

МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

УДК 621.382(6)

Ю.Г. Кабалдин, В.И. Дементьев, Т.Ю. Рыжова

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ТРИПЛЕТНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО КОДА И НЕКОТОРЫЕ ЕЕ СВОЙСТВА В ПЛОСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Нижегородский филиал института машиноведения РАН,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Изложен новый подход к пространственной структуре триплетного генетического кода (СТГК), в рамках решения проблемы построения молекулярной векторной машины и биокомпьютера. Выявлены свойства пространственной СТГК в плоских изображениях, отражающих связь ее с телами Платона, группами Кюри, триплетами (кодонами), переходами и аминокислотами, а также с геометрической моделью человека, как аналога структуры антропоробота, или оператора в эргономической системе "человек – машина".

Ключевые слова: генетический код, триплеты, аминокислоты, "золотая пропорция", тела Платона, геометрическая модель человека (ГМЧ), система "человек – машина".

Проблема раскрытия структуры триплетного генетического кода [1, 2] (табл. 1) во многом связана с интерпретацией его в пространственно-временном, в частности, объемном представлении и отображении его на плоскости.

Таблица 1

Структура триплетного генетического кода

2 \ 1	У - урацил	С - цитозин	А - аденин	Г - гуанин	У - урацил	Ц - цитозин	А - аденин	Г - гуанин	3
U (У)	Phe Phe Leu Leu	Ser Ser Ser Ser	Tyr Tyr STP STP	Cys Cys STP Trp	фенилалан. фенилалан. лейцин лейцин	серин серин серин серин	тирозин тирозин стоп - к. стоп - к.	цистеин цистеин стоп - к. триптоз.	U (У) С (Ц) А (А) Г (Г)
C (Ц)	Leu Leu Leu Leu	Pro Pro Pro Pro	His His Gln Gln	Arg Arg Arg Arg	лейцин лейцин лейцин лейцин	прол. прол. прол. прол.	гистид. гистид. глутам. глутам..	аргинин аргинин аргинин аргинин	U (У) С С(Ц) А (А) Г(Г)
A (А)	Ile Ile Ile Met	Thr Thr Thr Thr	Asn Asn Lys Lys	Ser Ser Arg Arg	изолейцин изолейцин изолейцин старт - к.	треон треон. треон. треон.	аспараг. аспараг лизин лизин	серин серин аргинин аргинин	U (У) С (Ц) А (А) Г (Г)
G (Г)	Val Val Val Val	Ala Ala Ala Ala	Asp Asp Glu Glu	Gly Gly Gly Gly	валин валин валин валин	алан. алан. алан. алан.	аспар.к. аспар.к. глут. к. глут. к.	глицер. глицер. глицер. глицер.	U (У) С (Ц) А (А) Г (Г)

Подобный подход позволил бы через геометрические образы и их отображения на плоскости приблизить решение проблемы построения молекулярной векторной машины и биокомпьютера, вскрыть новые свойства и получить знания о потенциальных возможностях генетического кода всех живых существ, включая человека, как субъекта-аналога в системах "Человек – Машина", так и объекта создания антропоробота.

Приведенный в работах [1, 2, 3] обзор объекта анализа – структуры триплетного генетического кода – позволил выделить следующие формы его описания и представления: *вербальную; табличную; плоскими фигурами* (например, в виде круга, кольца); *схемную; интерпретацию дуплетного* генетического кода с различными типами возможных переходов азотистых оснований ($\alpha \leftrightarrow \beta$, $\beta \leftrightarrow \gamma$ и $\alpha \leftrightarrow \gamma$), а также *пространственную структуру триплетного* генетического кода (правда, вне связи с геометрическими образами, соответствующими, например, телам Платона, или геометрическими формами групп Кюри [4]).

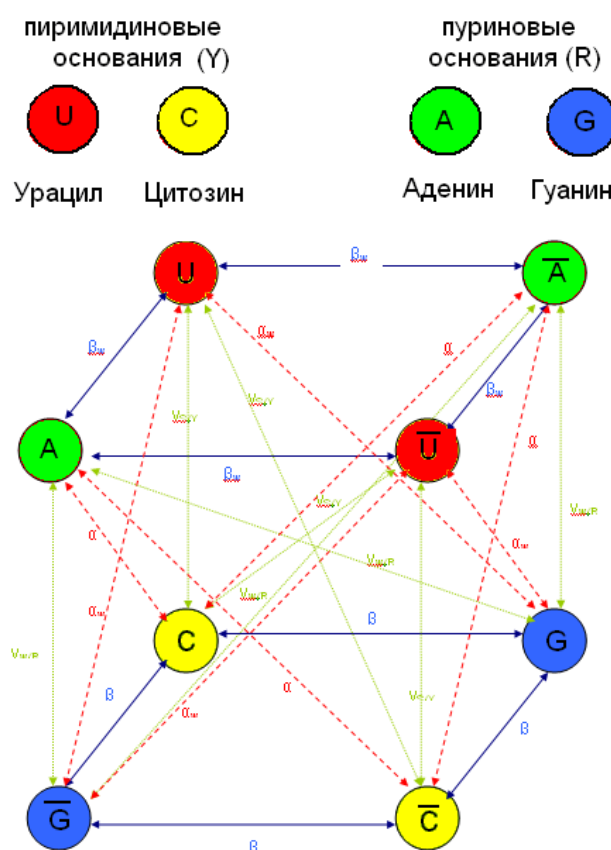


Рис. 1. Объемное представление связей (переходов) между азотистыми основаниями U, C, A, G:

α - $C \leftrightarrow A$, (α_s) - редкий пунктир; $G \leftrightarrow U$, (α_w) - сплошная линия;
 β - $C \leftrightarrow G$, (β_s) - редкий пунктир; $U \leftrightarrow A$, (β_w) - частый пунктир; γ - $C \leftrightarrow U$, ($\gamma_s, (Y)$);
 $G \leftrightarrow A$, ($\gamma_w, (R)$) – сплошные линии

К числу **требований**, которым (по мнению авторов статьи) должны удовлетворять представления о *пространственной структуре триплетного генетического кода* и его *изображений на плоскости*, относятся следующие:

- **наглядность** - пространственное его представление в виде визуально распознаваемых геометрических фигур и их признаков (форма, месторасположение, цвет, ориентация, размеры), включая проекции их объемного изображения на ортогональные плоскости в различных ракурсах. **Изображение априори принадлежит окружающему миру, поэтому объективные законы и известные свойства этого мира – есть законы и свойства изображения** [4];

- **системность**, как отражение в сознании человека ассоциации цельно - структурированного образования (образа, или материализованного объекта), включающего в себя все необходимые и достаточные компоненты, имеющие между собою отношения взаимосвязи (система – «объект») и взаимодействия (система – «процесс»);
- **полнота**, как визуально воспринимаемый в различных ракурсах охват конечного числа компонентов триплетного генетического кода (триплетов или кодонов, всего их - 64), включая своеобразные «дорожные знаки» (Met и STP). Кроме того, это требование включает возможность отображения на ортогональных плоскостях единичных связей (переходов) типа α , β и γ , как сильных S (strong), так и слабых W (weak) между азотистыми основаниями (нуклеотидами) U, C, A, G, а также связей их с аминокислотами (всего их - 20);
- **гармоничность**, которая включает в себя симметричность, уравновешенность, пропорциональность (включая «золотую пропорцию»), сбалансированность триплетов и соответствующих им аминокислот;
- **сохранение принципа «золотой фрактальности»** во Вселенной и биологии [5];
- **непротиворечивость** указанных требований схемам, свойствам и результатам построения геометрической модели человека (ГМЧ) [4], как аналога антропобота.

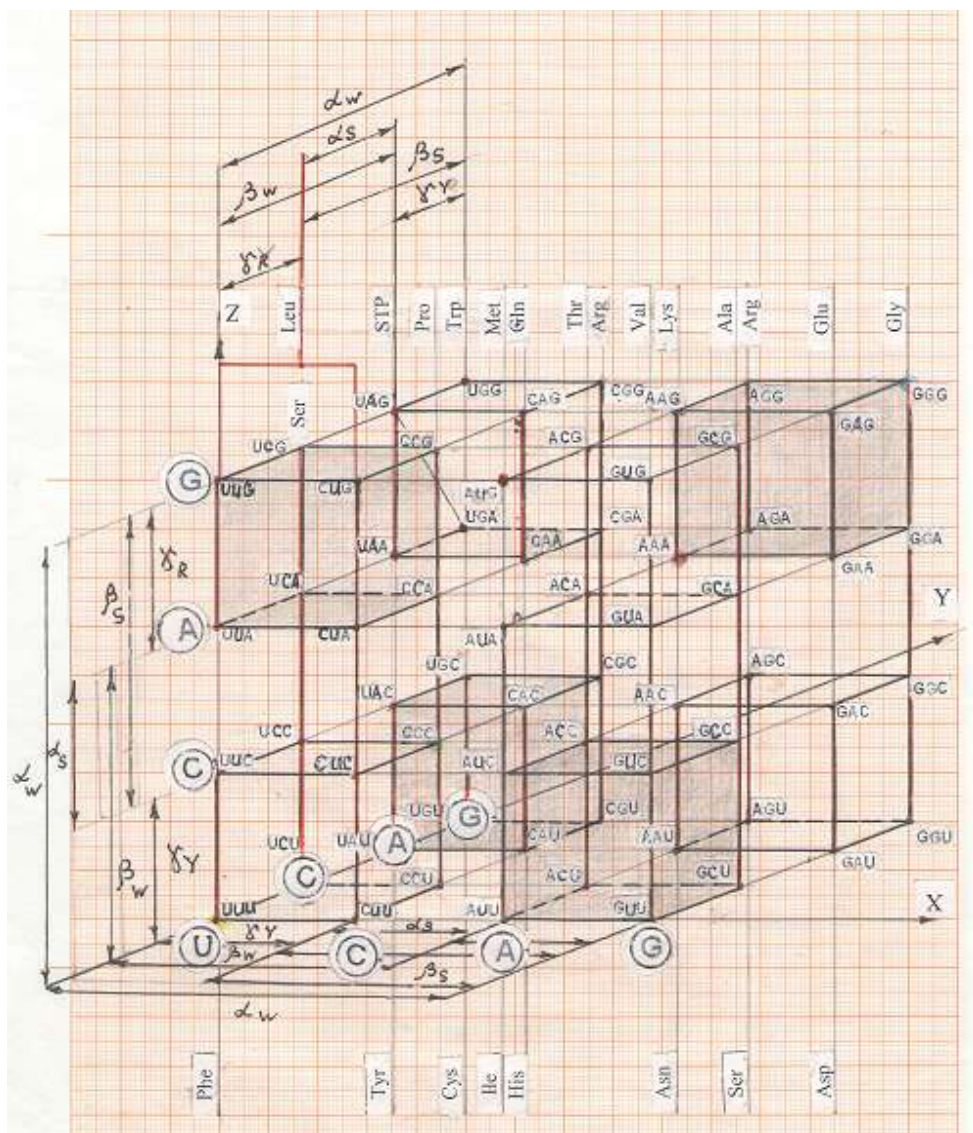


Рис. 2. Пространственная (оси X,Y,Z) структура триплетного генетического кода с обозначениями триплетов, аминокислот и α , β , γ -переходов (связей)

Авторами настоящей статьи **предлагаются следующие принципы построения пространственной структуры триплетного генетического кода и его отображения (изображения) на плоскости:**

1. Принцип отображения в геометрических образах единства (во всем своем многообразии) и целостности в существовании и развитии объектов и процессов по законам гармонии: «все в одном и одно во всем».

2. Принцип так называемой «матрешки», или иерархии, который предполагает унификацию представлений наблюдателя об объектах наблюдения по их изображениям.

Объекты наблюдения представляются в виде унифицированных пространственных геометрических тел в форме кубической решетки (и его оболочки). Они включают локальные структуры биосистем: азотистых оснований U, C, A, G (с переходами α , β и γ) (рис. 1); пиримидиновых (Y) и пуриновых (R) групп азотистых оснований (рис. 1, 2); пространственной структуры триплетного генетического кода в виде решетчатого куба (рис. 2).

3. Вводится понятие **координатного и переходного** способов задания положения триплетов в решетчатом кубе. Точке отсчета системы координат (как **правой**, так и **левой**) может соответствовать любая из вершин решетчатого куба, принадлежащей звездному тетраэдру, состоящему из двух встречных тетраэдров, каждый из которых содержит (включает) по четыре вершины решетчатого куба (рис. 3).

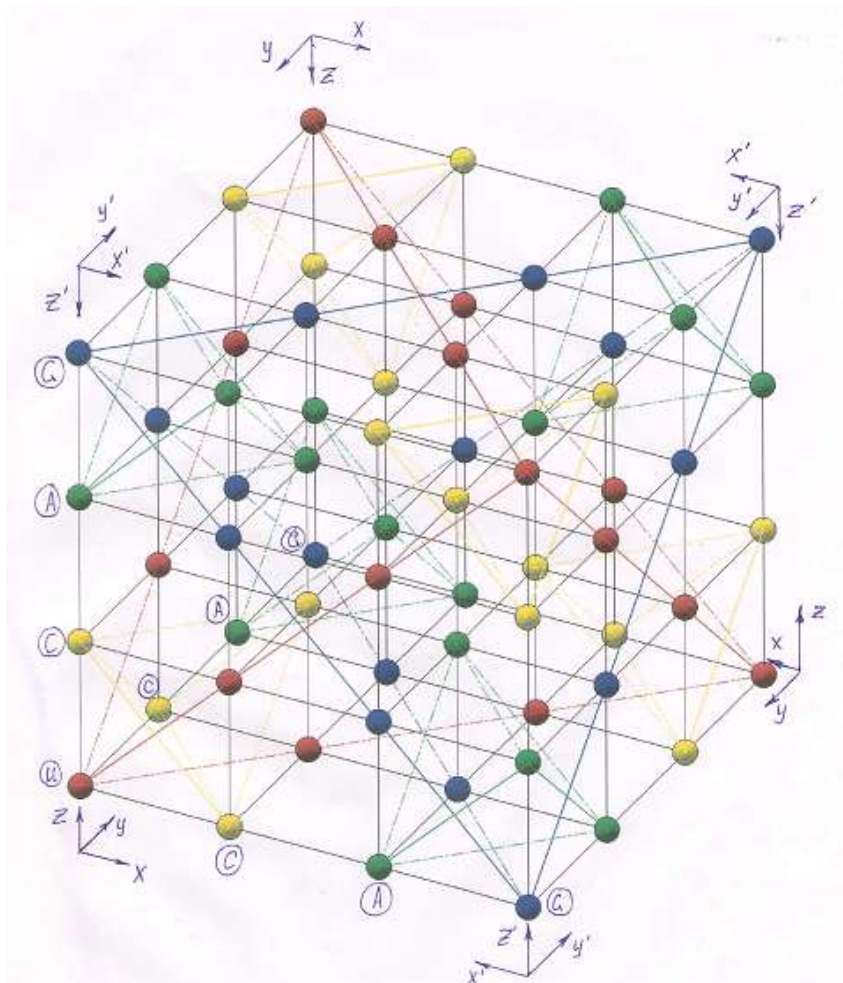


Рис. 3. Пространственное представление в форме решетчатого куба четырехцветных триплетов (узлов) в правой (X, Y, Z) и левой (X', Y', Z') системах координат

3.1. В принятой системе координат (например, правой), по каждой из трех координат X, Y, Z в четырех вершинах первого тетраэдра предлагается откладывать четыре типа азоти-

стных оснований (нуклеотидов) в *прямой* последовательности: U, C, A, G . Для второго тетраэдра (левая система координат X^1, Y^1, Z^1) - в *обратной* последовательности. Адрес триплета в решетчатом кубе определяется считыванием азотистых оснований по осям декартовой системы координат (например, правой) в последовательности кортежа признаков $\langle X, Y, Z \rangle$.

3.2. Четырем нуклеотидам (азотистым основаниям), расположенным на координатных осях X, Y, Z , ставятся в соответствие, например, следующие цвета: U – красный (К); C – желтый (Ж); A – зеленый (З); G – голубой (Г). Порядок считывания нуклеотидов и соответствующих им цветов отражает порядок считывания нуклеотидов для принятой системы координат в последовательности кортежа координат $\langle X, Y, Z \rangle$.

3.3. Существует определенная логика нахождения принадлежности каждого из четырех цветов соответствующим узлам решетчатого куба (рис. 3), который иллюстрирует как *координатный*, так и *переходный* способы задания положения узла решетчатого куба по *итоговому цвету* – *Ц и*.

3.4. Как для *координатного*, так и для *переходного* способов задания пространственного положения узла, итоговые цвета совпадают, но в последнем случае число шагов (фаз) уменьшается на единицу.

4. Свойства *объекта* наблюдения (образа), можно изучать по его изображениям на плоскости, которые визуально воспринимаются *субъектом* наблюдения в двух вариантах.

4.1. *Субъект* наблюдения – наблюдатель (одна «точка зрения») стационарен. *Объект* наблюдения может быть либо неподвижен (стационарен) относительно наблюдателя («статика») в соответствующих ракурсах, как проекциях на ортогональные плоскости изображений, либо подвижен относительно наблюдателя («динамика»), когда объект наблюдения изменяет в пространстве и во времени свое положение.

4.2. *Объект* наблюдения стационарен. Множество *субъектов* наблюдения («наблюдатели») имеют множество «точек зрения» и как бы вписываются в сферу восприятия объекта наблюдения со стационарных мест, либо отдельно взятый наблюдатель изменяет направление визуального восприятия объекта наблюдения.

В любом случае, визуальное восприятие объекта и его изображение зависят от «точки зрения» (поля зрения) субъекта (субъектов), адекватности восприятия объекта и наличия (отсутствия) искажения воспринимающим субъектом объекта восприятия.

5. Узлы решетчатого куба могут принадлежать различным геометрическим телам, включая тела Платона, например, таким, как куб и производные полиэдры, а также геометрическим фигурам групп Кюри - цилиндр, конус, сфера. Для выявления свойств изображений пространственной структуры триплетного генетического кода особый интерес представляют такие геометрические фигуры, как *цилиндры* и *сферы*, которые полностью охватывают все узлы решетчатого куба.

5.1. В случае *цилиндра* (рис. 4), для охвата всех 64 узлов решетчатого куба, достаточно *трех* концентрично расположенных цилиндра с общей осью, перпендикулярной плоскости XU и проходящей через центр симметрии внутреннего квадрата, лежащего в указанной плоскости. Решетчатый куб можно вписать в оболочку, которая представляет собой куб (6 граней, 8 вершин и 12 ребер).

Высота a цилиндров по оси Z равна длине ребра оболочки решетчатого куба и ограничена плоскостью, параллельной плоскости XU . Цилиндры, которым соответствуют радиусы окружностей в поперечных сечениях: R_1 – малый (внутренний), R_2 – средний (промежуточный) и R_3 большой (наружный), пересекают узлы (триплеты) решетчатого куба и соответствующие им аминокислоты (включая, не относящимися к аминокислотам триплеты - «старт»- кодон (Met) и «стоп» – кодон (STP)). Особенно наглядно это проявляется в ортогональной проекции узлов решетчатого куба на плоскость XU (рис. 4).

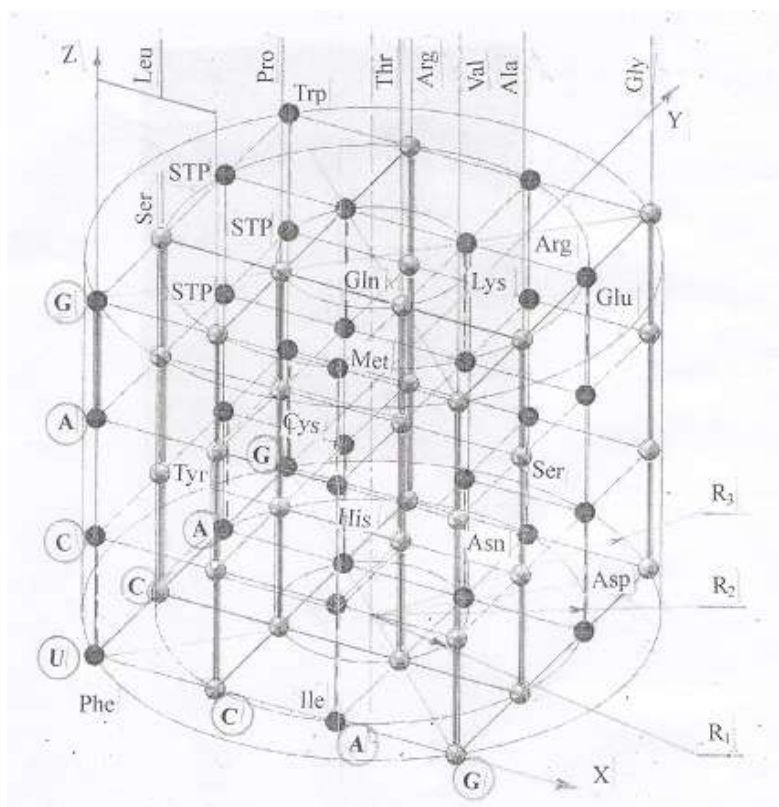


Рис. 4. Концентрические цилиндры (на изображении – эллипсы) с радиусами R_1 , R_2 и R_3 , охватывающие все узлы решетчатого куба и аминокислоты: множество аминокислот M_1 выделено "жирными" прямыми, проходящими через светлые узлы (триплеты); множество M_2 - все остальное

Здесь можно выявить некоторые свойства, а именно:

1) **свойство «золотой пропорции».** Деление отрезка, как разницы радиусов $(R_3 - R_1)$, на неравные части $(R_3 - R_2)$ и $(R_2 - R_1)$ в отношении:

$$(R_3 - R_2) / (R_2 - R_1) = (R_2 - R_1) / (R_3 - R_1) = \Phi^{-1}, \quad (1)$$

где $\Phi = 1,6180\dots$ - число Фидия, отражающее отношение «золотой пропорции»; $R_1 = (a \sqrt{2}) / 6$; $R_2 = (a \sqrt{10}) / 6$ и $R_3 = (a \sqrt{2}) / 2$ - формулы определения соответственно малого R_1 , среднего R_2 и большого R_3 радиусов поперечных сечений концентрических цилиндров, охватывающих узлы решетчатого куба; a – ребро оболочки решетчатого куба. Длине ребра соответствует размер квадрата, как проекция его на плоскость XY ;

2) **площадь $S_{3,2}$ кольца, заключенного между окружностями с радиусами R_3 и R_2 ,** равна площади $S_{2,1}$ кольца, заключенного между окружностями с радиусами R_2 и R_1 , т.е. имеет место соотношение:

$$S_{3,2} / S_{2,1} = (R_3^2 - R_2^2) / (R_2^2 - R_1^2) = 1. \quad (2)$$

3) **площадь $S_{3,1}$ кольца, заключенного между окружностями с радиусами R_3 и R_1 ,** равна сумме площадей $S_{3,2}$ и $S_{2,1}$, т.е. имеет место равенство:

$$S_{3,1} = S_{3,2} + S_{2,1} = (R_3^2 - R_1^2) = (R_3^2 - R_2^2) + (R_2^2 - R_1^2). \quad (3)$$

Учитывая, что $R_3 = 3 R_1$, можно показать, что имеет место отношение:

$$(R_3 - R_2) / (R_2 - R_1) = (R_1 + R_2) / (R_2 + R_3) = \Phi^{-1}. \quad (4)$$

Отношение (4) справедливо как для окружностей, так и для эллипсов.

4) левая часть равенства в формуле (4) отражает тенденцию развития любых объектов Природы от периферии – к центру («сжатие»), а правая часть равенства (4) – от центра – к периферии («расширение»). В любом случае, сохраняется принцип «золотой фрактальности» [5], т.е. само-подобие Природы («все в одном и одно во всем»), существующей и развивающейся по законам гармонии.

5.2. В случае **сферы** (рис. 5), для охвата всех узлов решетчатого куба, минимальное количество концентрических сфер с общим центром равно **четырем**.

Нетрудно убедиться в том, что для решетчатого куба с периодом решетки h , радиусы сфер равны: $R_B = 3h$ – радиус сферы, охватывающей только внешние вершины решетчатого куба; $R_P = h\sqrt{7}$ – радиус сферы, охватывающей узлы, принадлежащие ребрам оболочки решетчатого куба; $R_T = h\sqrt{3}$ – радиус сферы, охватывающей узлы, принадлежащие граням оболочки решетчатого куба; $R_B = h$ – радиус внутренней сферы, охватывающей узлы кубической решетки.

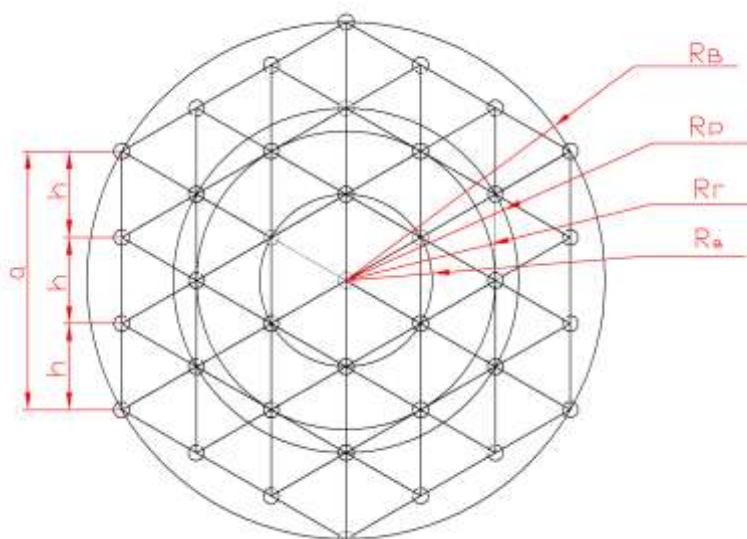


Рис. 5. Концентрические сферы (шестигранники), охватывающие узлы решетчатого куба и имеющие радиусы: R_B, R_P, R_T, R_B

В этом случае имеет место соотношение:

$$(R_B^2 + R_P^2 + R_T^2 + R_B^2) / h^2 = 9 + 7 + 3 + 1 = 20. \quad (5)$$

Обратим внимание на цифры: 1, 3, 7 и 9. В работе [5] подтверждается существование образований (на микро- и макроуровнях) «золотой системы», расстановка которых в целом подчиняется правилу 1: 3: (7-8-9): 27. Заметим, что числу 20 соответствует количество аминокислот, а также количество граней икосаэдра (в виде 20 равносторонних треугольников с 12 вершинами), или вершин додекаэдра (в виде 12 пятигранников с 20 вершинами), как представителями тел Платона. Возможно, что это не случайное совпадение, поскольку Природа едина в своем многообразии, цельно структурирована и подчиняется законам гармонии, которые находят отражение и в Человеке, в частности, в его геометрической модели (ГМЧ) [6].

6. В развитие положения о бинарных цветах (рис. 4), будем разделять следующие две группы цветов (возможны и другие отличительные признаки):

6.1. Цвета (признаки, например, **потенциалы**), которые определяют местоположение (координаты) кодонов в кубической решетке триплетного генетического кода;

6.2. Цвета (признаки), которые выделяют принадлежность этих кодонов к **двум группам аминокислот** (включая «дорожные знаки»), которые принадлежат множествам M_1 (выделено "жирными" вертикальными прямыми) и M_2 (рис. 4).

Множество M_1 однозначно определяется **дуплетами** («равнодушно» к флексиям (кружки - светлые)), а множество M_2 однозначно определяется **триплетами**, («неравнодушно» к флексиям (кружки - темные)).

В случае 6.1 имеет место баланс (и симметрия) потенциалов как по всем ортогональным плоскостям, проходящим через узлы решетчатого куба, так и для всего решетчатого куба в целом (рис. 4). Иными словами, имеет место свойство: **сумма потенциалов узлов решетчатого куба по всем координатным и параллельным им направлениям, а также для всего решетчатого куба, равна нулю.**

В случае 6.2 (рис. 4) также наблюдается баланс (по количеству) и симметрия (взаимное дополнение) двух групп аминокислот, т.е. $M_1 = M_2$.

7. Приведенные ранее соотношения сохраняют указанные свойства даже тогда, когда учитывается **параметр** δ , который меняется в пределах $0 \leq \delta \leq 1$. Изменение параметра δ преобразует (трансформирует) исходный квадрат, вписанный в окружность (при $\delta = 0$), в ромб, которому соответствует эллипс (при $\delta = 1$). Параметр δ является функцией времени ($\delta = \delta(t)$) и входит в параметр $\varepsilon = \varepsilon(t)$, который равен отношению большей полуоси эллипса ($\sqrt{2 + \delta}$) к меньшей ($\sqrt{2 - \delta}$), причем квадрат этого отношения изменяется в пределах от 1 (при $\delta = 0$) до 3 (при $\delta = 1$), т.е. имеет место неравенство:

$$1 \leq \varepsilon^2 \leq 3. \quad (6)$$

Учет параметра $\delta = \delta(t)$ позволяет проследить «динамику» изменения изображений объекта, как отражение развития биологических структур, включая человека и его геометрическую модель - ГМЧ (рис. 6). Характерно, что вспомогательные линии построения ГМЧ проходят через узлы решетчатого куба.

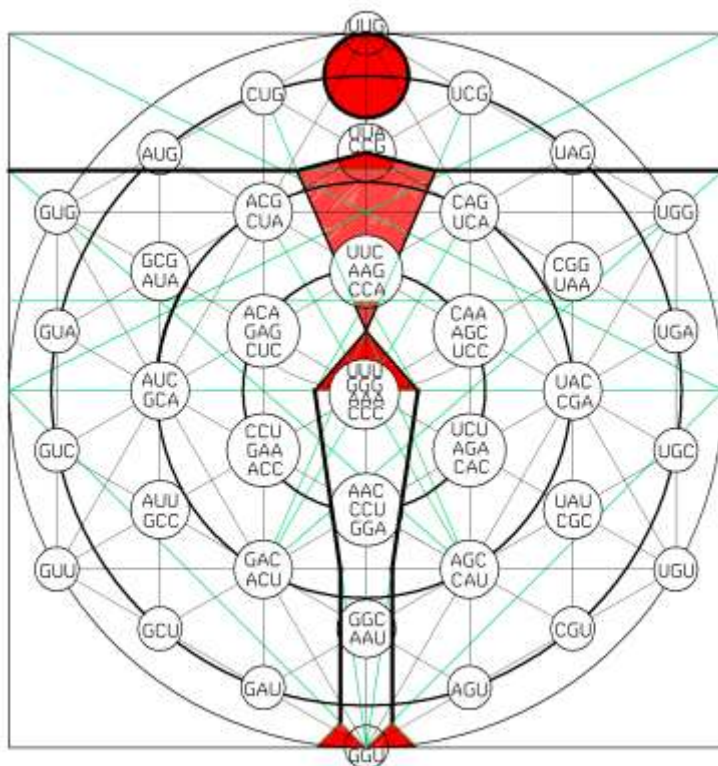


Рис. 6. ГМЧ на фоне узлов (триплетов), охватываемых концентрическими сферами (шестигранниками)

8. Вводится понятие коэффициента визуального восприятия K_v триплетов в решетчатом кубе, как объекта наблюдения субъектом наблюдения с определенным видом восприятия при стационарном положении субъекта при параллельных лучах зрения, соответствующих ортогональным проекциям объекта наблюдения:

$$K_v = (q_1 + q_2 + q_3 + q_4) / 64, \quad (7)$$

где q – количество групп визуально воспринимаемых наблюдателем кодонов (триплетов); цифры 1, 2, 3, 4 соответствуют количеству кодонов, входящих в соответствующую группу q ; 64 – общее число кодонов (триплетов).

Коэффициент K_v отражает вероятность получения полной информации по всем 64 кодонам (триплетам), а следовательно и по всем аминокислотам. Для различных поворотов (ракурсов) решетчатого куба относительно оси (параллельной оси Z) концентрических цилиндров при стационарном положении наблюдателя во фронтальной проекции (перпендикулярно оси Z), K_v принимает значения от 0.25 (при $q_1 = q_2 = q_3 = 0$, $q_4 = 16$) до 1,00 (при $q_1 = 64$ и $q_2 = q_3 = q_4 = 0$). В частности, при $q_1 = 4$, $q_2 = 6$, $q_3 = 0$ и $q_4 = 0$ и при $q_1 = 8$, $q_2 = 2$, $q_3 = 0$ и $q_4 = 0$) он принимает значение 0.625, что близко к соотношению «золотого сечения». Если луч зрения наблюдателя проходит через диагонально противоположные внешние узлы решетчатого куба, то значение коэффициента также составляет $K_v = 0,625$ (при $q_1 = 18$ и $q_2 = 12$, $q_3 = 6$ и $q_4 = 4$). Проекции указанных сфер, воспринимаемых наблюдателем на плоскости изображений, представляются в форме вписанных в них четырех шестигранников (рис. 6).

9. Существует проблема определения пространственной структуры организации белковых молекул и их функций в рамках направления «структурной геномики» [7]. Авторами выдвигается *гипотеза* о том, что трехмерной структуре белковых молекул соответствует маршрут, образованный последовательностью триплетов и аминокислот в решетчатом кубе.

Библиографический список

1. **Ичас, М.** Биологический код / М. Ичас. – М.: Мир, 1971. – 351 с.
2. **Волохонский, А.Г.** О формальной структуре генетического кода // Цитология и генетика. 1972. № 6. С. 487–492.
3. **Карасев, В.А.** Введение в конструирование бионических наносистем / В.А. Карасев, В.В. Лучинин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 464 с.
4. **Компьютерная обработка изображений. Анализ и синтез:** в 2 ч.: учеб. пособие / В.А. Утробин; Нижегород. гос. техн. ун-т. Нижний Новгород, 2003. – 228 с.
5. **Якимова, Н.Н.** Фрактальная Вселенная и золотое отношение: Структурное и ритмическое единство мира / Н.Н. Якимова. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. – 368 с.
6. **Информация. Наноструктурные процессы и фракталы во Вселенной и биологии** / Ю.Г. Кабалдин [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: КнАНТУ. 2009. – 336 с.
7. **Чугунов, А.** Полет бабочки, или немного о пользе структурной геномики // Наука и жизнь. 2010. №1. С. 22–24.

Дата поступления

В редакцию 07.02.2011

U.G. Kabaldin, V.I. Dementev, T.U. Ryzhova

SPATIAL STRUCTURE OF TRIPLET GENETIC CODE AND SOME OF ITS PROPERTIES IN PLANE IMAGES

A new approach to the spatial structure of triplet genetic code (STGK), in addressing the problem of constructing molecular vector machines and biocomputer. Identified properties spatial (STGK) in flat images that reflect its connection with Platonic solids, groups Curie, triplets (codons), and transitions amino acids, as well as the geometric model of a person (GMP), as analog structure anthropo-robot, or operator in an ergonomic system "man - machine".

Key words: genetic code triplets, amino acids, "Golden proportion", the body of Plato, the geometric model of a human (GMP), the system "man - machine".