

DOI: 10.22363/2224-7580-2022-2-113-127

СИСТЕМА ГЕНЕТИЧЕСКОГО КОДИРОВАНИЯ И АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ ГОЛОГРАФИЯ

С.В. Петухов*

*Институт машиноведения имени А.А. Благоднарова РАН,
Российская Федерация, 101990, Москва, Малый Харитоньевский переулок, 4;
Московская государственная консерватория имени П.И. Чайковского,
Российская Федерация, 125009, Москва, Большая Никитская ул.,
д. 13/6, стр. 1*

Аннотация. Статья посвящена структурным особенностям системы молекулярно-генетического кодирования. Эти особенности при их матричном представлении оказываются сопряженными с матричными структурами алгебраической голографии, давно используемыми в цифровой информатике. Описывается связь ансамблей генетических элементов с бит-реверсивной голографией, сплит-кватернионами Кокла и дисковой моделью Пуанкаре гиперболических движений. Эта связь выводит на известные работы по квантовым голографическим помехоустойчивым кодам и позволяет осмысливать факты реализации гиперболической геометрии в генетически наследуемых макрофизиологических феноменах.

Ключевые слова: алфавиты ДНК, бинарные оппозиции, алгебраическая голография, помехоустойчивое кодирование, бит-реверсии, сплит-кватернионы, дисковая модель Пуанкаре, гиперболическая геометрия

Введение

Открытая Д. Габором физическая голография дала науке и технике удивительно эффективные средства хранения и обработки информации, основанные на следующих ее свойствах:

- голографическая память распределена по всему объему (площади) носителя;
- уменьшение объема носителя только ухудшает детализацию изображения, но не разрушает его частей;
- возможность получения множества высококачественных изображений на одном носителе за счет изменения угла лазерного луча при их записи и воссоздании (в отличие от обычной фотосъемки, при которой съемка разных изображений на одном кадре пленки портит каждое из них);
- вся информация записывается на плоскую двумерную пластину, однако на ее основе воссоздается трехмерное объемное изображение.

* E-mail: spetoukhov@gmail.com

Названные свойства физической голографии породили множество новых подходов в биологии и физике, многие из которых с ними связаны. Например, в биологии широко известна концепция связи функций мозга со свойствами голографии, изложенная в книге Прибрама «Языки мозга» [1]. В этой книге подчеркивается, что голографическое описание не имеет себе равных в объяснении проблем восприятия, особенно проблем формирования образов и фантастической способности распознавания. Существует много физиологических данных, подтверждающих эту концепцию. Например, Лешли [2] определил следующее: какую бы часть мозга крысы мы ни удалили, мы не можем уничтожить воспоминания о том, как выполнять сложные действия, которым крыса научилась до операции. Многие физиологические явления, свойства которых напоминают голографические, описаны, например, в книге «Голографическая Вселенная» [3].

Однако мозг и нервная система возникли на относительно позднем этапе биологической эволюции. Огромное количество видов организмов прекрасно жили до ее возникновения и теперь живут без нейронных сетей. Имеется также множество данных эмбриологии, поддерживающих мысли о родстве живого с принципами голографии. Очевидно, что биофеномены голографического типа не могут быть сведены к работе нервной системы. Истоки сходства голографии и нелокальной информатики живых организмов необходимо искать на более глубоком уровне генетической системы.

Физическая голография, обладающая, в частности, высочайшими свойствами помехоустойчивости, основана на регистрации стоячих волн от двух когерентных физических волн предметного луча и опорного луча. Его впечатляющие свойства вызвали в научном сообществе желание создать такие алгебро-логические методы кодирования и обработки цифровых информационных последовательностей и изображений, которые обладали бы некоторыми сходными свойствами без использования фотоматериалов, лазерных лучей и т. п. Созданные на этом пути методы алгебраической голографии ныне активно развиваются в теоретической физике и цифровой информатике. Разными авторами предлагались следующие алгебраические методы голографической обработки цифровых последовательностей:

- 1) бит-реверсивная голография;
- 2) голографическое кодирование на основе преобразований Уолша–Адамара рандомизированных и переставленных данных;
- 3) логическая голография на функциях Уолша.

Автором выявлено, что структуры генетической ДНК-информатики соответствуют ключевым математическим особенностям этих трех алгебро-голографических методов, которые совместно могут быть использованы для развития алгебраической биологии и глубокого понимания генетических явлений. Это позволяет создавать новые алгебро-голографические подходы в генетике, а также такие генетико-подобные версии искусственного интеллекта, которые имитируют генетические структурные свойства; это также свидетельствует в пользу мысли о том, что в основе наследуемых голографических свойств функций мозга лежат соответствующие алгебро-

голографические свойства генетической информатики. В данной статье представлены авторские данные в пользу алгебро-голографической природы генетической информатики в связи с одним из названных методов – методом бит-реверсивной голографии.

Бинарные особенности алфавитов ДНК и генетические матрицы

Во всех организмах генетическая информация записывается единообразно в виде длинных текстов из четырех нуклеотидов (молекулярных «букв»). В молекулах ДНК такими буквами выступают аденин А, цитозин С, гуанин G и тимин Т (рис. 1).

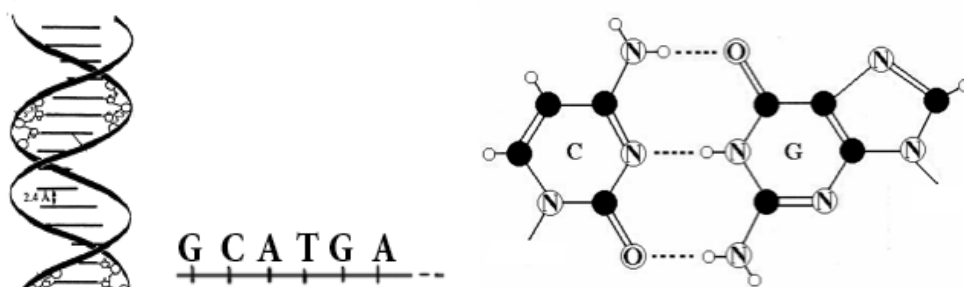


Рис. 1. Двойная спираль ДНК и комплементарные пары нуклеоснований А, Т, С и G в ней

Этот алфавит 4 нуклеотидов наделен системой бинарно-оппозиционных признаков (индикаторов):

1) два из этих нуклеотидов являются пуринами (А и G), имея в молекуле два кольца, а два другие (С и Т) – пиримидинами, имея одно кольцо. С позиций этих оппозиционных индикаторов $C = T = 1, A = G = 0$;

2) два из этих нуклеотидов являются кето-молекулами (Т и G), а два других (С и А) – амино-молекулами, что дает $C = A = 1, T = G = 0$.

Это позволяет представить ДНК-алфавиты 4 букв, 16 дуплетов и 64 триплетов в форме квадратных таблиц, столбцы которых нумеруются бинарными индикаторами «пиримидин или пурин» ($C=T=1, A=G=0$), а строки – бинарными индикаторами «амино или кето» ($C=A=1, T=G=0$). В таких таблицах все буквы, дуплеты и триплеты автоматически занимают свое строго индивидуальное место (рис. 2).

		1	0						
1	0	C	A						
0	1	T	G						

	11	10	01	00				
11	CC	CA	AC	AA				
10	CT	CG	AT	AG				
01	TC	TA	GC	GA				
00	TT	TG	GT	GG				

	111	110	101	100	011	010	001	000
111	CCC	CCA	CAC	CAA	ACC	ACA	AAC	AAA
110	CCT	CCG	CAT	CAG	ACT	ACG	AAT	AAG
101	CTC	CTA	CGC	CGA	ATC	ATA	AGC	AGA
100	CTT	CTG	CGT	CGG	ATT	ATG	AGT	AGG
011	TCC	TCA	TAC	TAA	GCC	GCA	GAC	GAA
010	TCT	TCG	TAT	TAG	GCT	GCG	GAT	GAG
001	TTC	TTA	TGC	TGA	GTC	GTA	GGC	GGA
000	TTT	TTG	TGT	TGG	GTT	GTG	GGT	GGG

Рис. 2. Расположение ДНК-алфавитов 4 нуклеотидов, 16 дуплетов и 64 триплетов в таблицах, построенных на учете бинарно-оппозиционных молекулярных признаков в алфавите нуклеотидов С, А, Т, G

Данные три таблицы являются не просто таблицами, а начальными членами единого тензорного семейства матриц $[C, A; T, G]^{(n)}$, где символ (n) обозначает тензорную степень при $n = 1, 2, 3, 4, \dots$. Вторая и третья тензорная (кронекеровская) степень $(2*2)$ -матрицы $[C, A; T, G]$ автоматически дают эту $(4*4)$ -матрицу алфавита 16 дуплетов и эту $(8*8)$ -матрицу алфавита 64 триплетов на рис. 2. Тензорное произведение матриц играет важную роль в квантовой информатике и квантовой механике многокомпонентных систем: пространство состояния многокомпонентной квантовой системы является тензорным произведением пространств состояний ее компонент. Эта связь семейства матричных представлений алфавитов ДНК с тензорным произведением матриц является одним из свидетельств сопряжения структурного устройства генетической системы с формализмами квантовой механики и квантовой информатики.

Бинарно-опозиционные особенности строения молекулярно-генетической системы не исчерпываются указанными выше бинарными свойствами алфавита 4 нуклеотидов ДНК. Другой важный феномен бинарно-опозиционного устройства системы генетического кодирования был указан известным физиком Ю.Б. Румером [4–6]. Он отметил, что множество 64 триплетов, кодирующих 20 аминокислот, из которых строятся белки, разделено на два равных подмножества по 32 триплета в каждом:

- 32 триплета с «сильными корнями» (то есть начинающихся с одного из 8 дуплетов CC, CT, CG, AC, TC, GC, GT, GG), кодовое значение которых не зависит от вида буквы на их третьей позиции);
- 32 триплета со «слабыми корнями» (то есть начинающихся с одного из оставшихся 8 дуплетов CA, AA, AT, AG, TA, TT, TG, GA), кодовое значение которых зависит от вида буквы на третьей позиции.

Матрицы на рис. 3 показывают начало тензорного семейства матриц $[C, A; T, G]^{(n)}$ при $n = 2, 3$. Эти матрицы использовались для представления алфавитов 16 дуплетов и 64 триплетов во многих предыдущих публикациях автора [6–8 и др.]. Упомянутые сильные дуплеты, а также триплеты с сильными корнями обозначены в матрицах черным цветом в отличие от других дуплетов и триплетов. Дополнительно автор рассматривает также генетические матрицы $[C, A; T, G]^{(n)}$ при $n = 4, 5, \dots$ для алфавитов 256 тетраплетов, 1024 пентаплетов, ... с соответствующими черно-белыми мозаиками, в которых полиплеты с сильными корнями (то есть начинающиеся с 8 дуплетов CC, CT, CG, AC, TC, GC, GT, GG) аналогично обозначаются черным цветом в отличие от полиплетов, имеющих слабые корни. Эти мозаичные матрицы условно называются «корне-мозаичными матрицами». Пример такой матрицы в случае ДНК алфавита 256 тетраплетов показан на рис. 3 внизу.

Последовательность блоков черных и белых клеток в каждом из рядов имеет меандровый характер (представляет собой чередование блоков одинаковой длины) и соответствует одной из функций Радемахера [6; 7]. Эта ортонормированная система функций, которые принимают только два значения «+1» и «-1», хорошо известна в теории дискретных сигналов [https://encyclopediaofmath.org/wiki/Rademacher_system]. Система функций

Радемахера является типичным примером системы стохастически независимых функций и имеет приложения как в теории вероятностей, так и в теории ортогональных рядов. Некоторые теоремы теории вероятностей можно сформулировать в терминах функций Радемахера. Функции Радемахера являются частными случаями функций Уолша, которые широко используются при алгебраическом кодировании информации в коммуникационных технологиях, а также в логической голографии. Полная ортогональная система функций Уолша, связанная с матрицами Адамара в теории помехозащищенного кодирования и квантовых вычислений, может быть построена на произведениях функций Радемахера. В частности, эти мозаичные генетические матрицы (рис. 3) позволили открыть универсальные правила вероятностей в стохастической организации информационных последовательностей ДНК в геномах высших и низших организмов; данные правила, по всей видимости, выполняются на протяжении всей биологической эволюции и имеют отношение к вопросу о происхождении жизни [9–13]. В целом эти и другие факты означают, что описываемая феноменология ДНК-алфавитов основана на важных алгебраических принципах.

	11	10	01	00
11	CC	CA	AC	AA
10	CT	CG	AT	AG
01	TC	TA	GC	GA
00	TT	TG	GT	GG

	111	110	101	100	011	010	001	000
111	CCC	CCA	CAC	CAA	ACC	ACA	AAC	AAA
110	CCT	CCG	CAT	CAG	ACT	ACG	AAT	AAG
101	CTC	CTA	CGC	CGA	ATC	ATA	AGC	AGA
100	CTT	CTG	CGT	CGG	ATT	ATG	AGT	AGG
011	TCC	TCA	TAC	TAA	GCC	GCA	GAC	GAA
010	TCT	TCG	TAT	TAG	GCT	GCG	GAT	GAG
001	TTC	TTA	TGC	TGA	GTC	GTA	GGC	GGA
000	TTT	TTG	TGT	TGG	GTT	GTG	GGT	GGG

	1111	1110	1101	1100	1011	1010	1000	0111	0110	0101	0100	0011	0010	0001	0000	
1111	CCCC	CCCA	CCAC	CCAA	CACC	CACA	CAAC	CAAA	ACCC	ACCA	ACAC	ACAA	AACC	AACA	AAAC	AAAA
1110	C CCT	CCCG	CCAT	CCAG	CACT	CACG	CAAT	CAAG	ACCT	ACCG	ACAT	ACAG	AACT	AACG	AAAT	AAAG
1101	CCTC	CCTA	CCGC	CCGA	CATC	CATA	CAGC	CAGA	ACTC	ACTA	ACGC	ACGA	AATC	AATA	AAGC	AAGA
1100	CCTT	CCTG	CCGT	CCGG	CATT	CATG	CAGT	CAGG	ACTT	ACTG	ACGT	ACGG	AATT	AATG	AAGT	AAGG
1011	CTCC	CTCA	CTAC	CTAA	CGCC	CGCA	CGAC	CGAA	ATCC	ATCA	ATAC	ATAA	AGCC	AGCA	AGAC	AGAA
1010	CTCT	CTCG	CTAT	CTAG	CGCT	CGCG	CGAT	CGAG	ATCT	ATCG	ATAT	ATAG	AGCT	AGCG	AGAT	AGAG
1001	CTTC	CTTA	CTGC	CTGA	CGTC	CGTA	CGGC	CGGA	ATTC	ATTA	ATGC	ATGA	AGTC	AGTA	AGGC	AGGA
1000	CTTT	CTTG	CTGT	CTGG	CGTT	CGTG	CGGT	CGGG	ATTT	ATTG	ATGT	ATGG	AGTT	AGTG	AGGT	AGGG
0111	TCCC	TCCA	TCAC	TCAA	TACC	TACA	TAAC	TAAA	GCCC	GCCA	GCAC	GCAA	GACC	GACA	GAAC	GAAA
0110	T CCT	TCCG	T CAT	T CAG	TACT	TACG	TAAT	TAAG	G CCT	G CCG	G CAT	G CAG	GACT	GACG	GAAT	GAAG
0101	TCTC	TCTA	T CGC	T CGA	TATC	TATA	TAGC	TAGA	GCTC	GCTA	G CGC	G CGA	GATC	GATA	GAGC	GAGA
0100	TCTT	TCTG	T CGT	T CGG	TATT	TATG	TAGT	TAGG	GCTT	GCTG	G CGT	G CGG	GATT	GATG	GAGT	GAGG
0011	TTCC	TTCA	TTAC	TTAA	TGCC	TGCA	TGAC	TGAA	GTCC	GTCA	GTAC	GTAA	GGCC	GGCA	GGAC	GGAA
0010	TTCT	TTCG	TTAT	TTAG	TGCT	TGCG	TGAT	TGAG	GTCT	GTGC	GTAT	GTAG	GGCT	GGCG	GGAT	GGAG
0001	TTTC	TTTA	TTGC	TTGA	TGTC	TGTA	TGGC	TGGA	GTTT	GTTA	GTGC	GTGA	GGTC	GGTA	GGGC	GGGA
0000	TTTT	TTTG	TTGT	TTGG	TGTT	TGTG	TGGT	TGGG	GTTT	GTTG	GTGT	TGGG	GGTT	GGTG	GGGT	GGGG

Рис. 3. Матрицы ДНК-алфавитов 16 дуплетов, 64 триплетов и 256 тетраплетов. Темно-серым цветом отмечены полиплеты с сильными корнями

Связь алфавитов ДНК с бит-реверсивной голографией

В цифровой обработке сигналов важную роль играет метод побитовых перестановок двоичной нумерации столбцов и строк в квадратных матрицах, который также называют бит-реверсивной голографией; метод связан, в частности, с помехоустойчивым кодированием и алгоритмами быстрого преобразования Фурье [14–18].

Метод бит-реверсивных перестановок основан на обратном порядке чтения двоичной нумерации столбцов и строк (001 становится 100 и т. д.) в квадратных ($2^n \times 2^n$)-матрицах с соответствующими перестановками столбцов и строк. Например, при побитовых перестановках двоично-числовая последовательность 111, 110, 101, 100, 011, 010, 001, 000 (ее десятичный аналог – последовательность 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1) преобразуется в двоичную последовательность 111, 011, 101, 001, 110, 010, 100, 000 (ее десятичный аналог 7, 3, 5, 1, 6, 2, 4, 0, где все нечетные числа собраны внутри левой половины последовательности, а все четные числа – в правой половине). Такая перенумерация столбцов и строк матрицы приводит к соответствующей перестановке ее ячеек и появлению новой матрицы. Применение бит-реверсивной перестановки к двоичной нумерации столбцов и строк этой новой матрицы возвращает исходную матрицу.

Для пояснения воспользуемся примером из работы [17], где показана квадратная матрица размером 512*512 пикселей с нарисованной в ней большой буквой А (рис. 4а). Обратное чтение двоичной нумерации столбцов и строк пикселей в этой матрице перемешивает столбцы и строки, преобразовывая все изображение матрицы (рис. 4б). Если часть изображения в этой новой матрице удалить закрашиванием (рис. 4в), то второе обратное чтение восстанавливает исходное изображение изображения «А» в основном там, где все дефекты оказываются рассредоточенными и не мешают распознаванию исходного изображения (квазиголографическое свойство).

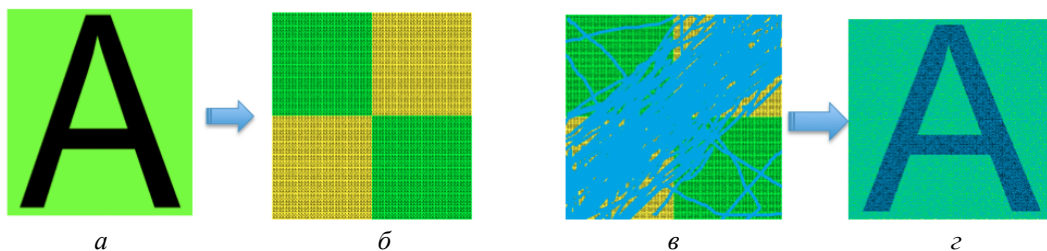


Рис. 4. Пример голографических свойств, связанных с методом бит-реверсивной голографии (из [17]): *a* – исходное изображение буквы А внутри матрицы М размером 512*512 пикселей с соответствующей 9-битной нумерацией столбцов и строк; *б* – результат преобразования матрицы М в новую матрицу $M_{\text{реверс}}$ путем бит-реверсии номеров ее столбцов и строк; *в* – искажение значительной части пикселей в матрице $M_{\text{реверс}}$; *г* – применение бит-реверсии к нумерации столбцов и строк искаженной матрицы $M_{\text{реверс}}$ восстанавливает узнаваемый исходный образ буквы А

Применение автором метода бит-реверсивной голографии к мозаичным алфавитным матрицам из тензорного семейства $[C, A; T, G]^{(n)}$, первые члены которого показаны на рис. 3, преобразовало эти матрицы содержательным образом (рис. 5).

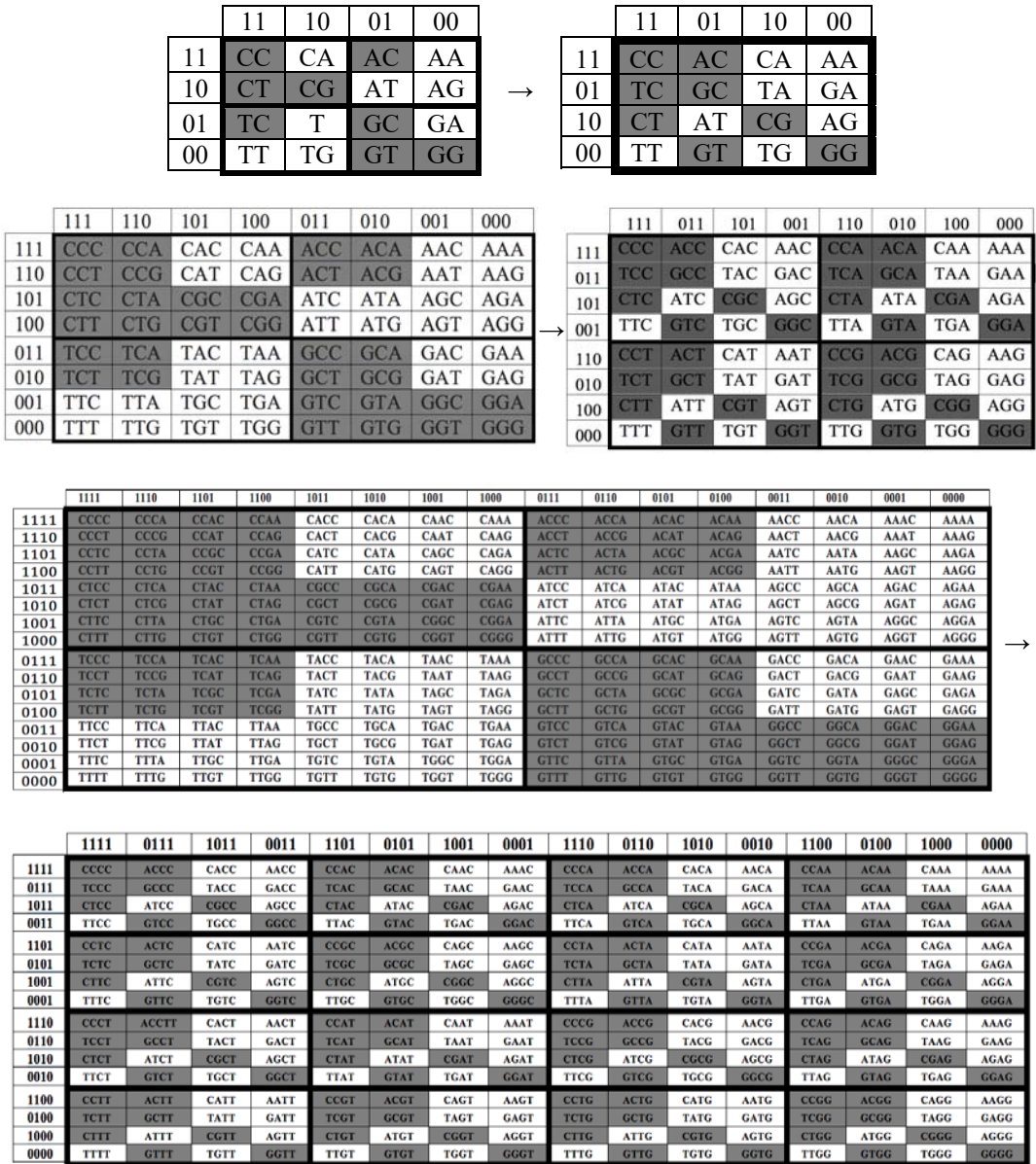


Рис. 5. Трансформация мозаичных алфавитных матриц $[C, A; T, G]^{(n)}$ из рис. 4 в новые мозаичные алфавитные матрицы бит-реверсией в бинарных номерах столбцов и строк исходных матриц

Первый интересный результат от проведения такой бит-реверсивной трансформации генетических матриц из тензорного семейства $[C, A; T, G]^{(n)}$ заключается в том, что все полученные мозаичные матрицы $[C, A; T, G]^{(n)}$ реверс при $n = 3, 4, \dots$ (рис. 5) оказываются по своей мозаике блочными матрицами: их семейство является тензорной колонией или кристаллоподобным объединением одного и того же мозаичного (4×4) -блока, представляющего бит-реверсированную (4×4) -матрицу алфавита 16 дуплетов ДНК (рис. 5 вверху справа). В каждой матрице все строки по своей мозаике также имеют меандровый характер, то есть являются чередованием черных и белых

фрагментов по аналогии с меандровым характером функций Радемахера. Эти факты дополнительно подтверждают алгебраический характер системы структурированных алфавитов ДНК и РНК, имеющей сопряжение с бит-реверсивной голографией. Автор условно называет образующиеся кристаллоподобные матричные колонии «матричными кристаллами» алфавитов полиплетов ДНК и РНК. Алфавитные матричные кристаллы кратко именуется α -кристаллами. Бинарную оппозицию черных и белых клеток в эти матрицах можно выразить числами $+1$ и -1 в соответствующих клетках, учитывая дополнительно, что функции Радемахера представляются последовательностями чисел $+1$ и -1 (рис. 6). Числовую (4×4) -матрицу $[1, 1, -1, -1; 1, 1, -1, -1; 1, -1, 1, -1; -1, 1, -1, 1]$, которая играет роль общего блока в числовых матричных кристаллах на рис. 6, мы называем α -матрицей.

Каждая из численных матриц на рис. 6 может быть алгебраически построена из α -матрицы посредством алгоритма (1), базирующегося на ее тензорном произведении с матрицей $[1, 1; 1, 1]$, берущейся в тензорных степенях (n):

$$[1, 1; 1, 1]^{(n)} \otimes [1, 1, -1, -1; 1, 1, -1, -1; 1, -1, 1, -1; -1, 1, -1, 1] \quad (1)$$

Используемая в (1) матрица $[1, 1; 1, 1]$ является матричным представлением 2-мерного гиперболического (или двойного) числа с единичными координатами. Глубокая структурная связь генетической информатики с 2^n -мерными гиперболическими числами была ранее описана автором в [11].

Второй интересный результат описываемой бит-реверсивной трансформации генетических матриц $[C, A; T, G]^{(n)}$ возникает при анализе вопроса: имеет ли эта базисная α -матрица $[1, 1, -1, -1; 1, 1, -1, -1; 1, -1, 1, -1; -1, 1, -1, 1]$, алгоритмически повторяющаяся в матричных кристаллах (рис. 6), какой-либо существенный алгебраический смысл или она представляет собой просто относительно случайную коллекцию чисел $+1$ и -1 ?

Полученный автором ответ гласит о существенном алгебраическом смысле α -матрицы. Рис. 7 иллюстрирует, что α -матрица является суммой четырех разреженных матриц, набор которых замкнут относительно умножения (перемножение любых двух матриц данного набора друг на друга порождает матрицу этого же набора). Соответствующая таблица умножения для данного набора разреженных матриц неожиданно совпадает с таблицей умножения базисных элементов известной алгебры 4-мерных сплит-кватернионов или кокватернионов, введенных Коклом (J. Cockle) в 1849 г. В частности, сплит-кватернионы используются для описания гиперболических движений в дисковой модели Пуанкаре гиперболической геометрии Лобачевского [19].

Если каждую из α -матриц в многоблочных матрицах на рис. 6 заменить показанным символом дисковой модели Пуанкаре, то получим художественное представление этих матриц, примеры которых показаны на рис. 8. Такие художественные представления полезны для эвристических ассоциаций и развития геометрической интуиции. Вместо данного символа можно также использовать широко известные графические картины Эшера, нарисованные по образам этой дисковой модели.

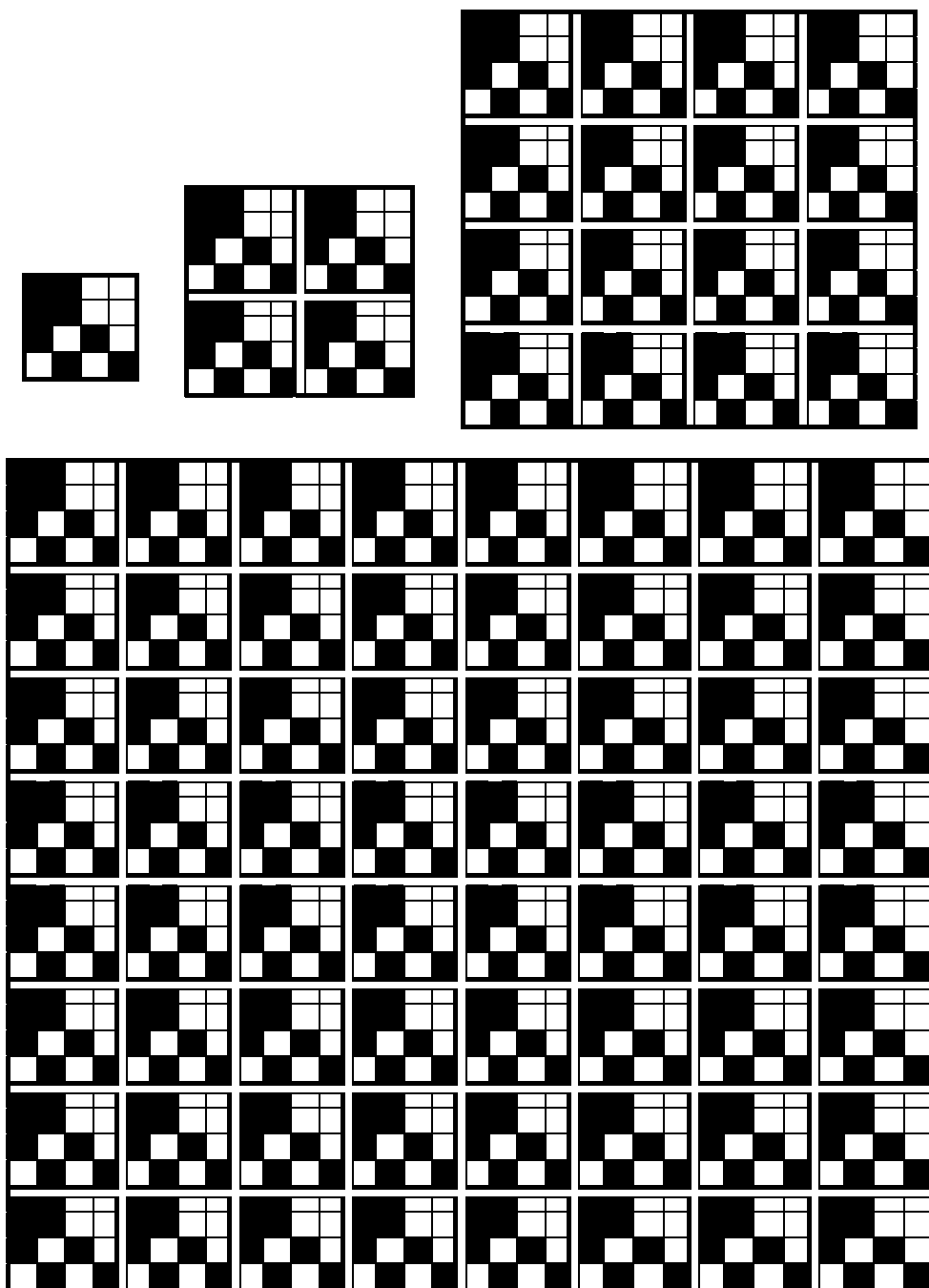


Рис. 6. Генетические «матричные кристаллы», представляющие в численной форме взаимно связанные мозаики символьных матриц $[C, A; T, G]_{\text{реверс}}^{(n)}$ алфавитов ДНК из рис. 5. Каждая черная клетка матриц содержит число +1, а каждая белая – число -1. Показанные многоблочные матрицы являются колониями или объединениями одной и той же (4×4) -матрицы (α -матрицы), представляющей символьную матрицу $[C, A; T, G]_{\text{реверс}}^{(2)}$ алфавита 16 дуплетов

$$\alpha = \begin{vmatrix} 1, 1, -1, -1 \\ 1, 1, -1, -1 \\ 1, -1, 1, -1 \\ -1, 1, -1, 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1,0,0,0 \\ 0,1,0,0 \\ 0,0,1,0 \\ 0,0,0,1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0,0,-1, 0 \\ 0,0, 0,-1 \\ 1,0, 0, 0 \\ 0,1, 0, 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0,0,0,-1 \\ 0,0,-1,0 \\ 0,-1,0,0 \\ -1,0,0,0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0,1, 0, 0 \\ 1,0, 0, 0 \\ 0,0, 0,-1 \\ 0,0,-1, 0 \end{vmatrix} = j_0+j_1+j_2+j_3$$

*	j_0	j_1	j_2	j_3
j_0	j_0	j_1	j_2	j_3
j_1	j_1	$-j_0$	j_3	$-j_2$
j_2	j_2	$-j_3$	j_0	$-j_1$
j_3	j_3	j_2	j_1	j_0

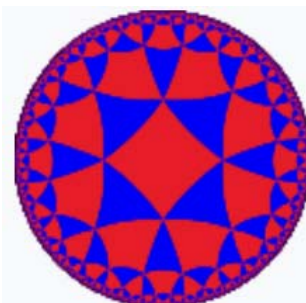


Рис. 7. Декомпозиция α -матрицы на сумму 4 разреженных матриц ($\alpha = j_0+j_1+j_2+j_3$), набор которых замкнут относительно умножения и соответствует таблице умножения алгебры сплит-кватернионов Кокла. Дополнительно показан графический символ дисковой модели Пуанкаре гиперболической геометрии Лобачевского

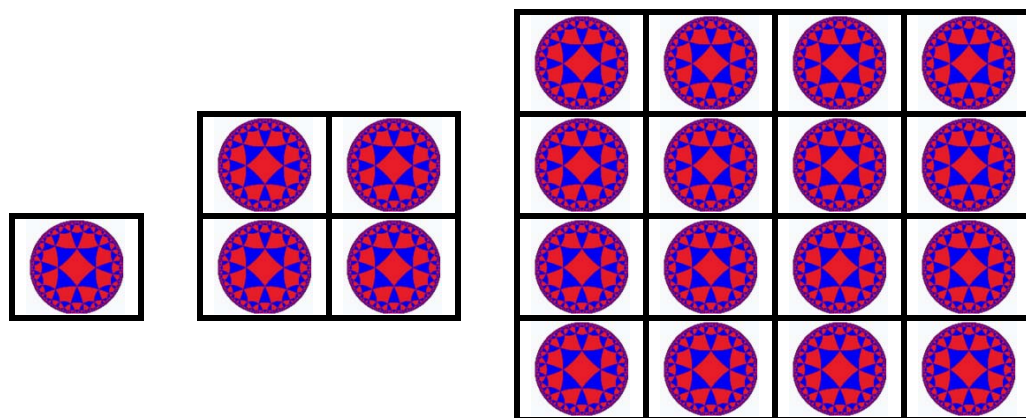


Рис. 8. Примеры художественного представления генетических многоблочных матриц из рис. 6, полученные заменой α -матриц в них символом дисковой модели Пуанкаре

Представляемое изучение алгебро-голографического подхода к многоалфавитной генетической информатике неожиданно открыло структурные параллели генетической информатики с голографическими квантовыми кодами и алгебро-голографическими принципами, активно развиваемыми в современной теоретической физике многими известными авторами. Для иллюстрации этих параллелей приведем выдержки из работ по голографическим квантовым помехоустойчивым кодам, ведущихся в Калифорнийском технологическом институте США [20; 21]. В этих работах используется дисковая модель Пуанкаре и соответствующие замещения гиперболического пространства. Рис. 9, взятый из этих работ, отражает данные параллели, используя тот же самый символ дисковой модели Пуанкаре.

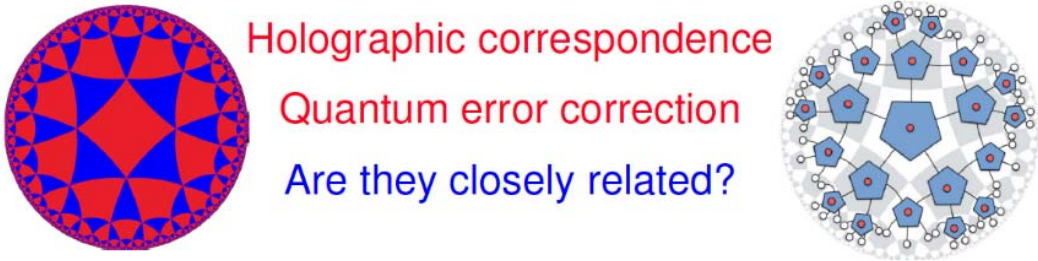


Рис. 9. Иллюстрация к теме голографических квантовых помехоустойчивых кодов из презентации на Американском физическом обществе [21]

Более детально эти параллели поясняет следующая цитата из названных работ, которая описывает квантовые помехоустойчивые коды с тензорной сетевой структурой. «Тензорная сеть опирается на однородную мозаику гиперболического пространства, известную как гиперболическая мозаика. ...Мы сосредоточимся на примерах, основанных на мозаиках двумерного гиперболического пространства, которые являются конкретными реализациями однородных гиперболических мозаик, известных как гиперболические мозаики» [20]. «Голографические квантовые коды с исправлением ошибок строятся путем сжатия совершенных тензоров в соответствии с заполнением гиперболического пространства многоугольниками» [21]. Эту тему возглавляет директор Института квантовой информации и материи Калтеха Дж. Прескилл (J. Preskill). Она включает в себя рассмотрение пространства-времени как квантового помехоустойчивого кода [20].

Вернемся теперь к тензорному семейству мозаичных матриц $[C, A; T, G]^{(n)}_{\text{реверс}}$ (см. рис. 6) для изучения следующего вопроса: как 20 аминокислот и стоп-кодонав, которые кодируются 64 триплетами, расположены в бит-реверсированной (8×8) -матрице $[C, A; T, G]^{(3)}_{\text{реверс}}$? Имеет ли это расположение ярко выраженный закономерный характер, что может дополнительно подтвердить глубокую согласованность системы генетического кодирования аминокислот с методом бит-реверсированной голографии, приведшей к этой матрице? Да, имеет.

На рис. 10 показано взаимно связанное расположение триплетов, аминокислот и стоп-кодонав в матрице $[C, A; T, G]^{(3)}_{\text{реверс}}$ (рис. 5) для случая генетического митохондриального кода позвоночных, который является самым симметричным среди всех диалектов генетического кода и который называется в генетике наиболее древним и идеальным [22] (остальные диалекты генетического кода имеют небольшие отличия от этого базового кода). Как можно увидеть на рис. 10, верхняя и нижняя половины матрицы $[C, A; T, G]^{(3)}_{\text{реверс}}$ неожиданно идентичны друг другу по составу и расположению аминокислот и стоп-кодонав. Все так называемые высоковырожденные аминокислоты (Pro, Thr, Ser, Ala, Leu, Arg, Val, Gly), которые кодируются триплетами с сильными корнями (черные ячейки), расположены во всех четырех квадрантах идентично. Эта строгая регулярность дает дополнительное свидетельство того, что генетическая информатика тесно сопряжена с принципами алгебраической голографии.

CCC Pro	ACC Thr	CAC His	AAC Asn	CCA Pro	ACA Thr	CAA Gln	AAA Lys
UCC Ser	GCC Ala	UAC Tyr	GAC Asp	UCA Ser	GCA Ala	UAA Stop	GAA Glu
CUC Leu	AUC Ile	CGC Arg	AGC Ser	CUA Leu	AUA Met	CGA Arg	AGA Stop
UUC Phe	GUC Val	UGC Cys	GGC Gly	UUA Leu	GUA Val	UGA Trp	GGA Gly
CCU Pro	ACU Thr	CAU His	AAU Asn	CCG Pro	ACG Thr	CAG Gln	AAG Lys
UCU Ser	GCU Ala	UAU Tyr	GAU Asp	UCG Ser	GCG Ala	UAG Stop	GAG Glu
CUU Leu	AUU Ile	CGU Arg	AGU Ser	CUG Leu	AUG Met	CGG Arg	AGG Stop
UUU Phe	GUU Val	UGU Cys	GGU Gly	UUG Leu	GUG Val	UGG Trp	GGG Gly

Рис. 10. Расположение аминокислот и стоп-кодонов в алфавитной матрице кодирующих их 64 триплетов [C, A; T, G]⁽³⁾реверс (из рис. 5).
Показан случай генетического кода митохондрией позвоночных

Выявление связей системы генетического кодирования с дисковой моделью Пуанкаре гиперболической геометрии Лобачевского свидетельствует о генетической основе известных фактов связи генетически наследуемых физиологических феноменов с гиперболической геометрией. Приведем некоторые из них.

Согласно пионерской работе Люнебурга [23], пространство бинокулярного зрительного восприятия описывается гиперболической геометрией. За его публикацией последовало множество работ в разных странах, где идея неевклидова пространства зрительного восприятия была расширена и уточнена. Подход Люнебурга был наиболее тщательно протестирован в работе Киенле [24]. В основной серии своих экспериментов с участием около 200 испытуемых Киенле получил около 1300 визуальных паттернов различного сорта. Данные эксперименты подтвердили не только то, что пространство визуального восприятия описывается гиперболической геометрией, но также то, что дисковая модель Пуанкаре является адекватной моделью этой геометрии. Киенле завершает свою статью словами: «*Модель Пуанкаре гиперболического пространства, впервые примененная для отображения визуального пространства, показывает достаточно хорошее согласие с экспериментальными результатами*» [24].

В статье [25] представлены результаты 20-летних исследований автора по локомоции самых разных животных и человека. Согласно этим результатам, пространственно-временная организация управления локомоциями особым образом связана с гиперболическими вращениями и с геометрией Минковского. На основе этого анализа Смолянинов выдвинул свою «*Локомоторную теорию относительности*» и писал о релятивистском мозге и релятивистской биомеханике.

В работах [26; 27] анализируются ростовые преобразования геометрических решеток в известных морфогенетических явлениях филлотаксиса,

существующих в растительных и животных организмах на различных уровнях и ветвях биологической эволюции. На основе этого анализа автор заявил, что живое вещество структурно связано с геометрией Минковского.

Некоторые заключительные замечания

Представленные авторские результаты показывают неизвестные ранее возможности и направления развития генетической информатики на принципах алгебраической голографии параллельно с голографическими подходами, активно развиваемыми в современной теоретической физике и науке о функциях мозга.

Например, вспомним Д. Бома, которого называют одним из самых значительных физиков-теоретиков XX в. и который внес неортодоксальные идеи в квантовую теорию, нейропсихологию и философию сознания (URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Дэвид_Бом). Бом считал, что отдельное человеческое сознание голографическим образом взаимодействует с сознанием других людей. Человеческое сознание является частью универсальной голограммы всего человеческого рода, так что все данные этого великого целого могут быть извлечены из отдельного сознания. Бом был убежден, что вся Вселенная имеет голографическую структуру и что с ее помощью можно объяснить многие события во Вселенной и в жизни человека. Бом работал с Прибрамом над теорией, согласно которой мозг работает подобно голограмме, в соответствии с квантово-математическими принципами и характеристиками волновых структур [1]. Нобелевский лауреат по физике Герард Хофт выдвинул голографический принцип, который в настоящее время разрабатывается многими физиками в теории струн, квантовой гравитации и т.д. В соответствии с этим принципом, который связывает физику с информатикой, описание объема пространства можно рассматривать как закодированное на его границе.

В целом результаты авторских исследований структурных правил генетической информатики свидетельствуют в пользу эффективности модельного подхода к живым организмам как квантово-информационным алгебро-гармоническим сущностям, обладающим алгебро-голографическими свойствами. В частности, данный подход позволяет разрабатывать новые подходы к развитию искусственного интеллекта. Дополнительные материалы о связи генетической системы и алгебраической голографии можно найти в препринте автора [9] и публикациях на сайте <http://petoukhov.com/>.

Литература

1. *Прибрам К.* Языки мозга. Экспериментальные парадоксы и принципы нейропсихологии. М.: Прогресс, 1975.
2. *Lashley R. S.* Brain mechanisms and intelligence. University of Chicago Press, January 1, 1929.
3. *Талбот М.* Голографическая вселенная. Новая теория реальности. М.: София, 2016.

4. Румер Ю. Б. Систематизация кодонов в генетическом коде // ДАН СССР. 1968. Т. 183, № 1. С. 225–226.
5. Конопельченко Б. Г., Румер Ю. Б. Классификация кодонов в генетическом коде // ДАН СССР. 1975. Т. 223, № 2. С. 471–474.
6. Петухов С. В. Матричная генетика, алгебры генетического кода, помехоустойчивость. М.: РХД, 2008. <http://petoukhov.com/matrix-genetics-petoukhov-2008.pdf>
7. Petoukhov S. V., He M. Symmetrical Analysis Techniques for Genetic Systems and Bioinformatics: Advanced Patterns and Applications. IGI Global, Hershey, USA, 2010.
8. Петухов С. В. Генетические основы алгебраической биологии, гештальт генетика и тетра-эйдосы Ю.И. Кулакова // Метафизика. 2021. № 2. С. 65–83.
9. Petoukhov S. V. Algebraic Rules for the Percentage Composition of Oligomers in Genomes. Preprint, 2021. 2021010360. <https://doi.org/10.20944/preprints202101.0360.v3>
10. Petoukhov S. V. Hyperbolic rules of the cooperative organization of eukaryotic and prokaryotic genomes // Biosystems. Dec. 2020. Vol. 198.104273. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2020.104273>
11. Petoukhov S. V. Modeling inherited physiological structures based on hyperbolic numbers // Biosystems. 2021. Vol. 199. 104285. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2020.104285>.
12. Petoukhov S. V. Algebraic harmony and probabilities in genomes. Long-range coherence in quantum code biology // Biosystems. November 2021. Vol. 209. P. 104503.
13. Петухов С. В. Генетические основы алгебраической биологии, гештальт генетика и тетра-эйдосы Ю.И. Кулакова // Метафизика. 2021. № 2. С. 65–83.
14. Gold B., Rader C. M. Digital Processing of Signals. McGraw–Hill: New York, USA, 1969.
15. Karp A. H. Bit reversal on uniprocessors. SIAM Review. Vol. 38 (1). P. 1–26, 1996. <https://doi.org/10.1137/1038001>, MR 1379039
16. Lyons R. Understanding Digital Signal Processing. Pearson; 3rd edition, 954 pages, 2010, ISBN-10: 0137027419, ISBN-13: 978-0137027415.
17. Шуминцев С. Голографические свойства бит-реверсивной перестановки, 2012. URL: <https://habr.com/ru/post/155471/>.
18. Yang Q., Ellis J., Mamakani K., Ruskey F. In-place permuting and perfect shuffling using involutions // Information Processing Letters. 2013. Vol. 113 (10–11). P. 386–391. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ipl.2013.02.017>
19. Karzel H., Kist G. Kinematic Algebras and their Geometries // Rings and Geometry / R. Kaya, P. Plaumann, and K. Strambach editors. 1985. esp449, 50, D. Reidel. P. 437–509.
20. Pastawski F., Yoshida B., Harlow D., Preskill J. Holographic quantum error-correcting codes: toy models for the bulk/boundary correspondence // J. High Energ. Phys. 2015. 149.
21. Preskill J. Stability, topology, holography: the many facets of quantum error correction. Presentation at American Physical Society, 16 March 2016. URL: <http://theory.caltech.edu/~preskill/talks/APS-March-2016-preskill.pdf>
22. Франк-Каменецкий М. Д. Самая главная молекула. М.: Наука, 1988.
23. Luneburg R. The metric of binocular visual space // J. Opt. Soc. Am. 1950. N 40. P. 627–642.
24. Kienle G. Experiments concerning the non-Euclidean structure of visual space // Bioastronautics. NY, USA: Pergamon Press, 1964. P. 386–400.
25. Смолянинов В. В. Пространственно-временные задачи локомоторного управления // Успехи физических наук. 2000. Т. 170, № 10. С. 1063–1128. <https://doi.org/10.3367/UFNr.0170.200010b.1063>
26. Боднар О. Я. Геометрия филлотаксиса // Доклады Академии Наук Украины. 1992. № 9. С. 9–15.
27. Боднар О. Я. Золотое сечение и неевклидова геометрия в природе и искусстве. Львов: Издательство «Свит», 1994.

GENETIC CODING SYSTEM AND ALGEBRAIC HOLOGRAPHY

S.V. Petoukhov*

*Blagonravov Institute of Mechanical Engineering of RAS,
4 Maly Kharitonievsky lane, Moscow, 101990, Russian Federation
Tchaikovsky Moscow State Conservatory
1 build., 13/6 Bolshaya Nikitskaya St, Moscow, 125009, Russian Federation*

Abstract. The article is devoted to the structural features of the molecular genetic coding system. These features in their matrix representation turn out to be conjugate with the matrix structures of algebraic holography, which have long been used in digital informatics. The relationship between ensembles of genetic structures and bit-reversing holography, split-quaternions, and the Poincaré disk model of hyperbolic motions is described. This connection leads to well-known works on quantum holographic noise-immune codes and makes it possible to comprehend the facts of the realization of hyperbolic geometry in genetically inherited macrophysiological phenomena.

Keywords: DNA, binary oppositions, algebraic holography, error-correcting coding, bit-reversions, split-quaternions, Poincaré disk model, hyperbolic geometry

* E-mail: spetoukhov@gmail.com