со стороны силового поля, определяется по формуле

$$F = - \frac{dV}{dr}, \quad (4)$$

где F – проекция силы на радиус-вектор \vec{r} положения тела относительно центра силового поля. Из формул (2) и (3) следует, что потенциальная энергия тела равна

$$V(r) = - \frac{a}{r}. \quad (5)$$

Согласно теореме об изменении кинетической энергии T , с учетом равенства (2), запишем

$$dT = dA \Rightarrow \Delta T = T_2 - T_1 = U_2 - U_1. \quad (6)$$

Выражение для изменения силовой функции в классической механике представили в следующем виде

$$\Delta U = U_2 - U_1 = -(V_2 - V_1) = -\Delta V, \quad (7)$$

где $\Delta V = V_2 - V_1$ – изменение потенциальной энергии тела при его перемещении в поле из положения 1 в положение 2. Из равенств (6) и (7) следует, что

$$\Delta T = -\Delta V \Rightarrow T_2 - T_1 = V_1 - V_2. \quad (8)$$

Выражение (8) запишем в виде

$$T_1 + V_1 = T_2 + V_2. \quad (9)$$

Равенство (9) выражает собой закон сохранения механической энергии, из которого следует, что при увеличении кинетической энергии тела его потенциальная энергия уменьшается и наоборот. Сумма же кинетической и потенциальной энергии тела остается при любом его перемещении в силовом поле постоянной величиной.

До введения понятия потенциальной энергии в механике и физике была только одна форма механической энергии – кинетическая (по старой терминологии – живая сила). По поводу названия “живая сила”, обозначающего энергию движущегося тела, сделаем несколько замечаний. Впервые это выражение ввел Лейбниц для характеристики меры механического движения. В то время многие физические явления пытались объяснить действием некоторой силы, хотя и тогда уже было известно, что сила и “живая сила” имеют разные единицы измерения. Когда же стало известно, что наряду с механической энергией имеются еще и другие формы энергии – тепловая, химическая, электрическая, магнитная, выражение “живая сила” вовремя не заменили на выражение “кинетическая энергия” и оно на долгое время сохранилось в арсенале физической терминологии. Например, в книге [7] на стр. 158 читаем: “Термин *живая сила* был введен Лейбницем и настолько прочно вошел в употребление, что едва ли от него можно теперь отказаться. Однако термин этот неудачен, так как живая сила вовсе не есть сила.” Валле Пуссен понимает неудачность введенного термина “живая сила”, но отказываться от него не желает. Таковую позицию одобрить нельзя, так как надо всегда в физике избавляться от неудачно введенных терминов, не соответствующих физическому смыслу. Английский физик Т. Юнг (1773–1829) заменил этот термин на “энергию” [8, стр. 45, примечание]: “Произведение mv^2 со времени Лейбница (G.W. Leibnitz, 1646–1716) известно под названием “живая сила”; термин этот заменил термином “энергия” Юнг.” Однако и до настоящего времени в некоторой научной и учебной литературе устаревшее и не отвечающее физическому смыслу выражение “живая сила” продолжают использовать. Но постепенно это устаревшее название все чаще стали заменять на выражение “кинетическая энергия” и в настоящее время оно является преобладающим. Выражение “кинетическая энергия” более правильно отражает характеристику движущегося тела, как меру его механической энергии.

С введением понятия “потенциальная энергия” в механике появилась еще одна форма механической энергии – потенциальная. Введение потенциальной энергии было осуществлено формально

математически без выяснения ее физического смысла. Это введение позволило записать закон сохранения механической энергии в виде равенства (9). Возможно, это было одной из основных причин введения понятия потенциальной энергии.

Пусть r и r_0 – поочередные расстояния от тела до источника центрального силового поля, тогда имеет место следующее определение.

Определение: потенциальная энергия тела в точке r равна работе силы поля при перемещении тела из этой точки в точку r_0 , в которой условно считают потенциальную энергию равной нулю, т.е. $V(r_0) = 0$.

Для центрального поля потенциальная энергия тела равна

$$V(r) = \int_r^{r_0} (\vec{F} d\vec{r}) = - \int_r^{r_0} \frac{a}{r^2} dr = \frac{a}{r} \Big|_r^{r_0} = \frac{a}{r_0} - \frac{a}{r} = -\frac{a}{r}, \quad (10)$$

где при $r_0 = \infty$, $\frac{a}{r_0} = 0$. Выбор точки r_0 , в которой потенциальная

энергия принимается равной нулю, является произвольным, исходя из удобства решаемой задачи. Это связано с тем, что изменение кинетической энергии (8) зависит лишь только от разности потенциальных энергий тела, находящегося в двух разных положениях, и при любом выборе начала отсчета нулевого значения потенциальной энергии будет одним и тем же.

Определим выражение для потенциальной энергии тела, выбрав в качестве ее нулевого значения, точки, находящиеся на расстоянии $r_0 = const \neq 0$ от центра силового поля. Формально потенциальная энергия определяется прежним выражением (10)

$$V(r) = \frac{a}{r_0} - \frac{a}{r}. \quad (11)$$

Тогда из (11) следует, что

$$\begin{cases} V(r) > 0, & r > r_0 \\ V(r) = 0, & r = r_0 \\ V(r) < 0, & r < r_0 \end{cases}. \quad (12)$$

Оба выражения (10) и (11) с одинаковым успехом можно использовать для всех задач небесной механики. На результатах решения это не скажется.

Во всех учебниках и научных изданиях по механике, в которых рассматривается понятие потенциальной энергии, пишут, что потенциальная энергия определяется с точностью до произвольной постоянной. И подчеркивается, что смысл имеет только изменение потенциальной энергии, а не ее величина. Неоднозначность значений потенциальной энергии тела в зависимости от выбора ее нулевого значения наводит на мысль о ее фиктивности. В самом деле, всякой энергии, согласно известному соотношению между массой и энергией $E = mc^2$, соответствует некоторая масса. Поскольку потенциальная энергия тела может иметь разные значения при одном и том же его положении в поле в соответствии с формулами (10) и (11), то и масса, соответствующая этим потенциальным энергиям будет различна. А масса связана с самой материей и определяется однозначно. Следовательно, разным значениям потенциальной энергии (в зависимости от выбора ее нулевого значения) одного и того же тела, находящегося в одном и том же месте силового поля, будет соответствовать разное количество материи, что является абсурдом. Это во-первых. Во-вторых же, потенциальная энергия может принимать отрицательные значения. По формуле (10) она всегда отрицательная. Как это так получилось, что физика смирилась с отрицательным значением потенциальной энергии. Все другие виды энергии являются положительными. Объяснение здесь может быть только одно: потенциальную энергию используют как математическую величину, не имеющую физического смысла, но удовлетворяющую закону сохранения механической энергии (9) и соответствующую изменению кинетической энергии тела. В связи с этим будем считать, что закон сохранения механической энергии (9) характеризует сохранение числовых значений рассматриваемых величин, а не сохранение разных форм энергии, поскольку на основании вышеизложенного можно сделать вывод, что потенциальной энергии не соответствует какая-либо материя. Подобного взгляда придерживается и Дж. У. Лич. [9, стр. 16]: “Можно указать на то, что, в то время как в понятии кинетической энергии имеется некоторая «реальность», нельзя утверждать того же относительно потенциальной энергии. Последняя в известном смысле является некоторой фиктивной величиной, определяемой таким образом, что изменения ее значения в точности компенсируют любые изменения кинетической энергии. Поэтому то обстоятельство, что сумма этих двух величин сохраняет постоянное значение, не является неожиданным.”

Дж. Лич не развивает дальше свои соображения по поводу фиктивности потенциальной энергии, считая, что в аналитической механике является допустимым введение некоторых уравновешивающих членов в уравнения движения, если это приводит к правильным результатам. Мы с такой точкой зрения согласиться не можем, так как потенциальной энергии в физике придается статус реальной энергии.

Свои замечания о потенциальной энергии делает и далеко не ординарный физик Л. Бриллюэн [10, стр. 30]. Однако Л. Бриллюэн не подвергает сомнению само существование потенциальной энергии, а пытается выяснить вопрос о локализации массы, соответствующей потенциальной энергии, исходя из эйнштейновского соотношения $E = mc^2$. Принятие Бриллюэном потенциальной энергии за физическую реальность говорит о том, что понятие потенциальной энергии настолько сильно утвердилось в физике, что даже для таких физиков как Бриллюэн оно не вызывает сомнений. В отличие от физика Бриллюэна математический механик Дж. Лич. [9, стр. 16] прекрасно понимает фиктивность потенциальной энергии. Бриллюэн оказался в плену ложного понятия о потенциальной энергии, сложившегося в физике. Характерно его замечание по этому поводу [10, стр. 33].

“Рассмотрим, например, систему двух взаимодействующих частиц. Можем ли мы утверждать, что потенциальная энергия локализована на одной из них? Или ее следует приписать второй? Или распределить между ними? Если *энергии отвечает масса*, то где поместить эту массу? Этот принципиальный вопрос мы и должны обсудить.”

Выше в пункте 4 мы показали, что потенциальная энергия является всего лишь математическим выражением, не имеющим физического смысла. Изменение же кинетической энергии тела при его свободном движении в силовом поле происходит не за счет несуществующей потенциальной энергии, а за счет изменения энергии силового поля.

Посмотрим теперь, что же представляет собой потенциальная энергия и почему она удовлетворяет закону сохранения (9). Из выражений (2), (6) – (8) следует, что работа силы поля равна

$$A = \Delta T = \Delta U = -\Delta V = \frac{a}{r_2} - \frac{a}{r_1}. \quad (13)$$

Из выражения (13) непосредственно видно то, о чем говорил Дж. Лич в приведенной выше цитате. Одно и то же значение работы силы поля приписали изменениям двух разных физических

величин: кинетической энергии T и формально введенной без физического обоснования потенциальной энергии. Изменение кинетической энергии выражают через скорости движущегося тела в виде

$$\Delta T = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} . \quad (14)$$

А изменение потенциальной энергии записывают так

$$\Delta V = \frac{a}{r_1} - \frac{a}{r_2} . \quad (15)$$

И если изменение кинетической энергии выражается через значения скоростей движения тела в начальной и конечной точках его перемещения, то изменение потенциальной энергии выражается через значения координат тела в этих точках. В связи с этим говорят, что потенциальная энергия тела зависит от его положения относительно центра силового поля. Однако из формулы (13) видно, что и изменение кинетической энергии тела можно записать через значения его координат в виде

$$\Delta T = \frac{a}{r_2} - \frac{a}{r_1} . \quad (16)$$

Из равенств (13) непосредственно вытекает, записанный выше, закон сохранения механической энергии (9), о котором мы уже делали свои замечания.

Пусть в момент времени t_0 тело в силовом поле занимает положение $r = r_0$, имеет кинетическую энергию $T_0 = \frac{mv_0^2}{2}$ и

потенциальную энергию $V_0 = -\frac{a}{r_0}$, определяемую по формуле

(10). А в момент времени t положение тела стало равным r , при

котором кинетическая энергия равна $T = \frac{mv^2}{2}$, а потенциальная

энергия примет значение $V = -\frac{a}{r}$. Тогда из закона сохранения

механической энергии (9) запишем, что

$$T + V = T_0 + V_0 = E , \quad (17)$$

где величина $E = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{a}{r_0} = const$ называется полной

механической энергией тела.

Таким образом потенциальная энергия, введенная чисто формально без физического обоснования, удовлетворяет закону сохранения механической энергии (9) и (17) с теми оговорками по поводу ее фиктивности, о которых мы говорили выше. Для практических вычислений в разных приложениях это удобно и облегчает вычисления. Однако при этом надо отдавать себе отчет в том, что используемая величина, называемая потенциальной энергией, не имеет физического смысла и является математической величиной, введенной специально для того, чтобы получить закон сохранения в видах (9) и (17).

Можно привести еще один пример того, как некоторая величина, не имеющая физического смысла, оказывается полезной при определении центра масс плоской однородной пластины с вырезами правильной геометрической формы. Рассчитать “в лоб” центр масс такой пластины окажется делом весьма трудоемким, требующим громоздкого интегрирования. В этом случае можно поступить следующим образом. Будем считать все вырезы заполненными тем же материалом, что и вся остальная часть пластины, и что на место этих вырезов добавим такие же по форме фигуры с отрицательной плотностью, по величине равной плотности пластины. В результате мы получим систему простых геометрических фигур: цельную пластину без вырезов и несколько фигур с отрицательными массами, центры масс которых известны. Для такой системы центр масс находим по обычной простой алгебраической формуле без интегрирования по вырезам. В этом случае центр масс был рассчитан с использованием понятия отрицательной массы, физически не существующей. Никто же не станет на этом основании считать отрицательные массы реально существующими. А способ расчета центра масс с использованием понятия отрицательной массы также никто отвергать не станет в силу его математического происхождения, упрощающего расчеты. То же самое относится и к введенному понятию потенциальной энергии.

Теоретическая механика и, в особенности, аналитическая механика исходят из чисто математического задания силового поля. Просмотрев достаточно большое количество научной и учебной литературы по этому предмету, мы не обнаружили даже попыток

физического обоснования вводимого силового поля. В этой литературе обычно пишут так.

Пусть задана некоторая силовая функция $U(x, y, z)$, обладающая свойствами

$$F_x = \frac{\partial U}{\partial x}, \quad F_y = \frac{\partial U}{\partial y}, \quad F_z = \frac{\partial U}{\partial z}. \quad (18)$$

После чего вводят функцию $V(x, y, z) = -U(x, y, z)$, которую называют потенциальной. Все, после этого используют введенную потенциальную функцию для описания движения тела в силовом поле. Иногда доказывают, что такая силовая функция $U(x, y, z)$ всегда существует для потенциального силового поля. Для центрального силового поля такого доказательства не требуется, поскольку силовая функция в этом случае сразу же образуется после интегрирования при вычислении работы силы поля по перемещению тела из одного положения в другое.

Использование потенциальной энергии в процессах описания движения тела в силовом поле не противоречит наблюдениям по той причине, что потенциальная функция была введена из выражения для правильно вычисленной работы силы поля по перемещению в нем тела, т.е. используют следующие равенства

$$A = U_2 - U_1 = V_1 - V_2 = -(V_2 - V_1) = -\Delta V. \quad (19)$$

Поэтому использовать в приложениях понятие потенциальной энергии можно, не забывая при этом, что она не имеет физического смысла и является чисто математической величиной, физически не обоснованной и потому с точки зрения физики является фиктивной. В связи с фиктивностью понятия потенциальной энергии изменение кинетической энергии тела при его перемещении в силовом поле следует объяснять другим образом без использования понятия потенциальной энергии.

Опишем теперь, за счет какой энергии происходит изменение кинетической энергии тела при его движении в силовом поле. Процессы изменения кинетической энергии тела при его движении в силовом поле уже были описаны нами ранее, например в [11, стр. 85]. Силовое поле, в частности гравитационное поле, является материальной средой, обладающей энергией $W_0 > 0$. Поэтому изменение кинетической энергии свободно движущегося в этом поле тела происходит за счет соответствующего изменения энергии поля.

При увеличении кинетической энергии тела энергия поля уменьшается и наоборот при уменьшении кинетической энергии тела энергия поля увеличивается.

Сила поля, действующая на находящееся в нем тело, в этих процессах выполняет роль преобразователя энергии.

При увеличении скорости тела происходит поглощение телом материи в виде элементов поля (см. нашу работу [12, стр. 115]) из материальной структуры силового поля, что и приводит к увеличению кинетической энергии, т.е. часть энергии поля переходит в кинетическую энергию тела.

При уменьшении скорости тела в силовом поле (торможение) часть кинетической энергии тела переходит в материальную структуру поля, увеличивающей его энергию.

В этих процессах изменения кинетической энергии тела наглядно видим выполнение закона сохранения и превращения энергии из одной формы в другую.

Введя в рассмотрение энергию поля W , являющейся всегда величиной положительной, для описания движения тела в силовом поле, надобность в введении потенциальной энергии, являющейся фиктивной с точки зрения физики, отпадает.

Исходя из этого запишем

$$T_1 + W_1 = T_2 + W_2, \quad (20)$$

где T_1, T_2 – кинетические энергии тела в положениях 1 и 2;

W_1, W_2 – энергии поля в моменты времени, когда тело находится в положениях 1 и 2 соответственно.

Равенство (20) является выражением закона сохранения энергии при движении тела в силовом поле. Из равенств (2), (20) и из теоремы об изменении кинетической энергии получим

$$A = \Delta T = T_2 - T_1 = -(W_2 - W_1) = -\Delta W = \frac{a}{r_2} - \frac{a}{r_1}. \quad (21)$$

Из формулы (21) видно, что нам не надо знать само значение энергии поля W , а только ее изменение ΔW . Используя равенства (21), выражение для энергии центрального поля, в котором находится тело m на расстоянии r от его центра, запишем в виде

$$W(r) = W_0(r_0) - \left(\frac{a}{r} - \frac{a}{r_0} \right), \quad (22)$$

где $W_0(r_0) = const$ – полная энергия силового поля, соответствующая всей материальной структуре поля,

распределенной по всему объему, занимаемому полем, когда тело находится на расстоянии $r_0 = const$ от центра силового поля; $W(r)$ – энергия поля, когда тело находится на расстоянии r от центра силового поля. Величина $\left(\frac{a}{r} - \frac{a}{r_0}\right) \geq 0$ численно равна работе,

которую совершает сила поля при перемещении тела от положения r_0 до положения r ($r \leq r_0$), т.е. эта величина равна энергии, которую тело поглотило из поля. Для реальных физических полей величина r_0 всегда имеет конечное значение, т.е. она является внешней границей поля и потому всегда выполняется неравенство $r \leq r_0$. Вопрос об ограниченности радиуса действия электрических и гравитационных сил мы рассматривали в работе [12, стр. 112].

Из формулы (22) следует, что $W(r) > 0$ всегда, так как энергия поля $W_0 \gg \frac{a}{r} - \frac{a}{r_0}$. Из этой формулы также следует, что величина

ΔW , входящая в равенства (21), не зависит от постоянной W_0 и от величины $\frac{a}{r_0}$. Формально равенства (20) и (21) соответствуют

аналогичным равенствам, записанным при помощи использования потенциальной энергии тела. Однако, как это было показано выше, изменение кинетической энергии тела происходит не за счет изменения вымышленной потенциальной энергии, а за счет изменения энергии силового поля.

6. Доказательство отсутствия потенциальной энергии

Доказательство первое.

Пусть два точечных электрических заряда Q и q противоположных знаков находятся на расстоянии R друг от друга, при этом заряд Q считаем неподвижным, а Q и q – абсолютные значения зарядов. Нулевое значение потенциальной энергии выберем на расстоянии R от заряда Q , тогда потенциальная энергия заряда q будет равна

$$V(r) = \left(\frac{qQ}{R} - \frac{qQ}{r} \right) \geq 0, \text{ для } r \geq R.$$

Из этой формулы видно, что для $r \gg R$ потенциальная энергия заряда q станет равной

$$V_1(r) = \frac{qQ}{R}.$$

Потенциальная энергия заряда q равна работе внешней силы при его перемещении от положения R до положения $r = r_0$.

Пусть теперь мы имеем два небольших неподвижных (закрепленных) незаряженных шарика, находящихся на расстоянии $r_0 \gg R$ друг от друга, тогда их потенциальная энергия будет равна $V_2(r) = 0$, так как шарики были не заряжены. Если теперь этим шарикам сообщить заряды Q и q противоположных знаков (здесь Q и q – абсолютные значения зарядов), то потенциальная энергия этих зарядов не изменится, т.е. по-прежнему $V_2(r) = 0$, так как в этом случае заряд q , в поле заряда Q не перемещался, вследствие чего внешняя сила никакой работы не совершала.

В этих двух случаях мы имеем два одинаковых внешних состояния заряда q , находящегося на одном и том же расстоянии $r_0 \gg R$ от неподвижного заряда Q . Но в первом случае потенциальная энергия заряда q равна $V_1(r) = \frac{qQ}{R}$, а во втором случае $V_2(r) = 0$. Состояние же электрического поля в этих двух случаях будет разным.

В первом случае при перемещении заряда q от его положения R до положения $r = r_0$ внешняя сила совершила работу, затратив энергию $V_1(r) = \frac{qQ}{R}$. Эта энергия перешла в энергию электрического поля, т.е. она не локализована на самом заряде q в виде потенциальной энергии. Энергия $V_1(r) = \frac{qQ}{R}$ распространилась по всему объему электрического поля. Внешняя сила при совершении работы передавала полю энергию во всех точках

нахождения заряда q во время его перемещения. Сумма всех этих энергий и составляет энергию $V_1(r) = \frac{qQ}{R}$, затраченную внешней силой на перемещение заряда q от его положения R до положения $r = r_0$.

Во втором случае заряд q не перемещался в поле заряда Q , поэтому внешняя сила работы против силы поля не совершала ($V_2(r) = 0$), вследствие чего поле не получило никакой дополнительной энергии оттого, что заряд q находится на расстоянии $r = r_0$ от заряда Q .

Если теперь заряд q освободить от действия внешней силы, удерживающей его в положении $r = r_0 \gg R$ (а заряд Q оставить закрепленным), то он под действием силы притяжения будет двигаться к заряду Q . В обоих случаях заряд q будет иметь на данном расстоянии r от заряда Q одну и ту же кинетическую энергию, равную работе силы электрического поля, т.е.

$$T_1 = T_2 = \frac{qQ}{r} - \frac{qQ}{r_0}, \text{ где } r < r_0.$$

В силу того, что потенциальные энергии заряда q , находящегося на расстоянии $r = r_0 \gg R$ от заряда Q , были разными в этих двух случаях ($V_1(r) = \frac{qQ}{R}$, $V_2(r) = 0$), а его кинетическая энергия в этих двух случаях оказалась одинаковой, то отсюда заключаем, что кинетическая энергия заряда q возросла при его движении от положения $r = r_0$ до положения r не за счет потенциальной энергии заряда q , а за счет энергии поля.

Из рассмотренного примера видно, что потенциальная энергия локализована в поле, а не на заряде.

Аналогичные выводы мы получим, если вместо зарядов Q и q взять массы M и m двух тел соответственно. В первом случае внешняя сила совершает работу против силы тяготения при перемещении тела m от его положения R до положения $r = r_0$, в результате чего потенциальная энергия тела m будет отлична от

нуля. Во втором случае тело m уже находилось на данном расстоянии $r = r_0$ и внешняя сила не совершала работы по его перемещению, вследствие чего потенциальная энергия тела m будет равна нулю.

При обратном движении тела m к телу M в обоих этих случаях кинетическая энергия тела m будет одной и той же при одинаковых его положениях r , в то время как потенциальные энергии тела m , находившегося на расстоянии $r = r_0$ от тела M , в этих двух случаях

были разными: $V_1(r) = \frac{GmM}{R}$, $V_2(r) = 0$. Отсюда заключаем,

что кинетическая энергия тела m при его движении к телу M увеличивается за счет энергии гравитационного поля, а не за счет предполагаемой потенциальной энергии тела m .

Это так же, как и в примерах со сжатым газом и растянутой проволокой, рассмотренных в пункте 3, потенциальная энергия локализована в среде, с которой взаимодействует тело (заряд). Для чисто механического движения тела (заряда) все равно считать, где локализована потенциальная энергия. Формально ее можно относить к телу (заряду), от этого характер движения тела (его траектория) не изменится. Однако (это будет изложено ниже) изменение кинетической энергии тела связано с изменением плотности поля в точках нахождения тела, от которой зависит сила взаимодействия тела (заряда) с полем. В этом случае вопрос о выяснении места локализации потенциальной энергии является совершенно необходимым.

Таким образом под понятием потенциальной энергии следует считать энергию, локализованную в среде, с которой взаимодействует тело (заряд). Для электрического и гравитационного полей потенциальная энергия локализована по всему объему этих полей соответственно. И в тех задачах, в которых изменением плотности поля, связанного с изменением кинетической энергии тела, можно пренебречь, условно можно считать, что потенциальная энергия относится к телу (заряду).

Поэтому отнесение потенциальной энергии тела в механике и физике к самому телу является неверным и именно с этой точки зрения потенциальную энергию следует считать математической величиной, которая не является энергией самого тела.

Доказательство второе.

Ни у кого не вызывает сомнения тот факт, что энергия, приобретаемая элементарными частицами при их ускорении в

ускорителях, черпается из самого электрического поля, в котором они движутся. Поскольку электрическое взаимодействие заряда с полем как в ускорительной технике, так и в случае его движения в поле другого, например неподвижного, заряда, является одной и той же природы, то из того, что в ускорителях заряд энергию потребляет из поля, следует, что и при движении заряда в поле другого неподвижного заряда увеличение кинетической энергии движущегося заряда также происходит за счет энергии поля неподвижного заряда. При торможении заряда в поле он часть своей кинетической энергии отдает полю. Отсюда также следует, что никакой потенциальной энергии не существует. Изменение кинетической энергии движущегося в электрическом поле заряда вызывает соответствующее изменение энергии электрического поля, занимающего обширную область пространства. Поэтому надобность в использовании вымышленной потенциальной энергии отпадает.

7. Взаимодействие тела с гравитационным полем и заряда с электрическим полем

Везде в дальнейшем под словом “тело” будем понимать материальную точку соответствующей массы.

Из рассмотренных в пункте 3 примеров со сжатым газом и растянутой проволокой можно сделать следующий вывод:

Изменение кинетической энергии тела, взаимодействующего с некоторой средой, сопровождается соответствующим изменением полной энергии этой среды, таким образом, что сумма кинетической энергии тела и полной энергии среды во все время движения тела остается постоянной.

Тогда из этого положения следует, что и для электрического и для гравитационного полей потенциальная энергия относится не к находящимся в этих полях заряду и телу соответственно, а к материальной структуре этих полей. В этом случае выражения “потенциальная энергия” или “изменение потенциальной энергии” будут являться условными, характеризующими изменения энергии материальной структуры этих полей.

В том, что электрическое поле представляет собой некоторую материальную структуру, в настоящее время никто сомневаться не будет. Точно также и гравитационное поле представляет собой некоторую материальную структуру, несмотря на другое понимание

этого поля в общей теории относительности, которое является гипотетическим.

Рассмотрим с этой точки зрения процесс движения тела в гравитационном поле. То же самое будет относиться и к процессу движения заряда в электрическом поле.

Будем считать справедливым следующее положение:

Сила взаимодействия материальной точки с полем определяется плотностью поля в точке нахождения материальной точки и ее массой.

Это положение примем без дальнейшего пояснения в данной работе. Заметим только, что в соответствии с идеей о близкодействии, величина силы взаимодействия тела с полем определяется той средой, в которой находится тело, и его массой. А эта среда (поле) характеризуется плотностью материальной структуры этого поля, поэтому вполне является правдоподобным, что сила взаимодействия тела с полем определяется его массой и плотностью поля.

Из приведенного несколькими строками выше положения об изменении кинетической энергии движущегося в поле тела следует, что изменение его кинетической энергии и изменение плотности поля в точке нахождения тела являются взаимосвязанными. Следовательно, плотность поля в точке нахождения движущегося в нем тела изменяется. А поскольку сила взаимодействия тела с полем зависит от плотности поля в точке нахождения тела, то в общем случае эту зависимость следует учитывать.

В силу того, что полная энергия материального гравитационного поля во много раз больше кинетической энергии движущегося в нем тела, то процесс изменения плотности поля в точке нахождения тела не скажется заметным образом на взаимодействии тела с этим полем. Движение тела в поле будет выглядеть так, особенно в случае нерелятивистской его скорости, словно оно происходит в стационарном поле.

Изменение плотности поля в точке нахождения движущегося в нем тела, происходящее либо за счет поглощения из него энергии, идущей на увеличение кинетической энергии тела, либо за счет поступления в него части кинетической энергии тела при ее уменьшении, распределяется со скоростью передачи возмущения плотности материальной структуры этого поля на всю область пространства, занимаемую полем. Поскольку скорость распространения возмущения плотности поля является достаточно высокой (в настоящее время эта скорость экспериментально еще не

измерена ни для электрического поля, ни для гравитационного поля, поэтому скорость распространения возмущения плотности электрического поля априори нельзя считать равной скорости света), то изменение плотности поля в точке нахождения тела будет достаточно быстро скомпенсировано за счет процесса распространения возникшего возмущения плотности по всему полю. Вследствие этого движение тела в поле с нерелятивистской скоростью будет выглядеть как движение в стационарном поле. Для тела, движущегося в поле с релятивистской скоростью, необходимо будет уже учитывать изменение плотности поля в точке нахождения тела, вызванное изменением его кинетической энергии, так как от плотности поля зависит величина силы взаимодействия тела с полем, как это было замечено выше.

О скорости распространения гравитационного взаимодействия высказывался и Л. Бриллюэн [10]. Вот некоторые его замечания по этому поводу.

Стр. 29: “Согласно условию (1.3), мы должны принять, что скорость распространения гравитации меньше или по крайней мере равна скорости света c :

$$v_g \leq c . \quad (1.5)$$

Эйнштейн предположил, что

$$v_g = c , \quad (1.6)$$

и, по-видимому, ученые приняли это предположение как самоочевидное.

Однако оно вовсе не очевидно, поскольку *нет никаких экспериментальных измерений v_g .*”

Стр.51: “Прошло столетия с тех пор, как Эйнштейн сформулировал свое предположение, целых пятьдесят лет, в течение которых многие экспериментаторы упорно работали над этой проблемой, но они не смогли осуществить никакого экспериментального измерения этой скорости. Такое положение не может не вызывать беспокойства.”

Утверждать точно, что скорость распространения гравитации меньше или равна скорости света, мы не можем. В общем случае скорость распространения возмущения поля не обязана должна быть равной скорости света в вакууме. Не исключено, что она может быть и больше этой скорости. Теоретически установить это невозможно, потому дело за опытом. Нам известно, что масса тела зависит от скорости его движения таким образом, что при приближении скорости тела к скорости света его масса неуклонно возрастает до больших значений (теоретически до бесконечности). Отсюда следует, что материальный объект не может двигаться быстрее скорости света. Свет также представляет собой

материальный объект (фотон) с нулевой массой покоя, поэтому он движется с наиболее высокой скоростью, достижимой для материальных объектов. Конечно, скорость света может зависеть и от плотности энергии поля, в котором он распространяется. Доказательством этому служат факты зависимости скорости света от показателя преломления среды, в которой он распространяется. Распространяясь в среде, свет проходит через участки электрических атомных полей, плотность энергии которых для разных веществ различна. Отсюда и возникает разная скорость света в зависимости от показателя преломления среды, который определяется средней плотностью энергии электрических атомных полей. Точно также и опыты по задержке радиосигнала, проходящего вблизи массивного тела (звезды), объясняются уменьшением скорости света в области с более высоким по величине гравитационным потенциалом. Известные опыты Шапиро с узконаправленным лазерным лучом, отражающимся от Меркурия и проходящим на обратном пути к Земле вблизи Солнца, показали уменьшение скорости лазерного луча вблизи Солнца по сравнению с его скоростью вдали от него. Здесь точнее будет сказать, что скорость света зависит не от величины гравитационного потенциала, а от плотности энергии гравитационного поля на пути распространения света.

Бриллюэн сетует, что за многие десятки лет скорость распространения гравитационного взаимодействия так и не была измерена. Однако такая возможность существует. В свое время велись многочисленные испытания атомного оружия. Взрыв атомной (водородной) бомбы производит сильное возмущение гравитационного поля в месте взрыва, которое распространяется вблизи поверхности Земли со вполне определенной скоростью. Во время таких испытаний несомненно измерялись изменения гравитационного поля Земли всевозможными гравиметрами. Измерялась ли при этом и скорость распространения гравитационного возмущения? Если и измерялась, то эти данные засекречены. Если чувствительность используемых измерительных средств была достаточной для фиксации пришедшего гравитационного возмущения к месту его детектирования, то скорость распространения гравитации была уже установлена и засекречена. Так что вполне вероятно, что военные ведомства хранят за семью печатями эту сокровенную для физики тайну. Если же чувствительность измерительных средств оказалась недостаточной, то вопрос остается открытым. Следует повторить

измерение гравитационного возмущения, вызванного взрывом атомной или водородной бомбы большой мощности. При этом в качестве детектора такого возмущения можно использовать чувствительные гравиметры или какие-то другие средства. Однако необходимо при этом учитывать, что время действия гравитационного возмущения на детектор мало ввиду достаточно высокой скорости распространения гравитации. Поэтому надо использовать измерительные средства с малой инертностью на принимаемый сигнал.

Скорость распространения возмущения в электрическом поле также никем не была измерена. Полагают, что она равна скорости света в вакууме. Поэтому здесь также необходимы прямые измерения скорости распространения возмущения электрического поля.

Также и в случае взаимодействия заряда с электрическим полем будет происходить изменение плотности электрического поля в соответствии с изменением кинетической энергии заряда в данной точке. Это изменение плотности электрического поля будет приводить к изменению напряженности электрического поля, которое в свою очередь будет влиять на силу электрического взаимодействия заряда с полем. И хотя электродинамика Максвелла и построена на концепции близкодействия, она не учитывает изменение плотности электрического поля, происходящее от изменения кинетической энергии движущегося в этом поле электрического заряда. Не учитывается это обстоятельство и в квантовой электродинамике.

Изменение напряженности поля, вызванное изменением кинетической энергии движущегося в этом поле тела или заряда, составляет предмет теории возмущения поля, физические основы которой будут нами представлены в отдельной работе.

Литература

1. Дуков В.М. Электродинамика. – М.: Высшая школа, 1975.
2. Г. Гельмгольц. О сохранении силы. ГТТИ, 1934.
3. Макс Планк. Введение в теоретическую физику. Часть 1. Общая механика. ГТТИ, 1932.
4. Кравец Т.П. Эволюция учения об энергии. УФН, Том XXXVI, вып. 3, 1948.
5. Н.А. Умов. Теория простых сред и ее приложение к выводу основных законов электростатических и

- электродинамических взаимодействий. Записки Новороссийского университета, 10, стр. 1–60, 1871.
6. Леви-Чивита Т., Амальди У. Курс теоретической механики. Том 1, часть 1. – М.: ИЛ, 1952.
 7. Ш.-Ж. де ла Валле Пуссен. Лекции по теоретической механике. Т.1, – М.: ГИИЛ, 1948.
 8. Ламб Г. Теоретическая механика. Т. 2, – М., – Л.: ГТТИ, 1935.
 9. Лич Дж. У. Классическая механика. – М.: ИЛ, 1961.
 10. Л. Бриллюэн. Новый взгляд на теорию относительности. – М.: Мир, 1972.
 11. Недосекин Ю.А. Одномерное движение двух тел и двух электрических зарядов. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2007, вып. 5.
 12. Недосекин Ю.А. Природа пространства и физических полей. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», Россия-Израиль, 2005, вып. 2.

Карпов М.А.

О проявлениях реакции холодного ядерного синтеза в различных средах.

Аннотация

Не смотря на упорное молчание официальной канонизированной науки, в последнее время появляется все больше сообщений об экспериментальном обнаружении протекания реакции холодного ядерного синтеза в кристаллах, в жидкости и при электрических разрядах в газах. В рамки традиционных представлений эти явления не вписываются, поэтому всегда возникают трудности их теоретического обоснования. Однако, все указанные физические процессы, хотя и происходят в различных средах, имеют общую природу. Их объединяет мощное механическое, ударное воздействие на атомы среды порядка одного или нескольких электрон-вольт на каждый атом. От чего же при этом происходят процессы так называемой ядерной трансмутации?

Оглавление

Вступление

1. Твердые тела (кристаллы)
2. Жидкости (сонолюменисценция).
3. Электрические разряды в газах.

Вступление

Как указывалось в статье «Энергетически выгодный холодный ядерный синтез. Возможно ли это?» [9], «виновниками» этого являются частицы, не имеющие электрического заряда и обладающие массой (положительной кривизной) $0,36 m$ электрона или 180 кэВ. (откуда взялось это значение более подробно в статье «Спектр масс элементарных частиц, связь микро и макро масштабов, соотношение космических энергий».) Они концентрируются вокруг атомных ядер и имеют энергию связи порядка нескольких

электрон-вольт. При энергичном механическом воздействии эти частицы-поля, размером около $10(-9)$ см могут придать в свободное движение.

Отдельно следует отметить то, что в подтверждение существования этих частиц служит также следующее необычное обстоятельство. Полностью ионизированные ядра атомов некоторых элементов из стабильных становятся радиоактивными, а у некоторых радиоактивных элементов при полной ионизации период полураспада сокращается в миллионы раз [1, 2].

Итак, попытаемся разобраться, как эти частицы проявляют себя на примере различных сред.

1. Твердые тела (кристаллы)

К различным проявлениям таких эффектов в кристаллах относятся:

- рентгеновское излучение, в десятки и сотни кэВ, возникающее при механическом разрушении кристалла;

- выделение значительного количества тепла и прохождение слабоинтенсивных реакций ядерного синтеза дейтерия при электролизе на палладиевом электроде (опыты Флейшмана и Понса 1989г.);

- трансмутация ядер исходного элемента при облучении его пучком электронов энергией до 1 МэВ и общей энергией в импульсе до 1кДж (опыты украинской лаборатории «Протон-21» 2003г.) [3]

Особенно стоит остановиться на последней работе украинских экспериментаторов. Облучая медную (а также Ag и Pb) мишень размером порядка 100 мкм пучком электронов, они получили изменение химического состава исходного вещества. При этом они измеряли спектр рентгеновского излучения, возникающего в результате этого воздействия, а также спектр излучения в так называемом режиме имитации (т.е. внешнее воздействие аналогичное, но не приводит к взрывному разрушению более крупной мишени).

В результате, спектр, возникающий при взрыве мишени, имеет первый максимум в районе около 30 кэВ, второй (более пологий) максимум при 60-70 кэВ, и пересекается со спектром в режиме имитации в точке 180 кэВ. Конечно, в условиях прохождения ядерных реакций спектр излучения сильно трансформируется,

однако, можно предположить, что эти максимумы образуются в результате первичного и вторичного комптоновского рассеяния электронов на частицах с исходной энергией 180кэВ.

Это обстоятельство может служить косвенным экспериментальным подтверждением существования вышеуказанных частиц.

2. Жидкости (сонолюменисценция).

Эксперименты, проведенные в 2002г. совместно американскими и российскими учеными, подтвердили прохождение ядерных реакций в условиях акустической кавитации в жидкости или сонолюменисценции.[4]

В начале в качестве среды использовался так называемый «тяжелый ацетон», то есть ацетон, атомы водорода в котором заменены атомами дейтерия. В качестве «стимулятора» реакции применяли поток нейтронов энергией 14 МэВ.

Затем, вместо облучения нейтронами, для большей «чистоты» эксперимента, в качестве среды для воздействия ультразвука применили смесь того же ацетона и бензола с растворенным в ней ураном. По оценкам, скорость атомов среды в момент схлопывания пузырьков достигала нескольких километров в секунду. При этом количество реакций ядерного синтеза достигало 100000 в секунду.

Следует особо отметить, что продуктом реакции был тритий, а не гелий, как и в опытах Флейшмана и Понса в кристаллической решетке. Это удивительно, поскольку в условиях высоких термоядерных температур, обе реакции (с образованием трития и гелия) идут равновероятно. Это обстоятельство еще раз указывает на то, что слияние ядер дейтерия происходит не под действием сверхтемператур, а под действием их поляризации и притяжения в поле (положительная кривизна) вышеупомянутых частиц без электрического заряда энергией 180 кэВ.

Источником их образования в среде являлись, сначала нейтроны, «сбивающие» их с ядер среды, а затем ядра урана. При резком торможении в момент схлопывания пузырька, энергия ядер урана достигала нескольких электрон-вольт, что превышает энергию связи данных частиц с ядром урана, для которого ее значение не велико.

Возвращаясь к кристаллам, следует заметить, что при столкновении уранового снаряда с целью тепловая энергия,

выделяемая при этом, превышает кинетическую энергию снаряда в несколько раз. То есть, при соударении снаряда с броней, данные частицы отрываются от ядер урана и приходят в свободное движение, сталкиваясь и поглощаясь узлами кристаллической решетки, что вызывает дополнительный разогрев и разрушение кристалла. Таким образом, можно предположить, что при резком торможении уранового снаряда, насыщенного дейтерием и летящего со скоростью 2-3 км/с, может выделиться огромная энергия.[5, 6]

3. Электрические разряды в газах.

Несколько лет назад американскими физиками было экспериментально обнаружено рентгеновское излучение, возникающее при разряде молнии в атмосфере. Максимум его спектра приходился на энергии 50-60 кэВ. Было также зарегистрировано излучение в сотни кэВ, возникающее в момент формирования «лидера» молнии, а со спутников регистрировалось излучение около 1 МэВ. Эти явления объяснялись торможением так называемых «убегающих» электронов, достигающих в условиях мощного разряда значительных энергий.[7]

Однако, в 2005г. появилось сообщение, что так же американцами обнаружено подобное рентгеновское излучение при электрическом искровом разряде в атмосферном воздухе при нормальном давлении и напряжении порядка 1,5-2 млн. вольт, что во много раз меньше напряжений, возникающих при разряде молнии.

И, наконец, в 2007г. в Журнале Технической Физики появилась статья российских экспериментаторов «О рентгеновском излучении при объемных разрядах в воздухе атмосферного давления». В конце статьи приведен спектр распределения электронов по энергии, который очень напоминает классический спектр комптоновского рассеяния электронов на частицах с определенной энергией. По характерному «срезу» или максимальной энергии, передающейся при «лобовом» столкновении можно определить энергию рассеивающих электроны частиц. При энергии «среза» в 70-80 кэВ эта энергия равна 180 кэВ.[8]

Причем, амплитуда импульсов напряжения в этих экспериментах составляла всего 100-200 кВ.

Эти данные являются уже не косвенным, а прямым подтверждением реального существования частиц, о которых идет речь в этой статье.

Реакций холодного ядерного синтеза в этих экспериментах не происходило, но они происходят в молниях, о чем свидетельствует наличие квантов с энергией около 1 МэВ, возникающих, очевидно, при слиянии двух ядер в молекуле водорода, содержащегося в воздухе.

Литература

1. Д.В. Филиппов, А.А. Рухадзе, Л.И. Уруцкоев. Изменение условий стабильности ядер и параметров радиоактивного распада при ионизации атомов. XXXI Звенигородская конференция по физике плазмы и УТС 16-20 февраля 2004г.
2. Bosch F., Faestermann T., Friese J., et al., Phys. Rev. Lett., 1996,77,5190
3. С.В.Адаменко, В.И.Высоцкий. Успешная реализация полномасштабного коллапса твердотельной мишени и современные проблемы энергетики. Интеграл N7(27) янв.-февр.2006г. с.32-35
4. R.P. Taleyarkhan, J.S.Cho, S.D.West, R.T.Lahey, R.I.Nigmatulin, and R.C.Block. Additional evidence of nuclear emissions during acoustic cavitation.
5. В.В. Яворский. Энергия «из ниоткуда»././ Наука и жизнь.N10 1988г.
6. М. Марахтанов. Металл взрывается // Наука и жизнь.N4 2002г.
7. Е.А. Мареев, В.И. Трахтенгерц. Загадки атмосферного электричества././ Природа.N3 2007г.
8. В.Б. Братчиков и др. О рентгеновском излучении при объемных разрядах в воздухе атмосферного давления. // ЖТФ, 2007, том 77, вып.7
9. М.А. Карпов. Энергетически выгодный холодный ядерный синтез. Возможно ли это? «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», printed in USA, Lulu Inc., ID 1146081. Россия-Израиль, 2007, вып. 6, ISBN 978-1-4303-0843-0.

Потапов А.А.

Поляризационный радиус атомов

Аннотация

Дается краткий анализ известных уравнений связи поляризуемости атома с его радиусом. Приводится обоснование поляризационного радиуса атомов как атомной константы. По определению он представляет максимальное расстояние между ядром и валентными электронами, которое складывается из суммы межоболочечных расстояний. Получены соотношения для расчета радиусов могоэлектронных атомов. Дается обоснование необходимости введения поляризационного радиуса, Приведены рассчитанные по этим соотношениям радиусы элементов $II \div V$ периодов таблицы Менделеева.

Атомы как исходные структурные единицы нашего мироздания предопределяют его устройство и наше понимание окружающего мира. Одним из основополагающих параметров атома является радиус, характеризующий его пространственную протяженность. В настоящее время принято считать, что “размеры атомов определяются его электронной оболочкой, не имеющей строго определенных границ, поэтому значение радиуса и объема зависят от их экспериментального определения” [1, с.146]; и дальше [1, с.156]: ”Так как атомы не имеют четких границ, при введении понятия “атомный радиус” подразумевают, что 90 – 98% электронной плотности атома заключено в сфере этого радиуса“. Такое формализованное определение радиуса атома фактически исключает возможность его практического применения. С другой стороны, атомы, играющие роль строительных кирпичиков вещества, казалось бы, должны обладать предельно высокой твердостью и соответствующей ей определенностью их геометрических размеров. Возникает явное противоречие между декларируемой неопределенностью атомных границ и наблюдаемой устойчивостью объектов окружающего мира. Причина данного противоречия, очевидно, кроется: 1) в безальтернативной трактовке официальной наукой внутриатомного строения, основанной на представлениях о диффузной природе волновой функции электронов; 2) в неопределенности имеющихся данных измерений так называемых радиусов атомов (ковалентных,

ван-дер-ваальсовых, металлических и т.п.); 3) в отсутствии убедительной модели электронного строения атома, способной преодолеть господствующую в настоящее время идеологию бесструктурного атома.

К полемике по п.1, которая безрезультативно продолжается вот уже 80 лет [2-6], трудно что-либо добавить; по теме рассматриваемого в настоящей статье вопроса можно лишь констатировать то, что все попытки распространить уравнение Шредингера на многоэлектронные атомы не увенчались успехом, не оставляя никаких надежд на положительное решение данной проблемы. Сама идея самосогласованного поля, лежащая в основе решения многоэлектронной задачи, не отвечает физической реальности, в том числе она не соответствует оболочечной модели атома.

По п.2 можно отметить следующее. Наибольшее хождение на практике находят ван-дер-ваальсовы, ковалентные, ионные, металлические и орбитальные радиусы [1, с.156; 7]. По существу они вовсе не являются радиусами. Ван-дер-ваальсов “радиус” (как половинное расстояние между атомами в конденсированном состоянии вещества) приближается к действительному радиусу атома лишь в гипотетическом пределе малости межатомных взаимодействий; ковалентный “радиус” (как половинное расстояние между атомами в составе молекулы) приближается к действительному радиусу атома в приближении малости химической связи. Приблизительно такой же условный смысл имеют металлический и ионный “радиусы” [8]. Орбитальный радиус - это радиус главных максимумов радиальной плотности атомных орбиталей [7]. Это не измеряемая величина. Считается, что орбитальные радиусы рассчитываются “из первых принципов”. Это не верное утверждение, поскольку их Основанием для данного утверждения может служить то, что расчет включает процедуру нормирования подгоночных параметров (через так называемые константы экранирования и/или эффективного главного числа) по экспериментальным данным потенциалов ионизации I атомов [89, с. 339]. Т.е., орбитальные радиусы не являются абсолютными; они опосредованы данными измерения потенциалов ионизации. Все перечисленные здесь “радиусы” не имеют общего основания, и их сравнение не имеет смысла безотносительно указания на то, в каком состоянии находится атом [10, 11].

Вопрос по п.3, по своей сути, является предметом исследования настоящей статьи. В этой связи обратимся к эмпирическому

подходу исследования вещества. В его основе лежит теория линейного отклика, описываемая соотношением $x = \chi X$, и которая заключается в установлении характера отклика X вещества на внешнее воздействие X ; величина χ – это обобщенная восприимчивость, являющаяся функцией отклика x и несущая исходную информацию о строении вещества [10, 12]. В общем случае величина χ является результатом совокупного действия составляющих его атомов, т.е. $\chi = \alpha N$, где N – атомная плотность, а коэффициент пропорциональности, α – обобщенная поляризуемость, выступает в данном случае как элементарное свойство, т.е. свойство приведенное к одному атому. Как всякое “свойство”, поляризуемость атома является функцией «состава» N , «структуры» S и «энергии связи» U . Данную задачу можно существенно упростить, если обеспечить условие малости межатомных взаимодействий (т.е. задать $U \rightarrow 0$). На практике это достигается, благодаря выполнению измерений величин χ и N в газовой фазе при относительно небольших давлениях, т.е. при условии $\alpha = \lim_{N \rightarrow 0} \frac{\chi}{N}$ [10]. Под “составом” надо понимать общее

число электронов и ядро с зарядом, которым задается порядковый номер z элемента таблицы Менделеева. Т.е “состав” атомов можно считать заданным. Поэтому поляризуемость каждого из атомов оказывается однозначной функцией его “структуры”. “Структура” атома – это его электронная конфигурация, характеризующая взаимное расположение электронов в каждой из оболочек, а также самих оболочек по отношению друг к другу и к ядру. В силу сферической симметрии атомов, единственной характеристикой его “структуры” выступает радиус.

Обобщенная восприимчивость χ как количественная мера обобщенного свойства представляет одно из главных свойств (по признаку воздействующего физического поля X) из числа механических, тепловых, электрических, магнитных и оптических свойств [12]. Данная классификация применима и к атомам с учетом специфики эксперимента; она заключается в том, что для обеспечения атомной индивидуальности, измерение величины χ , как уже было отмечено выше, должно выполняться в газовой фазе при относительно невысоком давлении. В этих условиях «механическая» восприимчивость и соответственно «механическая

поляризуемость» оказываются исчезающе малыми (поскольку механическое воздействие возможно только через посредство механического контакта между атомами, что в свою очередь должно предполагать наличие межатомных взаимодействий). Понятие «тепловой поляризуемости» по отношению к отдельному атому не применимо по тем же причинам; величина χ , измеренная при низком давлении газа, соответствующем его идеальному состоянию, не чувствительна к атомной структуре. Оставшиеся три поляризуемости в силу единства их электромагнитной природы представляют собой электрическую поляризуемость α_e . Отсюда следует несколько неожиданный вывод – единственным источником эмпирической информации об электронном строении атомов в его основном (невозмущенном) состоянии является электрическая поляризуемость!

Электрическая поляризуемость атомов проявляется в экспериментах по взаимодействию вещества с электрическим полем E_a в виде поляризации P (как отклика вещества на воздействие поля E_a) как частный случай общего уравнения $x = \chi X$, так что $P = \chi_e E_a$, где χ_e – диэлектрическая восприимчивость. Поляризуемость α_e входит коэффициентом пропорциональности между диэлектрической восприимчивостью χ_e и атомной плотностью N [10]

$$\chi_e = \alpha_e N. \quad (1)$$

Предшествующий анализ и многочисленные исследования подтверждают простую связь между поляризуемостью и радиусом атомов [13, 14]

$$\alpha_e = k a^3, \quad (2)$$

где k – коэффициент, a – радиус атома.

Надо полагать, что коэффициент k и радиус a , входящие в (2), должны быть причинно взаимообусловленными. Однако в известных в настоящее время уравнениях коэффициент k варьируется в достаточно больших пределах. Например, в моделях Томсона и Моссотти расчет дает $k = 1$, а квантовомеханический расчет дает $k = 4,5$. В свое время такое разительное отличие в коэффициентах послужило основанием для того, чтобы усомниться в правомерности классического описания по (2). Но сравнение коэффициентов безотносительно самих радиусов бессмысленно. В

первом случае – это радиус электронной оболочки атома, а во втором – это борковский a_B (орбитальный) радиус, определяющий наиболее вероятное положение электрона относительно ядра. Т.е. это совершенно разные радиусы и потому коэффициенты в уравнении (2) для них также должны быть разными. Тем не менее, и в настоящее время можно встретить работы некорректного применения уравнения (2). Примером может служить относительно недавняя работа [15], в которой квантовомеханическое уравнение для атома водорода (т.е. уравнение (2) при $k = 4,5$ и $a = a_B$)

$$\alpha_H = \frac{9}{2} a_B^3, \quad (3)$$

было использовано для расчета поляризуемости многоэлектронных атомов, когда в качестве радиуса в (3) принят орбитальный радиус $a = a_o$. В результате рассчитанные в этой работе поляризуемости оказались многократно превышающими табличные данные [16] (например, у атомов металлов это отличие достигает десятка раз!?).

С другой стороны, уравнение (2) представляет собой не что иное, как уравнение метода определения радиуса атома, основанного на измерении поляризуемости α_e . В этой связи радиусу a_e по (2) в работе [11] было присвоено название «поляризационный радиус». В настоящее время понятие «поляризационный радиус» в семействе известных типов атомов отсутствует, что можно объяснить отсутствием до самого последнего времени соответствующей методологии и корректного уравнения связи между величинами α_e и a_e . В этом отношении важно дать обоснование поляризационному радиусу и раскрыть его содержание и физический смысл.

В первом приближении атомную систему согласно теореме Гаусса [17] можно представить в виде мгновенного диполя, образуемого связанными между собой эффективным зарядом q_+ положительного ядра (или остова атома) и эффективным зарядом q_- валентных электронов, которые находятся на расстоянии d_e друг от друга, так что $p = d_e q$ (в приближении $q_+ = q_- = q$); для атомов 1-го периода $d_e = a_e$. Диполь представляет жестко связанную систему, прочность которой определяется энергией связи между ядром и внешними электронами. Существенным представляется то, что энергия связи ε (или потенциал ионизации I) имеет чисто кулоновскую природу взаимодействия, так что $\varepsilon (\approx I) =$

q^2/d_e , где d_e – расстояние между эффективными зарядами q ; в данном соотношении количественная определенность эмпирической величины ε (и I) предопределяет однозначность численного значения величины d_e и соответственно радиуса a_e атома. В общем случае (с учетом теоремы Гаусса) эти величины связаны соотношением

$$a_{en} = d_{en} + a_{\text{ост.}}, \quad (4)$$

где $a_{\text{ост.}}$ – радиус остова атома; d_{en} – эффективное расстояние между остовом атома n -го периода и внешним электроном.

Т.о., благодаря высокой жесткости внешней оболочки атома, она действует как эффективный экран, препятствуя проникновению внешнего поля E_a вглубь и за пределы сферы радиусом a_e . При этом на заряды диполя действует пара разнонаправленных сил $F_+ = q_+ E_a$ и $F_- = q_- E_a$, которые вызывают растяжение (или сжатие) диполя на $2\Delta a$; в свою очередь, оно приводит к возникновению индуцированных дипольных моментов $p_i = 2\Delta a q$, совокупность которых формируют макроскопическую поляризацию P и соответствующую ей и доступную для измерения диэлектрическую восприимчивость χ_e , которая, в свою очередь, непосредственно связана с поляризуемостью α_e по (1). Надо особо подчеркнуть то, что точками приложения сил F_{\pm} являются квазиточечные заряды q_{\pm} , которые, находясь на расстоянии d_{en} между ядром и валентными электронами, устанавливают естественную внешнюю границу атома. Т.о., явление электрической поляризации самым непосредственным образом раскрывает сущность поляризационного радиуса и внутренне присущую связь его с поляризуемостью.

Чтобы применить уравнение (2) для расчета поляризационных радиусов атомов, необходимо определить коэффициент k . Рассмотрим сначала простейшие водородоподобные системы.

Как уже было показано выше, во внешнем электрическом поле E_a атомы приобретают индуцированный дипольный момент

$$p_i = \alpha_e E_a, \quad (5)$$

причем $p_i = q2\Delta a$.

В результате поляризации электронная оболочка атома деформируется, что приводит к возмущению его исходного

состояния; новое равновесное состояние атома достигается, благодаря противодействию возвращающей силы со стороны заряда ядра (остова) $F = q_- \Delta E_+$, где q_- – заряд внешних электронов; ΔE_+ – приращение напряженности поля заряда ядра (остова) q_+ , вызванное поляризацией атома, так что

$$\Delta E_+ = \frac{q_+}{a_e^2} - \frac{q_+}{(a_e + 2\Delta a)^2} \approx \frac{q_+}{a_e^2} \frac{4\Delta a}{a_e}, \quad \text{где } a_e \text{ – эффективный}$$

радиус атома в исходном состоянии. Т.о., с одной стороны, на водородоподобный атом действует пара сил внешнего поля

$$F_{\pm} = q_- E_a = \frac{q_- 2\Delta a q_-}{\alpha_e} \quad (\text{здесь учтено уравнение (5)}) , \text{ а с другой, –}$$

возвращающая сила F . Решение уравнения баланса сил $F = F_{\pm}$

$$\approx \frac{q_+ q_-}{a_e^2} \frac{4\Delta a}{a_e} = \frac{q_- 2\Delta a q_-}{\alpha_e} \quad \text{приводит к выражению для}$$

поляризуемости водородоподобных систем

$$\alpha_e = \frac{a^3}{2}. \tag{6}$$

Этот результат отличается от результата, полученного в рамках моделей Томсона и Моссотти в 2 раза [13, 14]; это объясняется тем, что при выводе (6) было учтено действие удвоенной силы на атомный диполь со стороны электрического поля. Расчеты по вновь полученной формуле (6) оказались сопоставимыми с квантовомеханическими расчетами для атома водорода. В свою очередь, рассчитываемые по формулам (3) и (6) поляризуемости согласуются с экспериментально определяемой величиной $\alpha_H = 0,67 \text{ \AA}^3$ [16] с погрешностью около 10%. Это означает, что повода для противопоставления классического и квантовомеханического описания нет. В этой связи небезынтересным представляется установленное ранее соотношение $2a_0 \approx a_e$ между орбитальным радиусом a_0 (для атома водорода $a_0 = a_B$) и поляризационным радиусом a_e [10, 11]. Подстановка $a_e = 2a_B$ в (6) дает $\alpha_H = 4a_e^3$, что практически совпадает с (3).

В силу структурного подобия атомов первой группы таблицы Менделеева, выражение (6) можно распространить на атомы

щелочных металлов в приближении их жестких остовов. Действительно, согласно теореме Гаусса [17] заряд остова атома равен квазиточечному заряду $+e$ (как результату суммирования заряда ядра $+eZ$ и заряда электронов $-e(Z-1)$, находящихся на внутренних оболочках). Это означает, что взаимодействие зарядов остова и внешних электронов атомов щелочных металлов может быть сведено к взаимодействию двух элементарных зарядов, наподобие атому водорода, и к ним может быть применено уравнение (6). Но с одной немаловажной оговоркой. При переходе от атома водорода к атомам щелочных металлов прямое электрон-ядерное взаимодействие должно быть заменено на взаимодействие заряда остова атома с его внешним электроном (согласно теореме Гаусса). При этом, наблюдаемая в эксперименте энергия связи внешних электронов в атомах определяется расстоянием d между внешними электронами и их остовом, но не их радиусом. Поэтому в приведенном выше уравнении баланса сил F и F_{\pm} радиус a_e следует заменить эффективным расстоянием d_e между зарядами остова и внешней оболочкой. Замена a_e на d_e приводит к уточнению формулы (6) в приложении ее к атомам щелочных металлов, так что

$$\alpha_e = \frac{d_e^3}{2}. \quad (7)$$

Рассчитанные по (7) радиусы существенно превышают (почти в два раза) наиболее близкие по своей сути металлические радиусы [18]. Данное обстоятельство весьма существенно, поскольку оно отражает тот факт, что поляризационный радиус в отличие от прочих радиусов соответствует свободному (не связанному) состоянию атома.

Для гелийподобных систем по аналогии с водородоподобными системами можно составить уравнение баланса сил

$$\text{сил } \frac{4q_-^2}{a_e^2} \cdot \frac{\Delta a}{a_e} = q_- E = \frac{q_-^2 4\Delta a}{\alpha_e}, \text{ в котором принято эффективное}$$

приращение радиуса $2\Delta a$, а также индуцированный момент $p_i = q_- 4\Delta a$. Решение уравнения баланса сил дает

$$\alpha_e = a_e^3. \quad (8)$$

Корректность данного соотношения подтверждается хорошим согласием рассчитываемой величины энергии связи атома гелия по

формуле $\mathcal{E} = -\frac{e^2}{a_e}$ [10], и экспериментальными данными по

потенциалам ионизации[18]. Формулу (8) в приближении жестких остовов можно распространить на атомы щелочноземельных элементов (на атомы 2-й группы таблицы Менделеева).

Для этого необходимо учесть теорему Гаусса, а также оболочечное строение атомов; в этой связи в уравнении (7) необходимо заменить величину a_e на d_{en} , так, что

$$\alpha_e = d_{en}^3. \tag{9}$$

Можно показать, что данное соотношение применимо и к остальным атомам таблицы Менделеева в приближении изотропного (сферического) распределения зарядов внешней оболочки. Действительно, в модели упругой сферы-оболочки эффективное приращение ее размера в общем случае равно $2\Delta a_{\text{эф}}$;

ему соответствует индуцированный дипольный момент $p_i = q_- 4\Delta a_{\text{эф}}$ и уравнение баланса сил

$$\frac{4q_-^2}{a_e^2} \cdot \frac{\Delta a_{\text{эф}}}{a_e} = q_- E = \frac{q_-^2 4\Delta a_{\text{эф}}}{\alpha}. \quad \text{Решение данного уравнения}$$

приводит к универсальному соотношению (9), применимому ко всем неводородоподобным атомам.

Итак, уравнения (3), (6), (7), (8) и (9) выступают в качестве исходных уравнений для установления связи между поляризуемостью и радиусом атомов. Кроме этого из соотношения (4) следует, что для определения радиуса атома необходимо также знать радиус остова $a_{\text{ост.}}$, который, очевидно, складывается из радиуса первой K -оболочки и суммы межоболочечных расстояний $d_{1-2}, d_{2-3}, d_{3-4} \dots$, т.е.

$$a_{\text{ост.}} = a_1 + d_{1-2} + d_{2-3} + d_{2-3} + d_{3-4} + \dots \tag{10}$$

Радиус a_1 K -оболочки определяется в результате прямого кулоновского взаимодействия ядра атома с его двумя внешними электронами, а также с учетом взаимного отталкивания этих электронов друг от друга. В этом случае энергию K -оболочки \mathcal{E}_1 можно представить в виде

$$\mathcal{E}_1 = \frac{e^2 (Z^2 - Z)}{2a_B},$$

где Z – порядковый номер атома, a_B – боровский радиус. С другой стороны, энергия \mathcal{E}_1 связана с радиусом a_1 универсальным образом через посредство соотношения $\mathcal{E} = -\frac{e^2}{a}$ [10], так что

$$a_1 = \frac{e^2}{\mathcal{E}_1} = \frac{2a_B}{\sqrt{Z^2 - Z}} \quad (11)$$

Здесь также учтен эффект кулоновского сжатия оболочки, который наглядно отражается известным соотношением для водородоподобных атомов $a = \frac{2a_B}{Z}$. Входящие в (10)

межоболочечные расстояния можно найти, используя эмпирический закон Мозли [19], представленный в виде [20]

$$\mathcal{E}_{nm} = \mathcal{E}_H (Z - \delta_{nm})^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (12)$$

где \mathcal{E}_H – энергия связи атома водорода; \mathcal{E}_{nm} – энергия внутриатомного перехода $n \rightarrow m$ между соответствующими оболочками; δ_{nm} – константа перехода.

Выражение (12) представляет разность энергий, соответствующих состоянием n и m . Каждая из этих энергий – это результат кулоновского взаимодействия положительного заряда $(Z - \delta)e$ на соответствующей оболочке и заряда электронов $(Z - \delta)e$, находящихся за пределами данной оболочки, разделяемых расстоянием $2a_B n^2$ (или $2a_B m^2$). Такое понимание закона Мозли является следствием теоремы Гаусса, согласно которой заряды на оболочках $(Z - \delta)e$ можно рассматривать как точечные заряды. Энергия перехода \mathcal{E}_{nm} и соответствующее ему межоболочечное расстояние d_{nm} , как уже отмечалось выше, взаимосвязаны между собой наподобие (11), так что

$$d_{nm} = \frac{e^2 (Z - \delta_{nm})}{\mathcal{E}_{nm}} \quad (13)$$

На основании формул (4), (6), (8), (9), (11) и (13) были рассчитаны радиусы ряда атомов, которые представлены в таблице – см. приложение. Отличие этих данных от полученных ранее в работе

[10,11] минимально для атомов 2-го и 3-го периодов (около 10%) и возрастает для более «тяжелых» атомов, достигая 50% для ксенона. При этом основной вклад в радиус вносит расстояние между внешними электронами и остовом атома; внутренние межоболочечные расстояния выступают как поправки к величине d_n . Уточнения касаются, в первую очередь, атомов щелочных металлов, для которых применена формула (6), а также уточнения в связи с введением поправок на конечные размеры остовов атомов. Вместе с этим, надо иметь в виду, что и новые данные по радиусам получены в приближении абсолютно жестких остовов атомов. К сожалению, рассчитать поправки на конечную упругость оболочек пока не удастся; они становятся особенно заметными для атомов пятого и последующих периодов таблицы Менделеева. Поэтому приведенные в таблице поляризационные радиусы не претендуют на высокую точность. На данном этапе, по мнению автора, более важным представляется вначале апробировать собственно концепцию поляризационного радиуса, а детализацию и уточнение расчетных формул оставить для последующего тщательного анализа.

Т. о., для описания атома необходимо и достаточно иметь один “абсолютный” радиус. Имеются все основания для того, чтобы в качестве такового был принят поляризационный радиус a_e , имеющий статус атомной константы. Граница атома не размыта, как это следует из представлений о диффузной природе волновых функций электронов, но строго задана в соответствии с сущностью поляризационного радиуса. Введение действительного атомного радиуса расставляет все по своим местам. С его помощью удастся упорядочить всю систему “атомных радиусов” и обеспечить саму возможность установления количественных связей между атомами как исходными строительными единицами и атомными структурными образованиями – молекулами, кластерами, плотным веществом. Наличие абсолютного радиуса открывает путь для изучения электронного строения атомов, в том числе и в рамках оболочечной модели атома [21].

Литература

1. Физическая энциклопедия // Гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Сов. энциклопедия. Т.1, 1988, 704с.
2. Аккарди Л. Диалоги о квантовой механике. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ “Регулярная и

- хаотическая динамика”, 2004, 448с.
3. Ацюковский В.А. Концепции современного естествознания. – МСЭУ, 2000, 448с.
 4. Вильф Ф.Ж. Логическая структура квантовой механики. – М.: Едиториал УРСС, 2003, 256с.
 5. Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики. – М.: Наука. 1985, 384с.
 6. Шұльман М.Х. Вариации на темы квантовой теории. - М.: Едиториал УРСС, 2004, 96с.
 7. Годовиков А.А. Кристаллохимия простых веществ. Новосибирск: Наука, 1979, 181 с.
 8. Бацанов С.С. Экспериментальные основы структурной химии. М.: Изд-во стандартов, 1986, 240 с.
 9. Флайгер У. Строение и динамика молекул. М.: Мир, 1982. Т. 1. 407 с.
 10. Потапов А.А. Деформационная поляризация: поиск оптимальных моделей. Новосибирск: Наука, 2004, 511 с.
 11. Потапов А.А. Абсолютный радиус многоэлектронных атомов по данным их поляризуемостей // Исследовано в России: Электронный журн. 2005, Т. 49, с. 554-570. <http://zhurnal.apc.relarn.ru/articles/2005/049.pdf>.
 12. Потапов А.А. Молекулярная диэлектриметрия. Новосибирск: Наука, 1994, 285с.
 13. Браун В. Диэлектрики. – М.: ИЛ, 1961 – 326 с.
 14. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии. Л.: Химия, 1983, 352с.
 15. Ghosh D.C., Biswas R. Theoretical Calculation of Absolute Radii of Atoms and Ions. Part 1. The Atomic Radii. Int. J. Mol. Sci. 2002, №3, pp. 87 -113.
 16. Miller T.M., Bederson V. Atomic and Molecular Polarizabilities // Adv. At. Mol. Phys. 1977, V. 13, p. 1-55.
 17. Парселл Э. Электричество и магнетизм. М.: Наука, 1975. 440 с.
 18. Бацанов С.С. Структурная химия. Факты и зависимости. М.: Диалог-МГУ, 2000, 292 с.
 19. Шпольский Э.В. Атомная физика. Т. 1. М.: Наука, 1974. 576 с.
 20. Робертсон Б. Современная физика в прикладных науках. – М.: Мир, 1985.- 272с.
 21. Потапов А.А. Оболочечная модель атомов. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2006, №3.

Приложение. Поляризуемость α , расстояние между остовом и внешними электронами a_n , радиус K -оболочки a_1 , межоболочечные расстояния d_{12} , d_{23} , d_{34} , радиусы a_n , потенциал ионизации I , энергия связи \mathcal{E} атомов таблицы Д.И. Менделеева

Z	α , Å^3	d_n , Å	a_1 , Å	d_{12} , Å	d_{23} , Å	d_{34} , Å	a_n , Å	I , эВ	\mathcal{E} , эВ
H	0,667	1,06	-	-	-	-	1,06	13,6	13,6
He	0,205	0,590	-	-	-	-	0,59	24,6	24,5
Li	24,3	3,5	0,44	-	-	-	3,9	5,39	4,1
Be	5,60	1,78	0,31	-	-	-	2,1	9,32	8,06
B	3,03	1,49	0,24	-	-	-	1,7	8,30	9,95
C	1,76	1,21	0,19	-	-	-	1,4	11,3	12,0
N	1,10	1,03	0,16	-	-	-	1,2	14,5	14,0
O	0,802	0,93	0,14	-	-	-	1,1	13,6	15,5
F	0,557	0,823	0,12	-	-	-	0,94	17,4	17,5
Ne	0,395	0,734	0,11	-	-	-	0,84	21,6	19,6
Na	24,1	3,5	0,10	0,14	-	-	3,7	5,14	4,1
Mg	10,6	2,20	0,09	0,13	-	-	2,4	7,65	6,55
Al	8,34	2,03	0,08	0,12	-	-	2,2	5,99	7,1

Si	5,38	1,75	0,08	0,11	-	-	1,9	8,15	8,21
P	3,63	1,54	0,07	0,10	-	-	1,7	10,5	9,36
S	2,90	1,43	0,07	0,09	-	-	1,6	10,4	10,1
Cl	2,18	1,30	0,06	0,09	-	-	1,5	13,0	11,1
Ar	1,64	1,18	0,06	0,08	-	-	1,3	15,8	12,24
K	43,4	4,25	0,06	0,08	0,63	-	5,0	4,34	3,38
Ca	25,0	2,92	0,05	0,07	0,58	-	3,6	6,11	4,9
Ga	8,12	2,01	0,04	0,05	0,32	-	2,4	6,00	7,16
Ge	6,07	1,82	0,04	0,05	0,30	-	2,2	7,90	7,89
As	4,31	1,63	0,04	0,04	0,29	-	2,0	9,81	8,85
Se	3,77	1,56	0,04	0,04	0,28	-	1,9	9,75	9,25
Br	3,05	1,45	0,04	0,04	0,27	-	1,8	11,8	9,93
Kr	2,48	1,35	0,04	0,04	0,26	-	1,7	14,0	10,64
Rb	47,3	4,4	0,03	0,04	0,25	0,74	5,5	4,18	3,28
Sr	27,6	3,02	0,03	0,04	0,24	0,71	4,0	5,69	4,76
:									
Xe	4,04	1,59	0,02	0,03	0,16	0,47	2,27	12,1	9,05

Хмельник С.И., Мухин И.А., Хмельник М.И

Продольные волны постоянного магнита

Аннотация

В [1] предложена теория, из которой, в частности, следует, что вдоль оси постоянного магнита возникает периодическое изменение напряженности магнитного поля в пространстве, которое мы далее будем называть продольной волной (понимая этот термин в расширенном смысле). С целью проверки этой теории были выполнены определенные эксперименты. Ниже описываются эти эксперименты, а затем их результаты сопоставляются с выводами теории. Учитывая возможные погрешности измерений, можно констатировать удовлетворительное согласие между теорией и экспериментом.

Оглавление

1. Введение
 2. Описание эксперимента
 3. Уравнения Максвелла для поля постоянного магнита
 4. Сопоставление эксперимента и теории
- Литература

1. Введение

В [1] рассматривается система уравнений Максвелла в предположении, что существуют магнитные заряды. В качестве таковых могут рассматриваться полюса магнитов. Известно, что Хевисайд был первым, кто ввёл магнитные заряды и магнитные токи в электродинамику Максвелла [3]. То, что полюс длинного магнита в математическом плане может отождествляться с магнитным зарядом, отмечено, например, в [4]. В уравнения Максвелла входит функция распределения плотности магнитных зарядов. Эта функция вдоль оси, направленной по нормали к поверхности полюса-торца магнита, имеет вид бесконечно узкого прямоугольного импульса (заряд есть на торце, но отсутствует вне торца). В [1] предложен метод решения системы уравнений Максвелла при такой функции распределения плотности зарядов. Этот метод позволяет определить вид функций напряженности

постоянного магнита с учетом скачка плотности магнитных зарядов на торце магнита. В результате оказывается, что напряженность магнитного поля постоянного магнита не является монотонной функцией координат. При этом составляющая напряженности, направленная по нормали к поверхности полюса магнита, изменяется в этом направлении. При определенных условиях она изменяется и во времени, т.е. имеет вид продольной волны (этим объясняется целесообразность расширения этого термина). В [2] «сделан краткий обзор публикаций о продольных электромагнитных волнах, который свидетельствует, о том что, несмотря на многообразие теорий, пытающихся обосновывать возможность их существования, в печати отсутствуют убедительные научные данные, действительно обосновывающие такую возможность, в том числе данные об их экспериментальном обнаружении». Далее мы будем рассматривать только стационарные поля, но периодически изменяющуюся в пространстве напряженность будем, по-прежнему, называть волной.

2. Описание эксперимента

2. 1. Описание установки

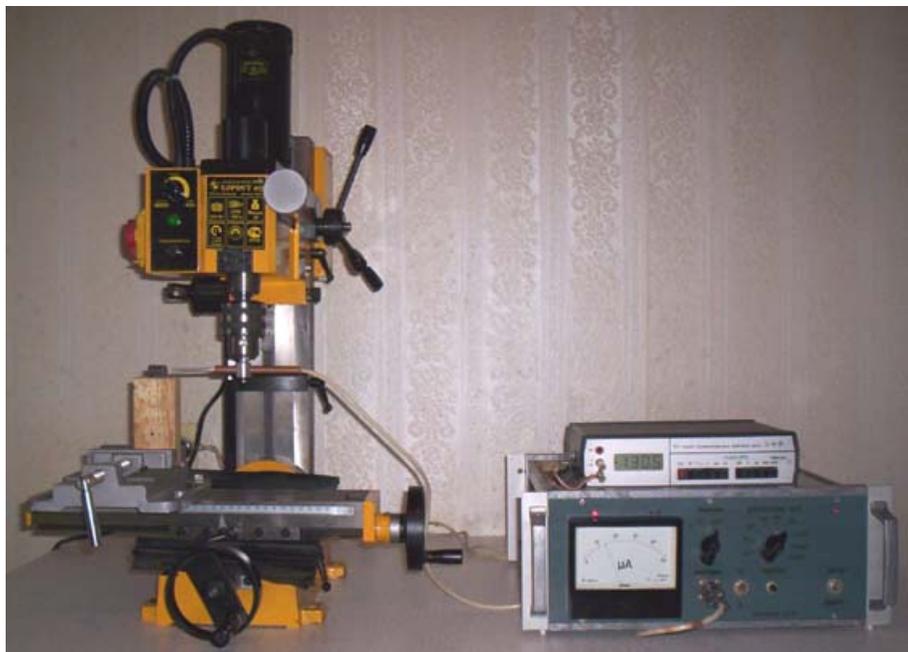


Рис. 1. Измерительная установка.

На рис. 1 приведена фотография измерительной установки, а на рис. 2 - эскиз фрезерного станка (который является существенной частью всей установки: он используется для перемещения измерительного датчика с высокой точностью). Он условно разбит на три части: А - станина, стол, тиски, В - стойка, С - шпиндельная бабка с мотором и патроном. Суммарная масса каждой из них (А, В, С) примерно по 15 кг (в основном инструментальная сталь, в моторе - электротехническая). Измерения проводились в зоне D с использованием немагнитной (деревянной) прокладки. В [5] можно найти дополнительную информацию по этой установке.

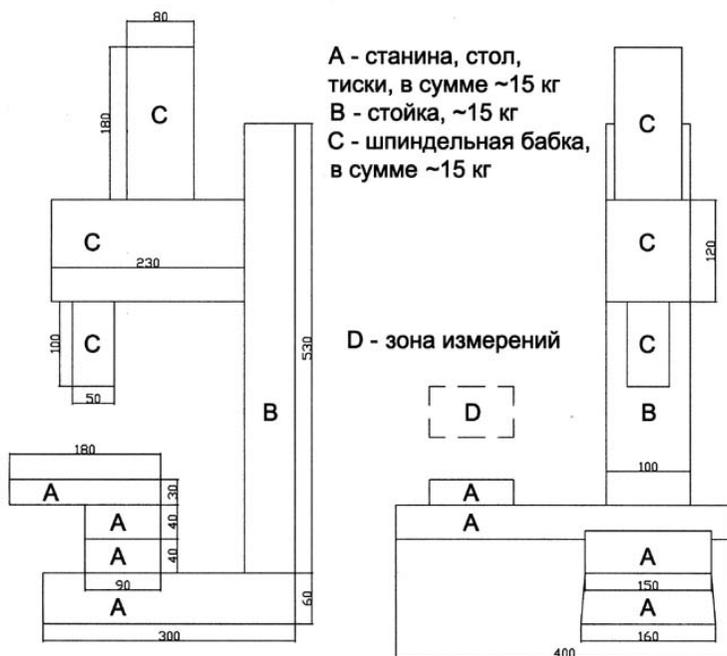


Рис. 2. Эскиз фрезерного станка.

2.2. Магнит

Исследуемый магнит - неодим-железо-бор - цилиндрической формы, набран из пяти магнитов диаметром 14.5 мм и высотой 4 мм. Т.о., высота магнита - 20 мм, диаметр – 14.5 мм. Остаточная индукция равна 1.1 Тл - это паспортное значение для данной партии магнитов. Она может достаточно сильно варьироваться для отдельных магнитов в партии.

Индукция в центре торца длинного цилиндрического магнита приближается к половине остаточной, т.е. составляет на торце не

более 0.55 Тл. Заметим, что для данных магнитов из-за особенностей изготовления индукция на одном торце отличается от индукции на другом (неоднородность плотности).

2.3. Методика сканирования

Сканирование проводилось с использованием фрезерного станка. Магнит и датчик были максимально удалены от стальных частей с использованием деревянных прокладок.

Использованный прибор - тесламетр с датчиком Холла [6]. Размер датчика 2 x 1.5 кв. мм, размер рабочей зоны датчика 0.45*0.15 кв. мм. Точность измерения магнитной индукции для примененного тесламетра - 2.5 %, нестабильность показаний (уход в течение часа) не более 0.1 мТл. Следует отметить, что для использованной схемы измерений (тесламетр + цифровой вольтметр) можно 2.5 % отнести

- на неточность калибровки, т.е. систематическую погрешность (истинные значения равны измеренным значениям, умноженным на постоянный коэффициент, точное значение которого неизвестно и может лежать в пределах 0.975 ... 1.025)
- и на случайную погрешность 0.1 мТл + 1 ед. счета = 0.2 мТл.

Точность начальной установки по координате составляет 0.2 мм. В угловых точках это приводит к существенному отличию измеренных по разным линиям значений из-за большого градиента магнитной индукции в данной области. К сожалению, конструкция щупа не позволила сканировать непрерывно по периметру.

2.4. Программа

Вместе с измерениями производился расчет напряженностей по программе [7]. Реализованный в ней метод основан на том, что цилиндрический постоянный магнит с аксиальным направлением намагниченности можно рассматривать (без учета предлагаемой теории) как однослойный соленоид с бесконечно тонкой обмоткой, геометрически соответствующей боковой поверхности магнита, по которой течет намагничивающий ток. Можно показать, что плотность намагничивающего тока

$$I = B/\mu_0 ,$$

где B – остаточная индукция, $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость вакуума. Указанный соленоид далее называется эквивалентным соленоидом.

2.5. Схема сканирования и расчета

Общая схема сканирования приведена на рис. 3. Система координат цилиндрическая, начало системы координат $(0, 0)$ совпадает с центром магнита, ось Z совпадает с осью симметрии магнита, Z – аксиальная координата (высота), X – радиальная координата (радиус). На этом рисунке

1 – датчик Холла для сканирования аксиальной составляющей магнитной индукции,

2 – датчик Холла для сканирования радиальной составляющей магнитной индукции,

пунктирные линии – линии сканирования; периметрический контур сканирования образован четырьмя линиями – $(x, 11.5)$, $(9.0, z)$, $(x, -11.5)$, $(-9.0, z)$; размеры этого контура обусловлены толщиной щупа в зоне расположения датчика Холла – 3 мм.

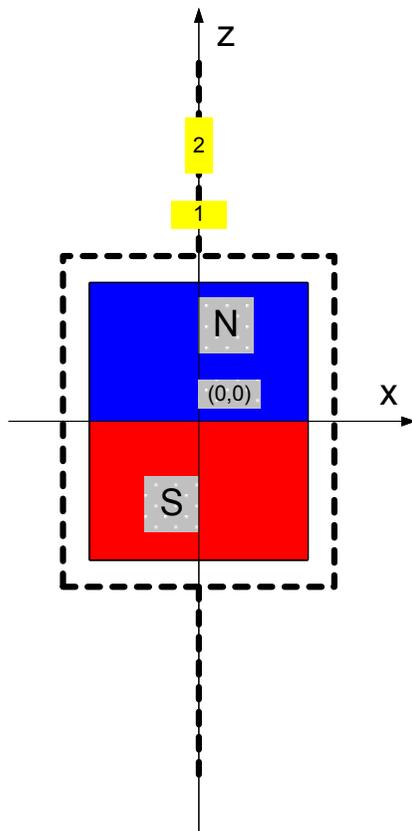


Рис. 3. Общая схема сканирования.

3. Уравнения Максвелла для поля постоянного магнита

Перейдем теперь к теоретическому расчету поля постоянного магнита. Расчет производится с использованием уравнений Максвелла, в которых учитывается магнитных зарядов на торце магнита. Решение определяется заданием функции распределения плотности магнитных зарядов на торце. Предполагаем, что она имеет следующий вид:

$$\sigma = \sigma_0 \text{Cos}(\gamma y) \text{Cos}(\beta z) \lambda'(x), \quad (1)$$

где

γ, β, σ_0 - постоянные коэффициенты,

$\lambda'(x)$ - т.н. усеченная функция Дирака, которая отличается от известной функции Дирака тем, что при нулевом значении аргумента принимает единичное значение (а не бесконечное),

x, y, z - пространственные координаты – см. рис. 1, где указаны направления пространственных осей координат.

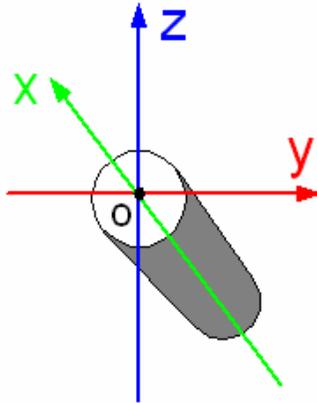


Рис. 1.

При этом в соответствии с уравнениями Максвелла возникает магнитоэлектрическое поле, а напряженности в ней описываются следующими формулами [1]:

$$H_x = h_x \text{Cos}(\gamma y) \text{Cos}(\beta z) \text{Cos}(\chi x), \quad (2)$$

$$H_y = h_y \text{Sin}(\gamma y) \text{Cos}(\beta z) \text{Sin}(\chi x), \quad (3)$$

$$H_z = h_z \text{Cos}(\gamma y) \text{Sin}(\beta z) \text{Sin}(\chi x), \quad (4)$$

где h_x, h_y, h_z - постоянные коэффициенты, которые определяются из следующих уравнений (следующими из уравнений Максвелла):

$$(\gamma h_z - h_y \beta) = 0,$$

$$(h_x \beta + \chi h_z) = 0,$$

$$(\gamma h_x + \chi h_y) = 0,$$

$$\chi h_x - \gamma h_y - \beta h_z - \sigma_o / \mu = 0.$$

Решение этих уравнений определяются в следующем виде:

$$\chi \approx \sqrt{(\gamma^2 + \beta^2)}, \tag{5}$$

$$h_x = \sigma_o / \mu, \tag{6}$$

$$h_z = h_y \beta / \gamma, \tag{7}$$

$$h_y = -h_x \gamma / \chi. \tag{8}$$

Формулы (2-4) показывают, что поле магнита представляет собой продольную магнитную волну. В этой магнитной волне благодаря скачку (заряд есть на торце, но отсутствует вне торца) изменения плотности распределения зарядов вдоль оси Ox возникает магнитное поле в виде стоячей продольной магнитной волны, в которой имеется составляющая H_x , зависящая от x , и при этом ее изменение не монотонное, а периодическое.

Рассмотрим теперь более общую, чем (1), функцию распределения плотности магнитных зарядов в пространстве

$$\sigma = \sigma_o f(y) f(z) \lambda'(x). \tag{10}$$

Предположим, что функции $f(y)$ могут быть разложены в тригонометрический ряд. Тогда функции распределения напряженностей примут следующий вид:

$$H_x = h_x \text{Cos}(\omega t) f(y) f(z) f(x), \tag{11}$$

$$H_y = h_y \text{Cos}(\omega t) \frac{df(y)}{dy} f(z) \frac{df(x)}{dx}, \tag{12}$$

$$H_z = h_z \text{Cos}(\omega t) f(y) \frac{df(z)}{dz} \frac{df(x)}{dx}. \tag{13}$$

Отсюда, в частности, следует, что при фиксированных x, z

$$H_y(y) \equiv \frac{dH_x(y)}{dy}, \quad (13a)$$

а при фиксированных y, z

$$H_y(x) \equiv \frac{dH_x(x)}{dx}. \quad (13b)$$

Здесь смысл обозначения ' \equiv ' состоит в том, что левые и правые части формулы совпадают с точностью до постоянного коэффициента.

4. Сопоставление эксперимента и теории

Для измерений использовался цилиндрический постоянный магнит, показанный на рис. 3.1. При этом измерялась и рассчитывалась величина магнитной индукции в мТл. Далее мы будем приводить эти величины, не пересчитывая их на соответствующие величины напряженностей.

Результаты измерений напряженностей магнитного поля вблизи плоскости торца (при $x=1\text{мм}$) могут быть аппроксимированы следующими эмпирическими функциями:

$$H_x(y) = 400e^{-0.0004y^4}, \quad (14)$$

$$H_y(y) = -1.8y^3e^{-0.0004y^4}. \quad (15)$$

Следовательно, подтверждается с точностью до постоянного коэффициента формула (13a). Графики функций (14, 15) приведены на рис. 2. На этом же рисунке точками показаны графики первых гармоник разложения этих эмпирических функций в тригонометрический ряд. При этом для этих гармоник

$$H_x(y) = 200 \cdot (1 + \text{Cos}(0.27y)), \quad (14a)$$

$$H_y(y) = -280 \cdot \text{Sin}(0.27y). \quad (15a)$$

Поскольку, как следует из (10, 11), при фиксированных x, z

$$H_x(y) \equiv \sigma(y) \equiv f(y), \quad (16)$$

с точностью до постоянного коэффициента, то следует предположить, что функция распределения плотности магнитных

зарядов по осям торца имеет вид (14) или (14a). Выделяя из (14a) переменную часть, находим:

$$f(y) \approx \text{Cos}(0.27y). \tag{17}$$

Из (12) следует, что

$$H_y(y) \equiv \frac{df(y)}{dy}, \tag{18}$$

Из (15a, 18), следует, что

$$\frac{df(y)}{dy} \approx \text{Sin}(0.27y). \tag{18a}$$

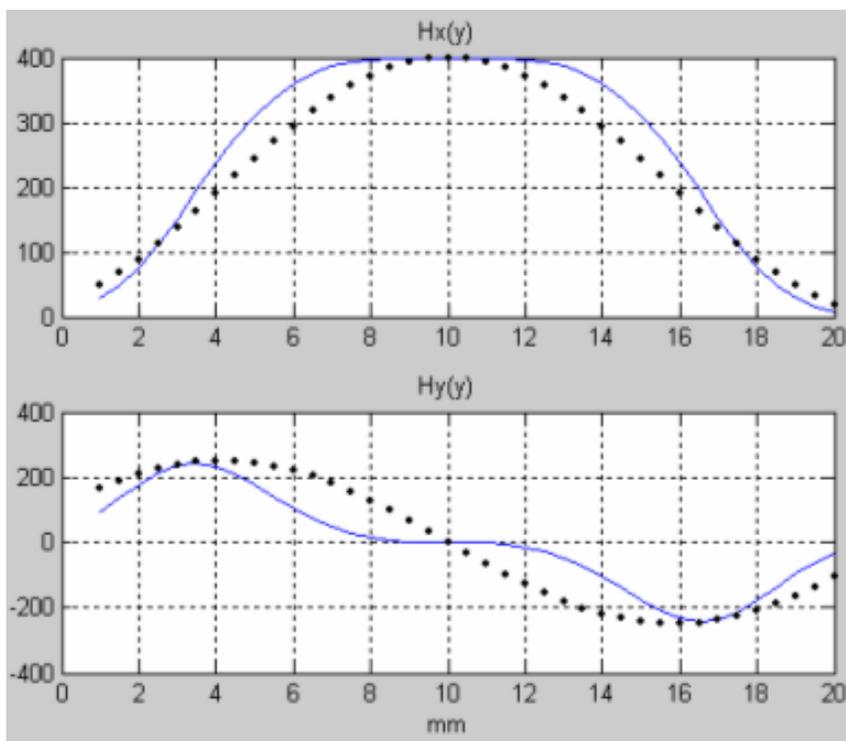


Рис. 2. Верхнее окно - $H_x(y)$, нижнее окно - $H_y(y)$, сплошные линии – аппроксимация экспериментальных измерений, точечные линии – первая гармоника разложения в тригонометрический ряд.

Это следует (с точностью до постоянной) также из (17), что экспериментально подтверждает формулу (12). Тогда в соответствии с (11, 12, 17, 18а) следует ожидать, что

$$H_x(x) \equiv f(x) \approx \text{Cos}(0.27x), \quad (19)$$

$$H_y(x) \equiv \frac{df(x)}{dx} \approx \text{Sin}(0.27y). \quad (20)$$

Для подтверждения справедливости (19, 20) были построены соответствующие экспериментальные зависимости. Для построения зависимости $H_x(x)$ вдоль оси симметрии магнита (оси x , где $x=0$ на плоскости торца)

- измерялась напряженность $H'_x(x)$ в точках оси,
- вычислялась напряженность $H''_x(x)$ в тех же точках для эквивалентного соленоида,
- и, наконец, вычислялась искомая напряженность (переменная составляющая напряженности, которая существующей теорией не предсказывается)

$$H_x(x) = (H'_x(x) - H''_x(x)). \quad (22)$$

На рис. 3 (верхнее окно) приведен график этой экспериментально найденной функции (22). Можно заметить, что первая гармоника этой функции имеет вид косинуса

$$H_x(x) \equiv \text{Cos}(\chi x) \quad (23)$$

и совпадает с функцией (17). Это доказывает, что экспериментально обнаружен колебательный характер функции $H_x(x)$.

Для построения зависимости $H_y(x)$ вдоль оси симметрии магнита

- измерялась напряженность $H'_y(x)$ в точках оси,
- вычислялась напряженность в тех же точках эквивалентного соленоида для проверки тождества $H''_y(x) \equiv 0$,
- вычислялась искомая напряженность

$$H_y(x) = H'_y(x). \quad (24)$$

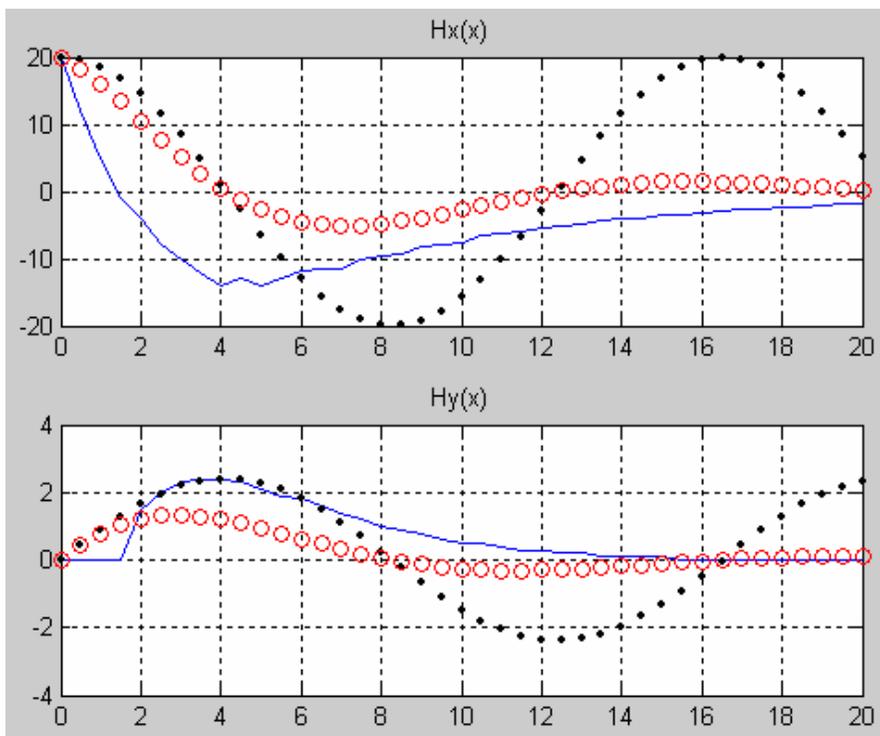


Рис. 3. Верхнее окно - $H_x(x)$, нижнее окно - $H_y(x)$, сплошные линии – аппроксимация экспериментальных измерений, точечные линии – первая гармоника разложения в тригонометрический ряд, линии из кружков – «ослабленная» первая гармоника разложения в тригонометрический ряд.

На рис. 3 (нижнее окно) приведен график этой экспериментально найденной функции (24). Можно заметить, что первая гармоника этой функции имеет вид синуса

$$H_y(x) \equiv \text{Sin}(\gamma x) \tag{25}$$

и совпадает с функцией (20). Это доказывает, что экспериментально обнаружен колебательный характер функции $H_y(x)$.

Заметим, что из (5) при $\beta = \gamma$ (в силу симметрии торца) следует

$$\chi \approx \gamma\sqrt{2}. \quad (26)$$

Из рис. 3 и формул (23, 25) следует еще, что выполняется формула (13в). Можно заметить, что период χ первых гармоник функций $H_x(x)$, $H_y(x)$ и период γ первых гармоник функций $H_x(y)$, $H_y(y)$ приближенно отвечают соотношению (26).

Продолжим сопоставление теории с экспериментом, для чего рассмотрим ослабление напряженностей при удалении от торца магнита. Коэффициент ослабления будем определять как

$$K(x) = H_x''(0) / H_x''(x), \quad (27)$$

где $H_x''(x)$ – по-прежнему, вычисленная напряженность эквивалентного соленоида. По-видимому, следует полагать, что порядок ослабления напряженностей $H_x(x)$, $H_y(x)$ будет характеризоваться там же коэффициентом ослабления. В этом предположении вычислим «ослабленные» напряженности

$$\bar{H}_x(x) = H_x(x) / K(x),$$

$$\bar{H}_y(x) = H_y(x) / K(x).$$

На рис. 3 отображены кружками графики этих функций, вычисленные для первых гармоник (23, 25).

Учитывая возможные погрешности измерений, можно констатировать удовлетворительное согласие между теорией и экспериментом. Итак, проведенный эксперимент обнаруживает волны напряженности магнитного поля в направлении оси постоянного магнита, что подтверждает предлагаемую теорию и существование продольных магнитных волн, в которых происходит изменение $H_x(x)$. Сравнивая рис. 2, где $(H_x(y))_{\max} = 400$ и рис. 3, где $(H_x(x))_{\max} = 20$, обнаруживаем, что напряженность продольной волны составляет 5% от напряженности основного статического поля.

Литература

1. Хмельник С. И. Вариационный принцип экстремума в электромеханических и электродинамических системах. Publisher by "MiC", printed in USA, Lulu Inc., ID 1769875, Израиль, 2008.
2. Еньшин А. В., Илиодоров В. А. Продольные электромагнитные волны – от мифа к реальности. SciTecLibrary.ru, 2005, <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8036.html>
3. О. Heaviside, "Electromagnetic theory", London, 1893.
4. E. Madelung. Die mathematischen hilfmittel des physikers, Berlin, Gottingen, Heidelberg, Springer-Verlag, 1957.
5. Мухин И. А. Измерительная установка. http://imlab.narod.ru/M_Fields/Scanning/Scanning.htm
6. Датчик Холла. http://imlab.narod.ru/M_Fields/II_10/II_10.htm
7. Мухин И. А. Программа расчета напряженности поля постоянного магнита. http://imlab.narod.ru/M_Fields/A_Magnet/A_Magnet.htm

Хмельник С.И., Хмельник М.И.

К вопросу о «магнитных стенах» в экспериментах Рощина-Година

Аннотация

Рассматривается природа «магнитных стен», которые обнаружены в экспериментах Рощина-Година на установке, подобной генератору Серла. Показано, что такие стены могут быть объяснены существованием определенных стоячих волн, плотность энергии которых переменна. Рассмотрены энергетические процессы в области таких волн. При этом делается предположение об обмене энергии между такой волной и окружающей средой. Предлагается математическая модель такого обмена, в которой используется тот факт, что температура окружающей среды в области волны падает. Этот факт наблюдается в указанных экспериментах, что свидетельствует о правомерности предлагаемой теории.

Оглавление

1. Бегущая электромагнитная волна
 2. Стоячая электромагнитная волна
 3. Энергозависимая стоячая электромагнитная волна
 4. Энергетика энергозависимой стоячей электромагнитной волны
- Литература

Введение

В экспериментах Рощина-Година [1] на установке [2], подобной генератору Серла [3] обнаружены т.н. «магнитные стены». Поскольку данная статья посвящена именно этому эффекту, целесообразно привести его полное описание из [1].

«Наблюдался еще один, ранее нигде не упоминавшийся эффект - это вертикальные магнитные стены вокруг установки. Было замечено и измерено аномальное постоянное магнитное поле, окружающее конвертор.

Выявлены зоны повышенной напряженности магнитного поля порядка 0.05 Т, расположенные аксиально от центра установки. Направление вектора магнитного поля в этих стенах совпадало с направлением вектора

магнитного поля роликов. Структура этих зон напоминала круги на воде от брошенного камня. Между этими зонами переносимый магнитометр, использующий датчик Холла в качестве чувствительного элемента, аномального магнитного поля не регистрировал. Слои повышенной напряженности распространяются практически без ослабления на расстояние около 15 м от центра конвертора и быстро спадают на границе этой зоны. Толщина слоя 5-8 см. Граница слоя имеет резкий характер, расстояние между слоями около 50-60 см и немного нарастает по мере удаления от центра конвертора. Устойчивая картина этого поля наблюдалась также и на высоте 5 м над установкой, на втором этаже над лабораторией. Выше измерений не проводилось.

Было обнаружено также аномальное падение температуры и в непосредственной близости от конвертора. При общем фоне в лаборатории +22грС измерено падение температуры на 6-8грС. То же самое явление наблюдалось и в вертикальных магнитных стенах. Измерения температуры внутри магнитных стен проводились обыкновенным спиртовым термометром с инерцией измерения около 1.5 мин. В магнитных стенах отчетливо фиксируются температурные изменения даже с помощью телесных ощущений, если в толщу магнитной стены поместить руку, то сразу чувствуется холод. Аналогичная картина наблюдалась и на высоте 15м над установкой, на втором этаже лаборатории, несмотря на имеющиеся железобетонные потолочные перекрытия.»

Ниже показано, что такие стены могут быть объяснены существованием определенных стоячих волн, плотность энергии которых переменна. Рассмотрены энергетические процессы в области таких волн. При этом делается предположение об обмене энергии между такой волной и окружающей средой. Предлагается математическая модель такого обмена, в которой используется тот факт, что температура окружающей среды в области волны падает. Этот факт наблюдается в указанных экспериментах, что свидетельствует о правомерности предлагаемой теории.

Вначале (в разделах 1 и 2) для сопоставлений рассмотрим вначале известные положения из теории электромагнитных волн.

1. Бегущая электромагнитная волна

Существуют бегущие электромагнитные волны, то есть распространяющееся в пространстве и во времени электромагнитное поле. Электромагнитные волны распространяются в веществе с конечной скоростью

$$v = 1/\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0} \quad (0)$$

Здесь ε и μ – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости вещества, ε_0 и μ_0 – электрическая и магнитная постоянные.

В бегущей электромагнитной волне модули индукции магнитного поля и напряженности электрического поля в каждой точке пространства связаны соотношением

$$B = E\sqrt{\varepsilon\mu}/c, \quad (1a)$$

где скорость света в вакууме $c = 1/\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}$. Объемная плотность электрической энергии

$$w_e = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} \quad (1b)$$

Объемная плотность электрической энергии

$$w_m = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} \quad (2)$$

Подставим (1a) в (2) и получим (1b). Следовательно

$$w_e = w_m \quad (3)$$

Таким образом, в бегущей электромагнитной волне происходят взаимные превращения электрического и магнитного полей.

Объемная плотность электромагнитной энергии

$$w = w_e + w_m = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu\mu_0} \quad (4)$$

Синусоидальная бегущая электромагнитная волна описывается формулами

$$E = E_0 \text{Cos}(\omega t - kz) \quad (5)$$

$$B = B_0 \text{Cos}(\omega t - kz) \quad (6)$$

где E_0 , B_0 – амплитуды колебаний напряженности электрического и магнитного полей соответственно.

Подставляя (5, 6) в (4), получаем

$$w = \left(\frac{\varepsilon\varepsilon_0 E_0^2}{2} + \frac{B_0^2}{2\mu\mu_0} \right) \text{Cos}^2(\omega t - kz) \quad (7)$$

Из (7) следует, что в любой точке электромагнитная энергия изменяется во времени от нуля до некоторого максимума. Таким образом, такая электромагнитная волна переносит энергию. При ее распространении со скоростью v возникает поток электромагнитной энергии. Если выделить площадку S , ориентированную перпендикулярно направлению распространения волны, то за малое время Δt через площадку протечет энергия

$$\Delta W = wvS\Delta t \quad (8)$$

Плотностью потока или интенсивностью I называют электромагнитную энергию, переносимую волной за единицу времени через поверхность единичной площади:

$$I = \frac{\Delta W}{S \cdot \Delta t} = (w_e + w_m)v \quad (10)$$

Подставляя сюда (1, 2) и, $\varepsilon = 1$, $\mu = 1$, $v=c$, можно получить

$$I = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} E^2 = \frac{EB}{\mu_0} \quad (11)$$

Поток энергии в электромагнитной волне можно задавать с помощью вектора Пойнтинга [7], направление которого совпадает с направлением распространения волны, а модуль равен

$$P = E \cdot B \cdot I \cdot \mu_0. \quad (12)$$

Поток энергии идет от источника бегущей электромагнитной волны.

2. Стоячая электромагнитная волна

Стоячая синусоидальная (гармоническая) электромагнитная волна (которая может быть получена сложением двух волн – падающей на идеальное зеркало, и отраженной от него – см. например, [7]) описывается формулами

$$E = E_0 \text{Sin}(kz) \text{Sin}(\omega t) \quad (21)$$

$$B = B_0 \text{Cos}(kz) \text{Cos}(\omega t) \quad (22)$$

где E_0 , B_0 – амплитуды колебаний напряженности электрического и магнитного полей соответственно.

В этой волне напряженность во всех точках изменяется с течением времени с одинаковой частотой и в одной фазе, а амплитуда в ней изменяется по гармоническому закону в зависимости от координаты z .

Из формул (21) и (22) видно, что колебания E и B сдвинуты по фазе на четверть периода. Это означает, что когда напряженность электрического поля достигает максимума, значения B равны нулю.

Как указано, плотность потока энергии электромагнитных волн определяется вектором Пойтинга. Так как в узлах величины E или B равны нулю, то в этих точках поток равен нулю – см. (12). Узлы для E совпадают с пучностями для B и наоборот. Это означает, что через узлы и пучности отсутствует поток электромагнитной энергии. Однако, поскольку E и B в других точках изменяются с течением времени, то можно заключить, что с течением времени энергия движется между соседними узлами и пучностями. При этом происходит превращение энергии электрического поля в энергию магнитного поля и наоборот. Суммарная энергия, которая заключена между двумя соседними узлами и пучностями, остается постоянной [7].

Рассмотрим этот вопрос подробнее. Из (4) и (21, 22) следует, что

$$w = w_e + w_m = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\epsilon\epsilon_0 E_0^2}{2} \sin^2(kz) \sin^2(\omega t) \\ + \frac{B_0^2}{2\mu\mu_0} \cos^2(kz) \cos^2(\omega t) \end{array} \right\} \quad (23)$$

Найдем энергию, заключенную между двумя соседними узлами и пучностями:

$$w_1 = \int_{z=0}^{z=\frac{\pi}{2k}} \left\{ \begin{array}{l} \frac{\epsilon\epsilon_0 E_0^2}{2} \sin^2(kz) \sin^2(\omega t) \\ + \frac{B_0^2}{2\mu\mu_0} \cos^2(kz) \cos^2(\omega t) \end{array} \right\} dz$$

или

$$w_1 = \left\{ \begin{aligned} & \text{Sin}^2(\omega t) \cdot \int_{z=0}^{z=\frac{\pi}{2k}} \left\{ \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E_0^2}{2} \text{Sin}^2(kz) \right\} dz \\ & + \text{Cos}^2(\omega t) \cdot \int_{z=0}^{z=\frac{\pi}{2k}} \left\{ \frac{B_0^2}{2\mu\mu_0} \text{Cos}^2(kz) \right\} dz \end{aligned} \right\}.$$

Эта энергия не изменяется во времени, т.к.

$$a_1 = \int_{z=0}^{z=\frac{\pi}{2k}} \left\{ \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E_0^2}{2} \text{Sin}^2(kz) \right\} dz = \int_{z=0}^{z=\frac{\pi}{2k}} \left\{ \frac{B_0^2}{2\mu\mu_0} \text{Cos}^2(kz) \right\} dz, \quad (24)$$

что после взятия интегралов следует из формулы (3). При этом

$$w_1 = a_1. \quad (25)$$

Аналогичные соотношения можно получить для трех других четверть-периодах функции (23). Таким образом, стоячая волна сохраняет свою электромагнитную энергию (которую она получила при формировании из двух бегущих волн).

Для сохранения идеальной стоячей волны не требуется приток внешней энергии.

3. Энергозависимая стоячая электромагнитная волна

Таким термином будем называть синусоидальную (гармоническую) электромагнитную волну, которая описывается формулами

$$E = E_0 \text{Sin}(kz) \text{Sin}(\omega t) \quad (31)$$

$$B = B_0 \text{Sin}(kz) \text{Sin}(\omega t) \quad (32)$$

где E_0, B_0 – амплитуды колебаний напряженности электрического и магнитного полей соответственно. В этой волне колебания электрического и магнитного полей синфазны по осям ox и oz (при соблюдении этого условия возможны и другие комбинации функций Sin и Cos). Возможность существования таких полей (в рамках теории Максвелла) показана в [4, раздел 9.8.4a].

Как указано, плотность потока энергии электромагнитных волн определяется вектором Пойтинга [7]. Так как в узлах величины E и

B равны нулю, то в этих точках поток равен нулю. Это означает, что через узлы отсутствует поток электромагнитной энергии.

Найдем электромагнитную энергию этой волны. Из (4) и (31, 32) следует, что

$$w = w_e + w_m = \left\{ \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E_0^2}{2} + \frac{B_0^2}{2\mu\mu_0} \right\} \text{Sin}^2(kz) \text{Sin}^2(\omega t) \quad (33)$$

Энергия, заключенная между соседними узлами этой волны

$$w_2 = \int_{z=0}^{z=\frac{\pi}{k}} \left\{ \text{Sin}^2(kz) \text{Sin}^2(\omega t) \left\{ \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E_0^2}{2} + \frac{B_0^2}{2\mu\mu_0} \right\} \right\} dz$$

или

$$w_2 = \text{Sin}^2(\omega t) \left\{ \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E_0^2}{2} + \frac{B_0^2}{2\mu\mu_0} \right\} \int_{z=0}^{z=\frac{\pi}{k}} \left\{ \text{Sin}^2(kz) \right\} dz$$

или

$$w_2 = \text{Sin}^2(\omega t) \left\{ \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E_0^2}{2} + \frac{B_0^2}{2\mu\mu_0} \right\} \frac{\pi}{2k}$$

или

$$w_2 = w_0 \text{Sin}^2(\omega t) \quad (34)$$

где

$$w_0 = \left\{ \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E_0^2}{2} + \frac{B_0^2}{2\mu\mu_0} \right\} \frac{\pi}{2k} \quad (35)$$

Очевидно, эта энергия периодически изменяется во времени от нуля до некоторого максимума. Следовательно, для существования энергозависимой стоячей волны энергия в нее должна поступать извне и преобразовываться в электромагнитную энергию.

Средняя за полупериод энергия

$$w_2 = \frac{\omega}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} w_0 \text{Sin}^2(\omega t) dt = \frac{w_0}{2} \quad (35a)$$

Найдем мощность обмена:

$$p_2 = \frac{dw_2}{dt} = 2w_o \omega \sin(\omega t) \cos(\omega t) = w_o \omega \sin(2\omega t) \quad (36)$$

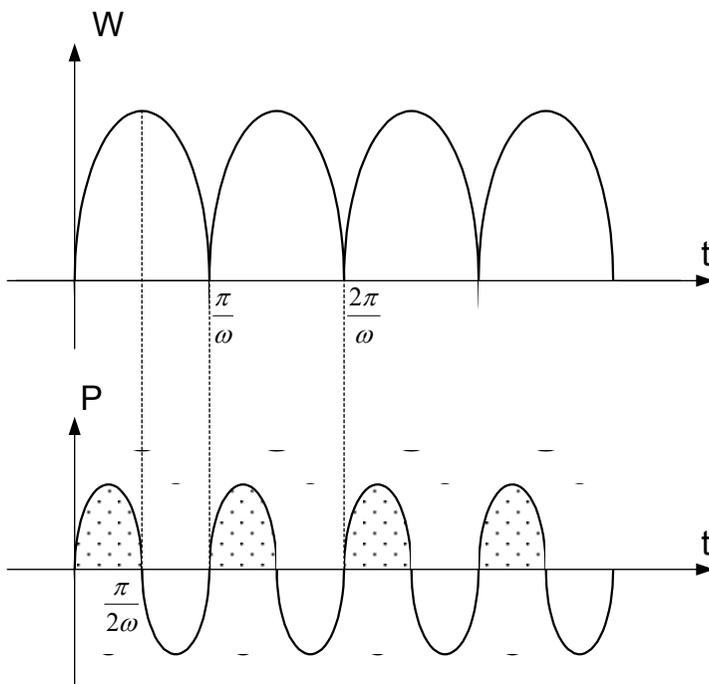


Рис. 1.

На рис. 1 представлены функции энергии и мощности от времени. Участок функции мощности, отмеченный точками, представляет мощность, получаемую стоячей волной. Не отмеченный точками участок представляет мощность, отдаваемую стоячей волной. Средняя мощность, получаемая и отдаваемая стоячей волной, равна

$$\bar{p}_2 = \frac{1}{\pi/\omega} \int_0^{\pi/2\omega} w_o \omega \sin(2\omega t) = \frac{w_o \omega^2}{\pi} \int_0^{\pi/2\omega} \sin(2\omega t) = \frac{2w_o \omega^3}{\pi} \Big|_0^{\pi/2\omega} \cos(2\omega t)$$

или

$$\bar{p}_2 = \frac{4w_o \omega^3}{\pi}. \quad (37)$$

4. Энергетика энергозависимой стоячей электромагнитной волны

По аналогии с [5, 6] можно предположить, что справедливо

Утверждение 1.

Энергозависимая стоячая волна (ЭСВ) обменивается энергией с окружающей средой.

За время увеличения амплитуды в пучности волны энергия в единице объема увеличивается на величину (35). В силу утверждения 1 за это же время на ту же величину (35) уменьшится внутренняя энергия единицы объема воздуха. Известно, что зависимость внутренней энергии газа u от его температуры T для единицы объема имеет следующий вид

$$u = DT, \quad D = \frac{i\rho R}{2M}, \quad (41)$$

где

i - число степеней свободы молекул (для воздуха – двухатомного газа $i = 5$),

ρ - плотность воздуха,

M - масса моля газа (для воздуха $M = 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$)

R - универсальная газовая постоянная, $R = 8.3159 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

Обозначим максимальное уменьшение температуры через T_m .

Полагая в силу утверждения 1, что

$$u = w_0,$$

из (41) найдем:

$$w_0 = DT_m. \quad (42)$$

Обозначим абсолютную температуру воздуха при отсутствии волны через T_0 . В любой момент времени

$$u(t) = DT_0 - w_2 \quad (43)$$

где w_2 определено по формуле (34). Из (41, 43, 34) получаем

$$DT = DT_0 - w_0 \text{Sin}^2(\omega t)$$

или, с учетом (42),

$$DT = DT_0 - DT_m \text{Sin}^2(\omega t).$$

Следовательно,

$$T = T_o - \frac{T_m}{2}(1 - \text{Cos}(2\omega t)), \quad (44)$$

т.е. температура воздуха колеблется с амплитудой $T_m/2$ относительно среднего значения

$$T_{mid} = \left(T_o - \frac{T_m}{2} \right). \quad (45)$$

Найдем теперь температуру T_1 , которую в момент времени t показывает термометр, помещенный в область волны. Вследствие тепловой инерции термометра $T_1 \geq T$. За промежуток времени dt термометр отдает в окружающую среду энергию, определяемую по формуле Фурье, и равную

$$dQ = \alpha S(T - T_1)dt. \quad (46)$$

где

S – поверхность термометра,

α - коэффициент теплоотдачи, который зависит от свойств окружающей среды и процесса ее движения (например, от вентиляции помещения).

При этом температура термометра понизится на некоторую величину dT_1 и поэтому

$$dQ = c \cdot dT_1. \quad (47)$$

где c - теплоемкость термометра. Приравнивая (46) и (47), а также учитывая (44), получаем дифференциальное уравнение для dT_1 в виде

$$\alpha S \left(T_o - \frac{T_m}{2}(1 - \text{Cos}(2\omega t)) - T_1 \right) dt = c \cdot dT_1$$

или

$$c \cdot \frac{dT_1}{dt} - \alpha S \left(T_o - \frac{T_m}{2}(1 - \text{Cos}(2\omega t)) - T_1 \right) = 0$$

или

$$c \cdot \frac{dT_1}{dt} - \alpha S \left(\frac{T_m}{2} \text{Cos}(2\omega t) - T_1 \right) = \alpha S \left(T_o - \frac{T_m}{2} \right) \quad (48)$$

Будем искать решение этого уравнения в виде

$$T_1 = \alpha S \left(T_o - \frac{T_m}{2} \right) + m_2 \sin(2\omega t) + m_3 \cos(2\omega t) \quad (49)$$

Подставляя (49) в (48), получаем:

$$c \cdot 2\omega \cdot (m_2 \cos(2\omega t) - m_3 \sin(2\omega t)) - \alpha S \left(\frac{T_m}{2} \cos(2\omega t) - \alpha S \left(T_o - \frac{T_m}{2} \right) + \right) = \alpha S \left(T_o - \frac{T_m}{2} \right) + m_2 \sin(2\omega t) + m_3 \cos(2\omega t)$$

Приравнявая нулю коэффициенты при тригонометрических функциях, получаем два уравнения вида

$$-2\omega c m_3 \sin(2\omega t) - \alpha S m_2 \sin(2\omega t) = 0,$$

$$2\omega c m_2 \cos(2\omega t) - \alpha S \left(\frac{T_m}{2} \cos(2\omega t) + m_3 \cos(2\omega t) \right) = 0.$$

Отсюда могут быть получены уравнения для коэффициенты m_2 , m_3 :

$$2\omega c m_3 + \alpha S m_2 = 0, \quad 2\omega c m_2 - \alpha S \left(\frac{T_m}{2} + m_3 \right) = 0.$$

Из этих уравнений следует, что

$$m_2 = \omega c \alpha S T_m / (4\omega^2 c^2 + \alpha^2 S^2),$$

$$m_3 = -\alpha^2 S^2 T_m / (8\omega^2 c^2 + 2\alpha^2 S^2).$$

При больших ω коэффициенты m_2 и m_3 малы. Потому из (49) с большой точностью имеем:

$$T_{mid} = \left(T_o - \frac{T_m}{2} \right). \quad (50)$$

Сравнивая (45) и (50) замечаем, что термометр показывает среднее значение колеблющейся температуры.

Итак, предлагаемая теория объясняет

1. существование ЭСВ с т.з. закона сохранения энергии,
2. понижение температуры.

Из нее следует, что должны существовать колебания температуры с частотой 2ω , и это необходимо подтвердить экспериментально.

Литература

1. Рошин В.В., Годин С.М. Экспериментальное исследование физических эффектов в динамической магнитной системе. Письма в ЖТФ, 2000, том 26, вып. 24. <http://www.ioffe.rssi.ru/journals/pjtf/2000/24/p70-75.pdf>
2. Рошин В.В., Годин С.М. Устройство для выработки механической энергии и способ выработки механической энергии, патент РФ, H02N11/00, F03H5/00, 2000 г. <http://macmer.h12.ru/roshin.htm>
3. Генератор на эффекте Серла. Конструкция и процесс изготовления. Университет в SUSSEX. Факультет инженерии и прикладных наук. Отчет SEG-002. <http://ntpo.com/invention/invention2/23.shtml>
4. Хмельник С.И. Вариационный принцип экстремума в электромеханических и электродинамических системах. Publisher by "MiC", printed in USA, Lulu Inc., ID 1769875, Израиль, 2008.
5. Хмельник С. И., Хмельник М.И. К вопросу об источнике энергии в генераторе Серла. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», printed in USA, Lulu Inc., ID 859217. Россия-Израиль, 2007, вып. 5, ISBN 978-1-4303-2444-7.
6. Хмельник С.И., Хмельник М.И. Энергетические процессы в генераторе Серла. «Доклады независимых авторов», изд. «DNA», printed in USA, Lulu Inc., ID 1146081. Россия-Израиль, 2007, вып. 6, ISBN 978-1-4303-0843-0.
7. Электромагнитные колебания и волны. <http://portal.grsu.by/portal/optics/?s=1/8>

Авторы



Калашников Юрий Яковлевич, Россия.

kalashnikov_mgn@rambler.ru

Пенсионер. Родился в 1936г. Живёт в г. Магнитогорск Челябинской области. Много лет занимался наладкой систем автоматики и телемеханики. С 80-х годов увлекся проблемами молекулярной биологической информатики. По данной теме имеет ряд публикаций, из которых пять работ депонировано в ВИНТИ РАН и 19 статей опубликовано в ИНТЕРНЕТЕ.



Карпов Михаил Анатольевич, Россия.

karpovm@mail.ru

Родился в 1959г. В 1981г. закончил радиофизический факультет Горьковского Государственного Университета по специальности «Радиофизика и электроника». Область интересов - физика элементарных частиц и космология. Женат, имею двух сыновей.



Мухин Игорь Алексеевич, Россия.

muhin@rtkom.ru

Родился в 1961г., окончил Тверской государственный университет, место жительства - г. Тверь

Недосекин Юрий Андреевич, Россия.

meson@inetcomm.ru

Окончил в 1969 году физфак Томского государственного университета по специальности “Теоретическая физика”.

Потапов Алексей Алексеевич, *Россия.*

alex_p@icc.ru

Родился в 1941 году в г. Горьком. В 1965 году с отличием закончил физико-математический факультет Иркутского университета по специальности "Радиофизика и электроника". Глав. научный сотрудник института динамики систем и теории управления СО РАН, д.х.н., профессор.

Основные этапы трудовой и научной деятельности: разработка измерительной аппаратуры для научных исследований; экспериментальные исследования диэлектрических свойств веществ; преподавание в ВУЗ-ах; теоретические исследования в области электронного строения вещества. Автор активационной теории ориентационной поляризации и вириальной теории деформационной поляризации. В настоящее время является главным научным сотрудником Института динамики систем и теории управления СО РАН. и занимается разработкой основ теоретического обеспечения нанотехнологии, включая механосинтез. Имеет более 100 научных публикаций, в том числе 6 монографий и 30 авторских свидетельств и патентов.



Рус Рингольд (Rus Ringold), *Австрия.*

ringold.rus@unitedenergies.com

The United Energies Institute

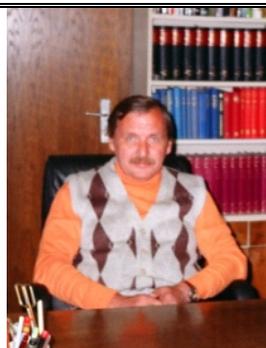
Trautenburg 15, 8463 Eichberg, Austria

Tel 0043 3454 599 55, Fax 0043 3454 226

Born 1955 in Köln-Marialinden, Germany,

Christian, married.

University training and post graduate education in scientific theory, natural sciences, economics, electronics, systems design, and foreign languages. Researcher, consultant, co-founder and member of the board of R&D companies and institutes active in environmental issues, medical research, food & beverages. Co-founder and managing director of the United Energies Institute.



Семёнов Сергей Николаевич, *Австрия.*
margys@softel.ru, Semenov@unitedenergies.com
The United Energies Institute
Trautenberg 15, 8463 Eichberg, Austria
Tel 0043 3454 599 55, Fax 0043 3454 226
1952 г.р. Окончил Московский Физико-технический Институт (МФТИ – ФизХим) с 1975 г. Работал в Институте биоорганической химии АН СССР, затем в системе МедМикроБиопрома СССР. Специализация: клеточные мембраны, клетки, их условия жизни и смерти (стерилизация). Стал соучредителем независимого Института Объединенных Энергий со штаб-квартирой в Австрии. Институт занимается разными вопросами, в том числе и медико-биологическими проблемами.



Хмельник Михаил Ицкович, *Израиль.*
solik@netvision.net.il

Доктор физико-математических наук. Научные интересы – гидродинамика, теория фильтрации, ток в газах, математика. Имеет около 120 научных статей. Подготовил ряд кандидатов и докторов наук. Много лет работал доцентом, а затем профессором Московского государственного университета печати.

Много лет был ученым секретарем семинара по гидродинамике при Институте проблем механики АН (СССР, а затем РФ), ученым секретарем секции физики Московского общества испытателей природы при МГУ. Почетный профессор Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры.



Хмельник Соломон Ицкович, *Израиль*.

solik@netvision.net.il

К. т. н., научные интересы – электротехника, электроэнергетика, вычислительная техника, математика. Имеет около 150 изобретений СССР, патентов, статей, книг.

Среди них – работы по теории и моделированию математических процессоров для операций с различными математическими объектами – комплексными числами, векторами, геометрическими фигурами, функциями, алгебраическими и трансцендентными уравнениями; работы по новым методам расчета электромеханических и электродинамических систем; работы по управлению в энергетике.
