

УДК 519.61+573.2

## Семантическое позиционирование кластеров информационных пакетов

Макаров Л. М.<sup>1</sup>✉, Поздняков А. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, 194100, Российская Федерация

**Постановка проблемы.** Значительное внимание, уделяемое различным аспектам использования технологий искусственного интеллекта в решении задач семантического описания множества объектов и явлений, требует рассмотрения вопросов сопряжения процессов нейронной активности структур головного мозга и формальных процедур компьютерного моделирования. **Цель работы** – рассмотреть возможность создания компьютерной семантической модели позиционирования информационных потоков в формате кластеров, инициализируемых как в процессе мышления, так и на примерах естественных физических объектов и явлений. **Используемые методы.** С основой на теоретические постулаты вычислительной топологии представлена математическая модель формирования кластеров с учетом численных семантических показателей элементов. **Результат.** Показана возможность оперировать различными по физическим и морфологическим признакам кластерами с целью воспроизведения в терминах модели показателя эмерджентности. **Новизна.** Посредством математической модели установлена возможность семантического позиционирования информационных пакетов различной физической природы.

**Ключевые слова:** эмерджентность, вычислительная топология, компьютерное моделирование

## Введение

Разработка технологий анализа событий в терминах и понятиях искусственного интеллекта широко использует методологию кластерного анализа. Кластерный анализ проводится на разных по семантическим признакам массивах данных с целью обнаружения уникальных идентификаторов, соотносимых с группой элементов основного массива. Семантическая характеристика информационного пакета, например, формируемая в мыслительном формате с учетом рабочих процессов сенсорной сети, порождает возможность организации нейронной памяти об объекте, событии или процессе. При рассмотрении больших массивов данных, составляющих основу восприятия естественных природных или антропогенных процессов / объектов, актуализируется проблема воспроизведения априорного морфологического описания набора кластеров, образующих массив [1].

**Библиографическая ссылка на статью:**

Макаров Л. М., Поздняков А. В. Семантическое позиционирование кластеров информационных пакетов // Информационные технологии и телекоммуникации. 2023. Т. 11. № 3. С. 49–61. DOI: 10.31854/2307-1303-2023-11-3-49-61

**Reference for citation:**

Makarov L., Pozdnyakov A. Semantic Positioning of Clusters Information Packages. *Telecom IT*. 2023. Vol. 11. Iss. 3. PP. 49–61 (in Russian). DOI: 10.31854/2307-1303-2023-11-3-49-61

Следуя общим представлениям о семантике восприятия человеком физического пространства, в терминах и определениях рабочих процессов нейронной сети головного мозга, выделяют две связанные структуры – гиппокамп и лимбическую систему [2], оперирующие наборами кластеров. Акцентирование внимания на выделенных нейронных структурах является необходимым условием рассмотрения мыслительной деятельности человека, моделирование которой сопряжено с синтезом графических образов, позиционируемых набором кластеров.

Гиппокамп представляет парное сложно-структурное образование, которое находится в височных долях двух полушарий головного мозга и обладает взаимными связями. Нейронные структуры гиппокампа и лимбической системы взаимосвязаны, что в значительной степени и определяет мышление и творческие процессы. Сопряжение рабочих процессов данных структур отчетливо просматривается на компьютерных томограммах [2]. Наличие относительно небольшой вариабельности визуальных графических образов нейронной сети лимбической системы может рассматриваться как иррациональный процесс. Наряду с этим для нейронных структур гиппокампа, воспроизводимых на компьютерных томограммах, обнаруживается серия геометрических образов с мало меняющимся периметром. Данный феномен можно отождествлять с моделью постоянного синтеза активации двух разных нейронных сетей, сочетание рабочих процессов которых порождает возможность воспроизведения двухкомпонентного геометрического образа в виде окружности и квадрата [3]. Такой составной образ описывается в терминах геометрической топологии, способствующей изучению развития событий в сложных динамических системах. Геометрическая топология позволяет создавать математические модели в формате кластеров, описывающих гладкие многообразия числовых данных.

Воспроизводимые в модели образы позиционируются массивами числовых данных, которые формируются в процессе интерактивного выделения значимых фрагментов, например, на компьютерной томограмме [3, 4], или визуального анализа изображения на экране компьютера. Отметим, что естественное восприятие сложных рецепторных процессов и многочисленных физически обнаруживаемых человеком явлений проходит стадии нейронного анализа, где существенными являются отдельные процедуры позиционирования информационных пакетов в формате кластеров. Формализм описания подобных нейронных процессов представляет актуальную проблему понимания естественного синтеза разумных суждений, облеченных в семантические образы хорошо узнаваемых геометрических форм. Следуя этим представлениям, томографические исследования предоставляют обширный материал в формате геометрических образов, формализм позиционирования которых составляет основу математической модели интерпретации семантического процесса смены состояний нейронной сети.

Сохраняя общность суждения о работе нейронных сетей гиппокампа и лимбической системы, полагаем, что между двумя численными множествами состояний можно установить взаимно однозначное соответствие (биекцию). Тогда такие множества определяются как равномошные. Можно сказать, что такое состояние нейронных сетей справедливо соотносить с отсутствием семантической активности.

С точки зрения теории множеств такие равномогные множества неразличимы. При биективном отображении каждому элементу одного множества соответствует ровно один элемент другого множества, при этом определено и обратное отображение, которое обладает тем же свойством [5]. Упрощенное понимание этого процесса сводится к описанию процедуры «формирования семантической памяти» в процессе жизнедеятельности организма. Первоначально, в раннем возрасте, создаются примитивные ключевые понятия – кластеры, которые с течением времени трансформируются в сложные конструкции, характеризуемые множеством элементов. Значимость отдельных фрагментов нейронной памяти формируется на множестве нейронных кластеров. В терминах и понятиях множества элементов / кластеров создается математическая модель семантической памяти. Это графический альянс образов нейронной сети, составляющих набор понятий, создаваемых в процессе мыслительной деятельности.

Для определенности положим наличие множества ( $U_0$ ) с абсолютно идентичными элементами, например, по форме и численным показателям. Тогда для любого произвольно выбранного множества элементов ( $U_m$ ) можно рассмотреть процедуру биекции. При условии исполнения формализма сопоставления множеств, когда  $U_0$  тождественно  $U_m$ , констатируем не только проявления свойства биекции, но и полное совпадение элементов для двух множеств. А по сути, это и означает создание кластера долговременной семантической памяти. Далее декларируем, что полное соответствие условия биекции следует рассматривать и как свойство эмерджентности, когда характеристику массива данных о процессе / объекте, представленного в формате пакета, невозможно отождествлять свойствами отдельных элементов. Нарушение условия обнаружения биекции является основой для синтеза суждения о наличии свойства эмерджентности. В этом случае эмерджентность рассматривается как свойство системы, представленной набором элементов, которое характеризует выраженность топологических системообразующих связей между элементами [5, 6]. Следует признать, что такие суждения применительно к структурам головного мозга создаются на основе имплицитных понятий [7], позиционируемых сигнальными нейронными пакетами с иррациональными свойствами. Наличие иррациональности в свойствах нейронных пакетов порождает типичное представление о хаосе [6, 8], когда отсутствует возможность обнаружения / выделения семантической компоненты кластера.

Развитие естественно-научных дисциплин, использующих фундаментальные концепты философии, подготовило базис для акцентирования внимания на диссипативных системах. В терминах и определениях диссипативных систем наличие иррационального характера природных процессов, в том числе и мыслительной деятельности, проявляется в имплицитности данных, представленных в формате кластера, образованного двумя геометрическими объектами – окружностью и четырехугольником. Отметим, что формально периметр окружности можно представить в виде бесконечного численного значения, в то время как для четырехугольника периметр характеризуется конечным численным значением. Сочетание этих понятий декларирует отсутствие

возможности обнаружения абсолютной истины в семантическом процессе мышления.

Выделяя идею о наличии имплицитности в исходных данных массивов наблюдений за объектами и процессами, воспринимаемыми нейронными структурами головного мозга человека, авторы постулируют возможность использовать методы анализа алгебраической и геометрической топологии [7, 9–11], оперирующих образами четырехугольника и окружности (рисунок 1).

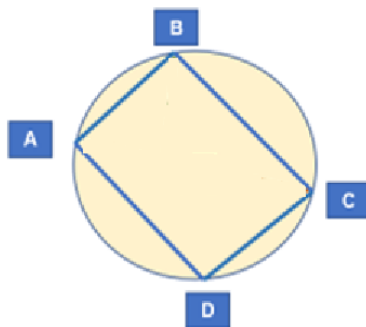


Рис. 1. Сопряжение геометрических фигур

Выделение геометрических фигур в композиционном сочетании позволяет в явной форме указать на имплицитность знаний о периметрах (см. рисунок 1). Соотношение периметров и элементов геометрических фигур хорошо отражает идею отсутствия абсолютной истины. Но при этом рассуждения о линейных размерах фигур позволяют воспроизводить серию логических суждений.

В терминах алгебры периметры представленных фигур сопряжены иррациональным соотношением, что должно отождествляться с отсутствием возможности построения «абсолютного полного информационного пакета данных о наблюдаемом процессе / объекте» [5]. Формальный функционал модели представим в виде выражения:

$$AB * CD + AD * BC = AC * BD. \quad (1)$$

Произведение длин диагоналей вписанного четырехугольника равняется сумме произведений длин противоположных сторон четырехугольника (1). Так формулируется теорема Птолемея [10]. По умолчанию признается, что в случае, если четырехугольник является квадратом, его диагонали представляют собой диаметр окружности. Такое совмещение геометрических фигур позволяет создавать различные по масштабу модели. В терминах вычислительной топологии данная теорема строго доказана [10, 11].

### Постановка задачи

Современные представления об истинности суждения основываются на двух категориях: истинно и ложно. Внесем дуализм в понятие, представленное выражением (1). Тогда можно выделить две компоненты:

$$(AB * CD + AD * BC) = a,$$
$$AC * BD = b.$$

При  $a = b$  информационный показатель определяется как: (2)

$$Q = \log_2 \left( \frac{a}{b} \right) = 0.$$

В терминах теории информации полученный результат в (2) соответствует классической информационной оценке  $a = b$ , выраженной в битах. Иными словами, здесь проявляется фундаментальное свойство кластера, в котором любое количество равных по значению элементов образует поле наблюдаемых событий с нулевым значением информационного показателя, выраженным в битах [11]. Поясним дуализм обсуждаемых понятий. Рассмотрим классический образ модели физического объекта «абсолютно черного тела» (рисунок 2).



Рис. 2. Образ абсолютно черного тела

В терминах физики «абсолютно черное тело» определяется как математический образ сферы, обладающий свойством поглощать абсолютно всю попадающую внутрь энергию излучения любой частоты. Можно сказать, что для такой модели в любой точке  $e_i$  сферического пространства справедливо соотношение:

$$Q = \log_2 \left( \frac{e_i}{e_{i+1}} \right) = 0$$

На этой формальной основе можно воспроизвести схему двухкомпонентной модели формирования информационных пакетов, а фактически семантических понятий. Полагаем, что первый компонент позиционируется факторами внешней среды. Второй компонент позиционирует процесс семантического образа процесса восприятия факторов внешней среды. Сохраняя общность суждений, полагаем, что второй компонент модели характеризуется внутренним пространством, представленным различными структурами головного мозга (рисунок 3).

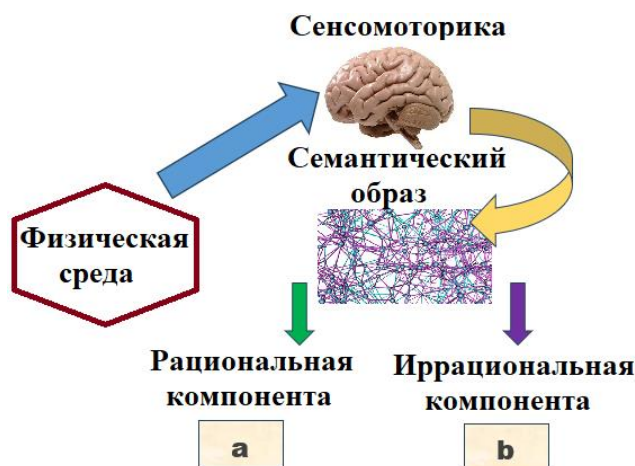


Рис. 3 Компоненты семантического образа

Полагаем, что любой фрагмент нейросети обладает аналитическим ядром с рациональной и иррациональной компонентой. При условии нейтральности входного потока сообщений ( $a = b$ ) показатель результирующего информационного потока равен нулю (ноль бит информации). Чтобы интенсифицировать это понятие, осуществим формальное сопоставление графических образов многоугольника и окружности, позиционируемых в качестве алгебраических объектов с определенными операциями и отношениями, которое проведем с помощью аналитической модели. Предположим, что имеется структура с двумя бинарными операциями (сложением с заданной второй ассоциативной бинарной операцией – умножением), в которой выполняется закон дистрибутивности [11].

Тогда, используя выражение (2), вычислим оценку эмерджентности:

$$\begin{aligned} (AB * CD + AD * BC) &= a, \\ AC * BD &= b. \end{aligned} \quad (3)$$

Или иначе:

$$|a - b| = F.$$

Показатель  $F$  характеризует эмерджентность при условии рассмотрения двух геометрических фигур с идентификаторами  $a$  и  $b$ , отождествляемыми с линейными размерами элементов квадрата и окружности. Действительно, показатель,  $a$  можно соотнести с элементами квадрата, вписанного в окружность. Но при этом некоторые элементы квадрата (диагонали), такие как  $AC$  и  $BD$  ( $b$ ) можно соотносить и с диаметром окружности. В таком случае, очевидно, что эмерджентность следует рассматривать как свойство, проявляющееся вследствие применения процедуры сочетания двух множеств элементов [5, 11]. Известно, что два множества или классы  $A$  и  $B$  равномощны тогда и только тогда, когда между ними существует взаимно однозначное соответствие – биекция. Равномощность характеризуется биекцией в процедуре сопоставления двух множеств с произвольными по форме элементами, а это означает, что одно множество содержит столько же элементов, сколько и другое.

Проиллюстрируем свойства эмерджентности на примере процедуры сочетания двух множеств.

Свойство 1. Если показатель эмерджентности равен нулю ( $F = 0$ ), то информационный показатель, вычисленный по выражению (2), также приобретает нулевое значение ( $Q = 0$ ). Это позволяет декларировать, что абелева группа, представленная набором классических фигур – квадратом и окружностью, полностью характеризует свойство эмерджентности информационного пакета. Расширяя эти представления, можно сказать, что выделенные фигуры принадлежат группе алгебраических объектов и тождественны выпуклым множествам, а следовательно, все точки каждой фигуры образуют равномошные множества [5, 9], характеризующиеся биекцией.

Исходя из суждения о том, что биекция – это свойство взаимного соответствия для двух множеств, сопоставим множества ( $U_0$  и  $U_m$ ), обладающие идентификаторами  $a$  и  $b$ . При условии  $a = b$ , констатируем выполнение условия биекции, что позволяет фиксировать соответствующее значение показателя эмерджентности:  $F = 0$ .

Свойство 2. Очевидно, что в случае, когда обнаруживается неравнозначность идентификаторов  $a$  и  $b$  ( $F \neq 0$ ) рассматриваемых объектов, справедливо полагать наличие уникальных свойств многоугольника и окружности, выраженных значением эмерджентности. Иначе говоря, каждое из множеств, содержащее элементы многоугольника и окружности обладает различиями, а это выражается в нарушении свойства биекции, а следовательно, в проявлении уникальной оценки эмерджентности. В таком случае справедливо указать, что чем больше значение оценки эмерджентности, тем значительнее нарушения системных связей элементов рассматриваемых объектов.

Так, например, в аналитической химии проявление высокой эмерджентности свидетельствует о повышенной активности химического соединения. Общее состояние таких объектов характеризуется нестабильностью проявления основных свойств. В целом применительно к различным объектам и процессам можно констатировать, что формальная процедура вычисления оценки эмерджентности по выражению (3) позволяет установить степень подобия системных свойств, поддерживающих структуру кластера.

## Материалы и методы исследования

Рассмотрим системообразующие свойства эмерджентности на примере группы щелочных металлов [12, 13], для чего проведем расчет оценки эмерджентности и информационного показателя по выражениям (2) и (3) [3, 6, 13]. В таблице 1 представлены расчетные значения оценки эмерджентности ( $F$ ) и информационного показателя ( $Q$ ) ряда химических соединений. Высокие по значению оценки эмерджентности соответствуют «малой системной взаимосвязанности» элементов рассматриваемого объекта. Напротив, низкие – свидетельствуют о наличии сильных системообразующих факторов, способных сохранить объект в неизменном состоянии длительное время.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика щелочных металлов

Отношение показателей $F / Q$ в химических соединениях	Формула оксида	Формула гидроксида
	$\text{Li}_2\text{O}$	$\text{LiOH}$
$F / Q$	64 / 2,566	64 / 2,566
	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{NaOH}$
$F / Q$	384 / 1,424	42 / 0,642
	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{KOH}$
$F / Q$	640 / 0,501	320 / 2,151
	$\text{Rb}_2\text{O}$	$\text{RbOH}$
$F / Q$	1536 / 0,218	768 / 0,561
	$\text{Cs}_2\text{O}$	$\text{CsOH}$
$F / Q$	2496 / 0,141	1248 / 0,329

Таблица 1 отчетливо демонстрирует тенденцию повышения оценки эмерджентности ( $F$ ) в представленном ряде химических соединений от лития ( $\text{Li}$ ) к цезию ( $\text{Cs}$ ), что соответствует результатам натуральных исследований, устанавливающих факт повышения химической активности щелочных металлов [13], представленных в такой последовательности. Полученные результаты вычисления оценок эмерджентности ( $F$ ) соответствуют данным экспериментальных исследований [13]. При этом следует отметить, что информационные показатели ( $Q$ ) рассмотренных химических соединений переменны и не обладают системным принципом, поясняющим образование кластера щелочных металлов.

Таким образом, можно сделать вывод, что оценка эмерджентности характеризует как наличие системных связей, так и прочность этих связей в кластере элементов рассматриваемого процесса / явления. Иначе говоря, эмерджентность можно рассматривать как свойство набора элементов, соотносимых с кластером, демонстрирующим динамичность системных связей между элементами. Дополняя эти представления, можно выделить такое состояние кластера элементов, которое характеризуется нулевым значением эмерджентности. Этот случай, описываемый в терминах квантовой механики [13, 14], соответствует физическому состоянию объекта с нулевым значением энтропии и, соответственно, с нулевым значением информационного показателя ( $Q$ ) [10, 11]. Следуя этим представлениям, можно показать, что при  $a = b$  имеем равенство оценок:  $F = Q = 0$ .

Расширим введенные понятия эмерджентности и рассмотрим естественный лучистый поток, воспринимаемый зрительным анализатором человека. Определим наибольший информационный показатель цветовой гаммы, представленной разными компонентами электромагнитного излучения. В таблице 2 представлен набор параметров светового потока из семи цветов (компонент), воспринимаемых зрительным анализатором человека как цветовой объект [15].



Таблица 2 – Цветовые компоненты естественного светового потока

Цвет	Длина волны (нм)	Частота (ТГц)
Фиолетовый	380–450	670–790
Синий	450–485	620–670
Голубой	485–500	600–620
Зеленый	500–565	530–600
Желтый	565–590	510–530
Оранжевый	590–625	480–510
Красный	625–750	400–480

Проведем расчет оценки эмерджентности и информационного показателя для каждой компоненты цветового набора по выражениям (2) и (3). Результаты отобразим в таблице 3. В серии полученных результатов отмечаем высокие значения оценок эмерджентности для нескольких компонент: красной, оранжевой и зеленой. Акцентируя внимание на этих компонентах естественного лучистого потока, отмечаем, что выделенный набор компонент совпадает с общепринятыми правилами формирования сигнальных форм, например, в конструкции транспортных светофоров. Дополнением к этому набору компонент является фиолетовый цвет, который для визуального контроля процессов редко используется, но обладает большим значением эмерджентности.

Таблица 3 – Расчетные значений оценки эмерджентности и информационного показателя

Показатель	Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Голубой	Синий	Фиолетовый
$F$	20000,00	2100,00	1000,00	2100,00	600,00	0,00	16800,00
$Q$	0,479	0,240	0,441	0,678	0,063	0,000	0,246

Представленные в таблице 3 данные, указывают, что информационные показатели ( $Q$ ) для красной, желтой и зеленой компонент коррелируют с соответствующими оценками эмерджентности ( $F$ ). Наличие корреляции объясняется, с одной стороны, использованием аналитических методов алгебраической и геометрической топологии, а с другой стороны, – включением такого понятия, как энергия излучения (энтропия). Энтропия как мера хаотичности распределения элементов кластера достаточно полно характеризует связанность разных физических понятий о лучистом потоке с использованием показателей частоты и длины волны. Рассмотрение сложных и разных по описанию физических объектов и процессов можно упростить посредством модельного сочетания двух геометрических образов в виде многоугольника и окружности, которые воспроизводят композиционную фигуру с идентификаторами  $a$  и  $b$ . Проведенные построения композиционного образа, а затем расчет и сопоставление линейных элементов выделенных геометрических фигур, иллюстрируют возможность синтеза сложных суждений на объектах различной физической природы.

Так, например, в [16] рассмотрены примеры из области технологий создания полупроводниковых приборов на основе химических элементов: германия, кремния, бора, углерода, фосфора, серы и других в том числе и органических соединений. Типичными элементами для изготовления полупроводника являются кремний и германий. В твердотельной электронике получил широкое распространений атомарный кремний, который обладает значительным количеством сводных электронов, а следовательно, большим показателем проводимости.

Схемы кристаллической решетки полупроводниковой пары кремний – алюминий (Si+Al) с проводимостью *n*-типа и полупроводниковой пары кремний – фосфор (Si+P) с проводимостью *p*-типа, а также кластеры с учетом порядкового номера (числитель) и атомарной массы (знаменатель) по данным из таблицы химических элементов [13] представлены на рисунке 4. Такое сочетание атомарных конструкций кремния образует полупроводниковые пары, обладающие хорошими показателями оценки эмерджентности: кремний – алюминий (SiAl – 2,0); кремний – фосфор (SiP – 6,0). Низкий показатель эмерджентности для случая легирования кремния алюминием указывает на наличие высокой стойкости полупроводника к факторам разрушения.

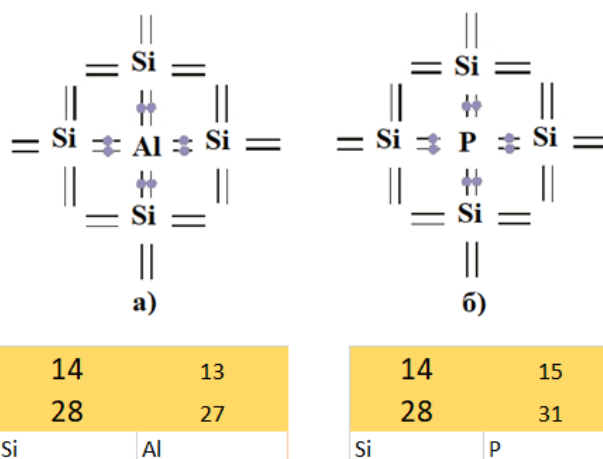


Рис. 4. Схема кристаллической решетки полупроводника кремния: а) легирование алюминием (акцепторная примесь); б) легирование фосфором (донорная примесь)

Следует отметить, что для полупроводниковой пары, представленной композицией кремний – германий (SiGe), удается создавать большую серию логических элементов с гетеропереходными биполярными транзисторами, что открывает большие возможности разработки интегральных микросхем. Для полупроводника германия структурные схемы с разной проводимостью и соответствующие кластеры размещены на рисунке 5. Полупроводниковые пары обладают показателями эмерджентности: германий – мышьяк (GeAs – 4,0); германий – галлий (GeGa – 6,0). Это хорошие показатели полупроводниковой структуры. Несмотря на наличие близких по значению показателей эмерджентности с аналогичными показателями кремния, полупроводниковые приборы на основе германия имеют меньшее распространение на практике в связи с его высокой стоимостью [16].

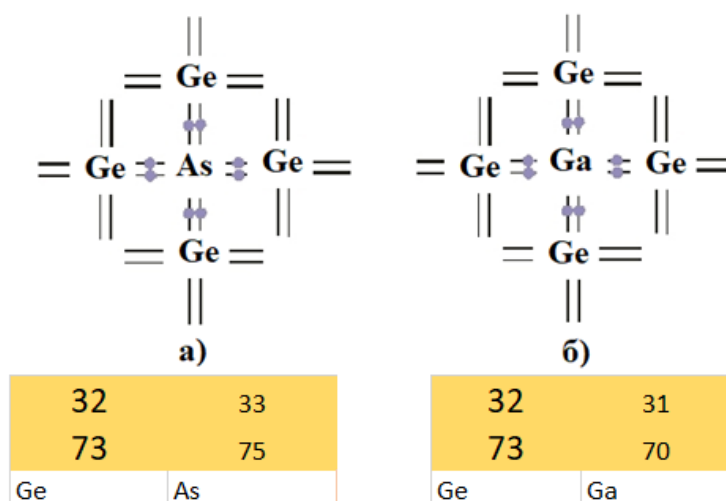


Рис. 5. Схема кристаллической решетки полупроводника германия:  
а) легирование мышьяком (донорная примесь); б) легирование галием (акцепторная примесь)

## Заключение

Многообразие физических процессов и объектов актуализирует проблемы познания и, в частности, с использованием технологий искусственного интеллекта, естественно включающие основные процедуры квантизации мыслительной деятельности человека. При оперировании фактографическими данными о результатах исследования активности нейронных структур головного мозга, осуществляется большое количество вычислительных процедур, порождающих формализм фиксации кластерных образований, позиционируемых в качестве индикаторов мыслительной деятельности человека.

Современные технические средства обнаружения принципов формирования нейронных кластеров в реальной среде головного мозга человека способствует построению формальных правил синтеза интеллектуальных суждений, выражаемых в известных терминах теории информации и диссипативных систем. Формализм правил синтеза суждений позволяет адекватно рассматривать различные процессы и объекты, что создает благоприятные условия для приобретения новых знаний и технологий воспроизведения сложных вычислительных процедур, стремительно заполняющих область разработки искусственных интеллектуальных робототехнических систем.

## Литература

1. Макаров Л. М., Зябликов Д. В. Модель сопряжения когнитивных процессов // II Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» (Санкт-Петербург, 27–28 февраля 2013 г.): сборник статей. СПб.: СПбГУТ, 2013. С. 629–634.
2. Макаров Л. М. Имплицитность биотехнических знаний // Международная научно-практическая конференция «Междисциплинарность научных исследований как фактор инновационного развития» (Екатеринбург, 19 апреля 2020 г.):

сборник статей. Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2020. С. 188–193.

3. Макаров Л. М., Поздняков А. В., Позднякова О. Ф. Визуализация образа структур головного мозга // Визуализация в медицине. 2023. Т. 5. № 3. С. 10–15.

4. Макаров Л. М., Поздняков А. В. Эмерджентный образ кластера в сложной системе // Proceedings of the LXXXVIth International Correspondence Scientific and Practical Conference on International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education (Бостон, 30–31 августа 2022 г.). Boston: Problems of Science, 2022. С. 7–12. DOI:10.24411/2542-0798-2022-18601

5. Век Дж. У. Теория гомологий. Введение в алгебраическую топологию. Пер. с англ. М.: МЦНМО, 2005. 288 с.

6. Хаусдорф Ф. Теория множеств / Пер. с нем. М.: Ленанд, 2023. 304 с.

7. Макаров Л. М. Информационная энтропия // Collection of Scientific Articles of the LXVIIth International Correspondence Scientific and Practical Conference on International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education. 2020. С. 7–12. DOI:10.24411/2542-0798-2020-16702

8. Макаров Л. М., Поздняков А. В. Компьютерный анализ имплицитных процессов жизнедеятельности живых организмов // European Science. 2023. № 1 (65). С. 66–73. DOI:10.24411/2410-2865-2023-10103

9. Макаров Л. М., Поздняков А. В., Полищук В. И. Эмерджентность кластера биохимических показателей функционального состояния организма // Визуализация в медицине. 2023. Т. 5. № 4. С. 25–30.

10. Скопенков А. Б. Алгебраическая топология. М.: МЦНМО, 2020.

11. Понарин Я. П. Элементарная геометрия. М.: МЦНМО, 2004.

12. Духин А. А. Теория информации. М.: Гелиос, 2007. 248 с.

13. Глинка Н. Л. Общая химия. М.: Юрайт, 2024. 717 с.

14. Киселев В. А. Квантовая механика. М.: МЦНМО, 2023. 720 с.

15. Панов Е. А. Познание цвета. М.: Едиториал УРСС, 2019. 238 с.

16. Шалимова К. В. Физика полупроводников. М.: Ленанд. 2021. 400 с.

**Статья поступила 12 октября 2023 г.**

**Одобрена после рецензирования 27 ноября 2023 г.**

**Принята к публикации 25 декабря 2023 г.**

### **Информация об авторах**

*Макаров Леонид Михайлович* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры интеллектуальных систем автоматизированного управления Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: makarov.lm@sut.ru

*Поздняков Александр Владимирович* – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры медицинской биофизики Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета. E-mail: pozdnyakovalex@yandex.ru

## Semantic Positioning of Clusters Information Packages

L. Makarov<sup>1</sup> ✉, A. Pozdnyakov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Pediatric Medical University,  
St. Petersburg, 194100, Russian Federation

**Problem statement.** Considerable attention paid to various aspects of the use of artificial intelligence technologies in the tasks of semantic description of a variety of objects and phenomena requires consideration of the issues of coupling the processes of neural activity of brain structures and formal computer modeling procedures. **The purpose of the work:** to consider the possibility of creating a computer semantic model for positioning information flows in the format of clusters, initialized both in the process of thinking and using examples of natural physical objects and phenomena. **The methods used.** Taking as a basis the theoretical postulates of computational topology, a mathematical model of cluster formation is presented, taking into account the numerical semantic indicators of the elements. **Result.** It is shown that it is possible to operate clusters with different physical and morphological characteristics in order to reproduce the emergence indicator in terms of the model. **Novelty.** By means of a mathematical model, the possibility of semantic positioning of information packages of various physical nature has been established.

**Key words:** emergence, computational topology, computer modeling

### Information about Authors

*Leonid Makarov* – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Intelligent Automation and Control Systems (The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications).

E-mail: makarov.lm@sut.ru

*Alexander Pozdnyakov* – Doctor of Medical Sciences, Professor at the Department of medical biophysics (Saint-Petersburg State Pediatric Medical University).

E-mail: pozdnyakovalex@yandex.ru