

# Технологии инженерного образования

УДК 501:372.8

## ЭНТРОПИЙНО-СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРЕПОДАВАНИЮ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫХ ДИСЦИПЛИН

О.М. Шепель, М.Г. Минин

Институт инженерной педагогики Томского политехнического университета  
E-mail: minin@tpu.ru

*Показана возможность рассмотрения знания, как живой системы, способной к поглощению информации, выделению источников информации и размножению через передачу сведений другому сознанию. Устанавливаются аналогии между естественнонаучными величинами и параметрами информационного обмена. Обосновывается возможность развития энтропийно-синергетического сканирования – нового направления в развитии методологии преподавания.*

Наметившаяся в педагогической литературе тенденция к противопоставлению между развитием учащегося и процессом передачи ему информации, а также смещение акцента в сторону первого, называемое гуманизацией образования [1. С. 3], не учитывает, по мнению авторов, что развитие и проявление личности происходит именно в процессе получения информации. Таким образом, наиболее эффективным направлением совершенствования образования представляется систематическое обновление содержания и структуры сведений, предлагаемых учащимся для изучения<sup>1</sup>. Поэтому, в предлагаемой вниманию статье анализируется современное состояние содержания и структуры преподавания естественнонаучных дисциплин с точки зрения энтропийно-синергетического подхода, позволяющего сформулировать методологию их совершенствования.

Ставшая общепризнанной применимость синергетических подходов к рассмотрению систем любого уровня организации, включая биологический и социальный [2], позволяет исследователям в последние годы предпринимать попытки анализа самоорганизации различных систем образования [3–5]. Вместе с тем, несмотря на обилие публикаций, общепринятого определения синергетики до сих пор нет [6]. Как нет и единой терминологии, используемой для описания соответствующих процессов. В предлагаемом настоящей работе подходе подразумевается, что *синергетика – это наука, изучающая закономерности самоорганизации открытых систем*. Причём, природа конкретной системы принципиального значения не имеет.

Аналогии являлись одним из основных приёмов образовательного, научного и художественного творчества задолго до формирования синергетики и применялись не только для описания самоорганизации открытых систем.

В качестве примера физико-математической аналогии можно привести осмотическое уравнение Вант-Гоффа (1), не только совпадающее по написанию с уравнением состояния идеальных газов Менделеева-Клапейрона (2), но и математически тождественное объединённому закону электролиза (3). А также законы всемирного тяготения (4) и Кулона (5).

$$pV=nRT, \quad (1)$$

где  $p$  – осмотическое давление  $n$  молей неэлектролита, растворённого в объёме  $V$  раствора при температуре  $T$ ,  $R$  – универсальная газовая постоянная.

$$pV=nRT, \quad (2)$$

где  $p$  – давление  $n$  молей идеального газа, занимающего объём  $V$  при температуре  $T$ .

$$It=nFz, \quad (3)$$

где  $I$  – сила постоянного тока,  $t$  – время электролиза,  $F$  – постоянная Фарадея,  $z$  – валентность иона, участвующего в электрохимическом процессе.

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (4)$$

где  $F$  – модуль силы тяготения,  $\gamma$  – гравитационная постоянная,  $m_1$  и  $m_2$  – массы взаимодействующих тел,  $r$  – расстояние между телами.

$$F_q = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (5)$$

<sup>1</sup> Сведения должны включать в себя не только информацию по общеобразовательным и специальным дисциплинам, но также информацию о способах самостоятельного поиска нужной информации и методах развития своих способностей для их усвоения.

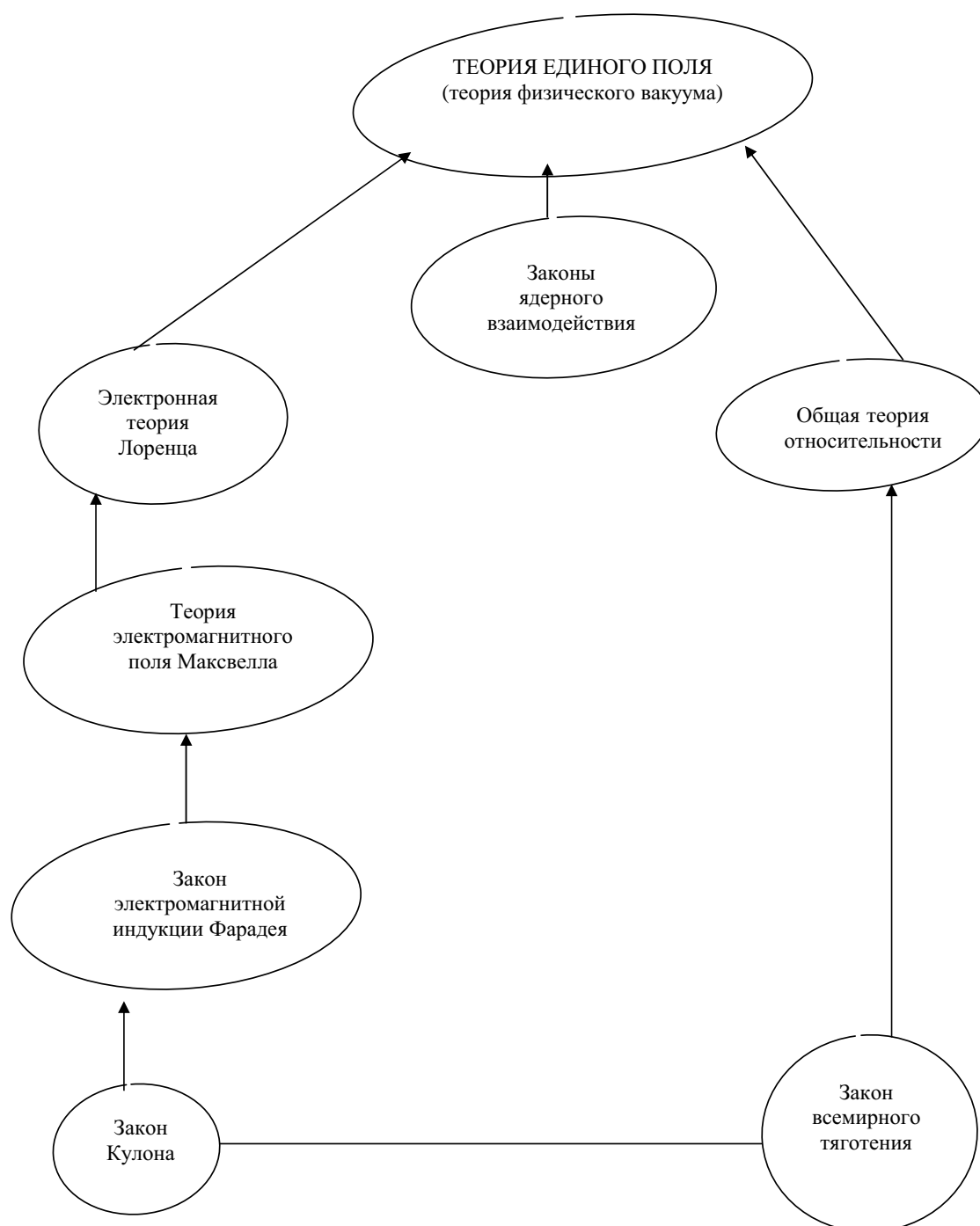
где  $F_q$  – модуль кулоновской силы,  $k$  – коэффициент пропорциональности,  $q_1$  и  $q_2$  – взаимодействующие заряды,  $r$  – расстояние между зарядами.

По словам французского математика Д. Пойа вообще «не существует открытий ни в элементарной, ни в высшей математике, ни, пожалуй, в любой другой области, которые могли бы быть сделаны без аналогий» [7. С. 169].

Если сходство первых трёх законов объясняется идентичностью поведения нейтральных частиц ра-

створённого вещества, молекул газа и заряженных электронов, то попытки объяснить сходство последней пары законов, в конечном итоге, привели к созданию единой теории поля, которая в рамках теории физического вакуума рассматривает все явления природы и процессы мышления как частные случаи кривизны и кручения пространства (вакуума) [8, 9], рис. 1.

Сложность обсуждения возможности совпадения закономерностей мышления с закономерностями



**Рис. 1.** Смешанный граф соотношения некоторых составляющих теории единого поля. Дуги обозначают хронологическую и иерархическую последовательность. Ребро связывает математически тождественные вершины

стями естественнонаучных явлений состоит в невозможности прямого измерения величин, характеризующих информационный обмен, таких как: размер сознания, количество знания, скорость мышления и т.д., а, значит и невозможности экспериментального установления количественной взаимосвязи между ними. Однако, качественные аналогии, замеченные между закономерностями мышления и закономерностями естественнонаучными, позволяют иногда делать выводы о возможности применять естественнонаучные уравнения для описания процессов информационного обмена.

Исторически первой попыткой рассмотрения таких аналогий стала теория информации [10], которая на основании сходства между уравнением Больцмана (6) и формулой для расчёта количества информации (7) постулирует тождественность энтропии  $S$  и количества информации:

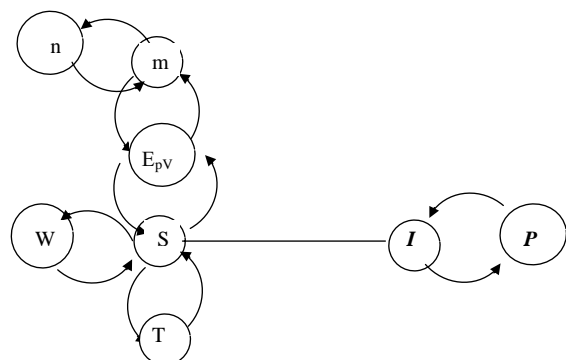
$$S = k \cdot \ln W, \quad (6)$$

$$I = -P \cdot \log_2 P, \quad (7)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана,  $W$  – термодинамическая вероятность состояния вещества,  $I$  – количество информации по Шеннону

$$P \cdot \log_2 P = \sum P_i \cdot \log_2 P_i,$$

$P_i$  – вероятность использования  $i$ -ого знака.



**Рис. 2.** Смешанный граф сопоставления основ теории информации с основами термодинамики. Контурсы символизируют обратимость физико-математических преобразований. Ребро обозначает тождественность величин. Помимо равенств (1-9) подразумевается, что  $S = (E_{pV} + U - G) / T$ ;  $n = m / m'$ , где  $E_{pV} = pV$ ;  $U$  – внутренняя энергия,  $G$  – энергия Гиббса,  $m'$  – молярная масса вещества

Однако, в целом теория информации оказалась асимметричной по отношению к естественнонаучным законам, поскольку в её рамках не удалось установить аналогий с другими фундаментальными понятиями естествознания, тесно связанными с энтропией, такими как энергия, температура, масса, количество вещества, время, пространство (8, 9), что можно наглядно продемонстрировать с помощью графа, рис. 2, где обозначения, относящиеся к теории информации, выделены курсивом.

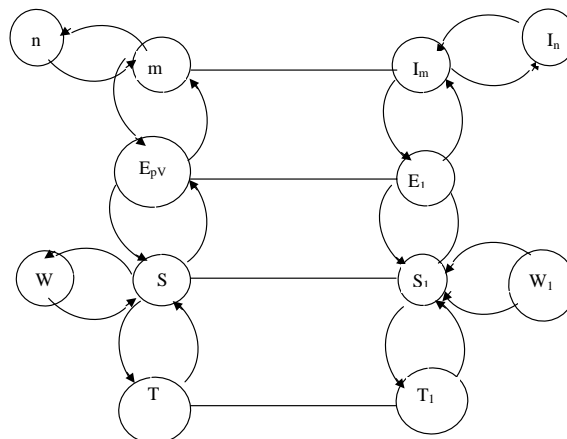
$$E_S = TS = U - F, \quad (8)$$

$$\Delta S = n \cdot c_v \cdot \ln(T_2 / T_1) + n \cdot R \ln(V_2 / V_1), \quad (9)$$

где  $E_S$  – энтропийная энергия,  $T$  – температура,  $U$  – внутренняя энергия,  $F$  – энергия Гельмгольца,

$\Delta S$  – изменение энтропии идеального газа в количестве  $n$  молей при изменении температуры от  $T_1$  до  $T_2$  и объёма от  $V_1$  до  $V_2$ ,  $c_v$  – молярная теплоёмкость для  $V = \text{const}$  (при условии  $c_p = \text{const}$ ).

Но симметричность между естественнонаучными законами и процессами информационного обмена, всё-таки, обнаруживается, рис. 3, если использовать постулаты энтропийно-синергетического подхода, приведённые в таблице.



**Рис. 3.** Граф сопоставления основ термодинамики с основами теории информационного обмена.  $W_I$  – эклектичность информации,  $S_I$  – аналог энтропии (информационная энтропия),  $I_n$  – информационное количество,  $I_m$  – информационная масса,  $E_I$  – аналог величины  $E_{pV} = pV$ ,  $T_I$  – аналог температуры

**Таблица.** Постулаты энтропийно-синергетического подхода

№№ пп	Постулат
1.	Принцип подобия. Закономерности мышления, обмена знаниями и информацией аналогичны физическим, в частности, термодинамическим закономерностям вещественно-энергетического обмена.
2.	Аналогом вещества, измеряемого массой и количеством, является информация, обладающая информационной массой и информационным количеством.
3.	Аналог пространственно-временного континуума – сознание и память.
4.	Аналог количественной характеристики пространства (объёма) – величина $l_1 l_2 l_3$ , где $l_1$ – количество кодов, воспринимаемых сознанием, $l_2$ – количество кодов расшифровываемых сознаниями, $l_3$ – количество воспринимающих сознаний (сознание – тоже код), То есть расширение сознания – это, прежде всего, увеличение способности превращать информацию в знание.
5.	Аналогом внутренней энергии является взаимодействие информации с сознанием и памятью.

При этом подразумевается, что:

- Информация – это сведения, закодированные в ощущениях. Источники ощущений являются источниками информации.
- Знание – это информация, воспринятая (отражённая) сознанием.
- Сознание – свойство воспринимать (отражать) информацию.
- Информационная масса ( $I_m$ ) – общее количество закодированных сведений.

- Информационное количество ( $I_n$ ) – это количество закодированных сведений, не связанных между собой связующими или системообразующими сведениями и преобразованиями (рис. 4, 5).
- Энергия – количественная характеристика взаимодействия материальных объектов: сильного, слабого, гравитационного, электромагнитного, вещественно-пространственного. К проявлениям пятого, вещественно-пространственного взаимодействия энтропийно-синергетический подход относит кинетическую энергию (взаимодействие *массы* с пространственно-временным континуумом), энтропийную энергию (взаимодействие *количества вещества* с этим же континуумом (8, 9)), и энергию массы (взаимодействие массы с *временной составляющей континуума*).
- Потенциальная энергия – это количественная характеристика взаимодействия объектов, разделённых пространством или своими поверхностями.
- Энергия  $E_{pV}$ , описываемая произведением  $pV$ , является количественной характеристикой взаимодействия вещества с окружающей средой.

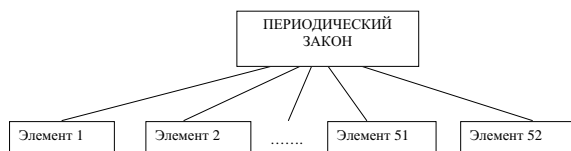


Рис. 4. Схема систематизации знаний системообразующими сведениями на примере Периодического закона Д.И. Менделеева

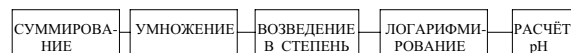


Рис. 5. Пример последовательности связующих знаний. Математическая операция умножения являются связующей между правилами суммирования и возведения в степень; правила возведения в степень связывают умножение и логарифмирование; правила логарифмирования объединяют правила возведения в степень и правила расчёта pH

В качестве следствий постулатов 1–5 можно рассматривать следующие утверждения:

- Взаимодействия информационных объектов (информации, знания и их носителей) аналогичны проявлениям энергии в материальных процессах.
- Аналог энтропийной энергии описывает некоторое количество информации, воспринятой сознанием, но не объединённой связующими и системообразующими знаниями.
- Энергии  $E_{pV}$ , описываемой произведением  $pV$ , соответствует взаимодействие воспринятой информации с окружающими носителями знания ( $E_1$ , рис. 3).

- Аналог кинетической энергии характеризует взаимодействие информационной массы с сознанием и памятью, описывая скорость мышления, например, скорость преобразования уравнения Аррениуса (10) в уравнение (11) для расчёта энергии активации  $E_a$ :

$$k = k_0 e^{-E_a/RT}, \quad (10)$$

$$E_a = \frac{RTT' \ln(k/k')}{T - T'}, \quad (11)^2$$

где  $k$  и  $k'$  – константы скорости реакции при температурах  $T$  и  $T'$ ,  $k_0$  – предэкспоненциальный множитель.

- Потенциальной энергии соответствует взаимодействие информационных масс в континууме сознания, разделённых отсутствием связующих и системообразующих знаний и преобразований (рис. 4, 5);
- Поскольку температура тела является мерой средней кинетической энергии составляющих её молекул, то аналог температуры можно рассматривать в качестве меры скорости мышления ( $T_1$ , рис. 3);
- Аналог энтропии (информационная энтропия) – соотношение аналогов энтропийной энергии и температуры ( $S_1$ , рис. 3);
- Величину, аналогичную термодинамической вероятности целесообразно воспринимать как эклектичность информации ( $W_1$ , рис. 3).

Следует учитывать, что хотя постулируется аналогия между процессами информационного обмена и естественнонаучными явлениями, соответствие многим физико-химическим величинам, скажем, заряду, квантовым числам электрона, ядерному взаимодействию, тензорным величинам теории относительности, и т.д. ещё только предстоит определить.

Если, согласно постулату 1, процессы мышления и свойства информационных систем действительно аналогичны естественнонаучным процессам и свойствам систем материальных, то первые должны обладать и способностью к формированию живых систем. Именно таковой системой и являются знания, способные к поглощению информации, выделению источников информации и размножению через передачу сведений другому сознанию. Предлагаемый подход выходит за рамки стереотипа, рассматривающего возможность существования живого только в рамках органических или, по меньшей мере, материальных систем, но позволяет использовать некоторые количественные закономерности для анализа процессов информационного обмена. В частности, живые системы характеризуются тем, что для них всегда можно подобрать интервал времени ( $\Delta t = t_2 - t_1$ ) для которого справедливы равенства<sup>3</sup>:

<sup>2</sup>  $k = k_0 e^{-E_a/RT}$ ;  $k' = k_0 e^{-E_a/RT'}$ ;  $k/k' = e^{\frac{E_a(T-T')}{RTT'}}$ ;  $\ln k/k' = \frac{E_a}{R} \left( \frac{T-T'}{TT'} \right)$ ;  $E_a = \frac{RTT' \ln(k/k')}{T - T'}$ .

<sup>3</sup> Выражения (12) и (13) являются математической формой записи способности живых систем к *сохранению гомеостаза* – динамичного постоянства состава и свойств внутренней среды.

$$\int_1^2 \frac{dS}{n} = 0. \quad (12)$$

Для  $n = \text{const}$

$$\Delta S = 0. \quad (13)$$

Для процессов информационного обмена также как для идеальных газов:

$$\int_1^2 \frac{dS}{n} = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} + (c_v + R) \ln \frac{n_2}{n_1}. \quad (14)$$

Величина  $\Delta S$  при  $n = \text{const}$  описывается равенством (9). Тем же самым характеризуются и волновые процессы, для которых всегда можно подобрать такой интервал времени, что

$$\int_1^2 \frac{dA}{w} = 0,$$

для  $w = \text{const}$

$$\Delta A = 0,$$

где  $A$  – переменная величина,  $w$  – циклическая частота.

Таким образом, жизнь можно рассматривать как волновой процесс, в котором одной из колеблющихся во времени величин является энтропия, а, значит, одной из существенных закономерностей явлений информационного обмена следует признать наличие колебательного равновесия между увеличением информационной энтропии и синергетическим процессом её уменьшения. Причём, из равенств (9–14) следует, что при прочих равных условиях мерой энтропии может служить количество вещества. Поэтому количественной характеристикой информационной энтропии в процессе обучения естественнонаучным предметам может стать совокупность аналогичных тем, несогласованно излагаемых различными дисциплинами, и тем, понятий, не объединённых связующими сведениями внутри каждой дисциплины. Применение такого энтропийно-синергетического подхода к образовательному процессу открывает возможность прямого сопоставления существующих образовательных технологий с естественными законами информационного обмена для установле-

ния соответствия их друг другу. Поскольку качество обучения лишь выигрывает, если учебный процесс согласуется с объективными закономерностями информационных потоков, то детальное исследование этих закономерностей представляется задачей постоянно актуальной.

Согласно энтропийно-синергетическому подходу восприятие информации представляет собой аналог процесса возрастания энтропии, обусловленного накоплением количества вещества. Вместе с тем этот энтропийный процесс уравновешивается процессом синергетическим – систематизацией полученных знаний с помощью связующих, системообразующих сведений и преобразований (рис. 4, 5). Следует подчеркнуть, что систематизация полученных знаний с помощью связующих, системообразующих сведений и преобразований  $(c_v + R) \cdot \ln(n_2/n_1) < 0$  является единственным способом уменьшения информационной энтропии в учебном процессе, поскольку знание, в отличие от материальных живых организмов, не теряет усвоенную информационную массу, не уменьшает скорость мышления  $(c_v \ln(T_2/T_1) > 0)$  и не сужает размер сознания  $(R \ln V_2/V_1 > 0)$ .

Приведённые в настоящей статье рассуждения позволяют говорить о необходимости сосредоточения методологических усилий в следующих видах деятельности:

- систематический поиск и исследование нарушений логики последовательности изложения материала, которые могут возникать как внутри одной дисциплины, так и между различными дисциплинами (энтропийная составляющая),
- разработка способов, методов и методик устранения обнаруженных нарушений;
- поиск возможностей *систематизации* предлагаемого учащимся материала, *позволяющей* воспринимать разрозненные сведения аспектами единого целого (синергетическая составляющая).

Каждый из этих видов следует воспринимать аспектом триединого процесса – энтропийно-синергетического сканирования, который может оказаться новым направлением развития методологии преподавания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколова И.Ю., Кабанов Г.П. Качество подготовки специалистов в техническом вузе и технологии обучения. – Красноярск: КГТА, 1996. – 188 с.
2. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Основания синергетики. Режимы с обострением, самоорганизация, темпомиры. – СПб.: Алетей, 2002. – 414 с.
3. Пугачёва Е.Г. Синергетический подход к системе высшего образования // Высшее образование в России. – 1998. – № 2. – С. 41–45.
4. Харитонов В.А., Меньшиков И.В., Санникова О.В. Синергетика и образование. Хрестоматия. – Ижевск: Изд-во Удмуртского ун-та, 2001. – 480 с.
5. Волченко В.Н. Миропонимание и экзотика XXI века. Наука – Философия – Религия. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 432 с.
6. Баранцев Р.В. Имманентные проблемы синергетики // Вопросы философии. – 2002. – № 9. – С. 91–101.
7. Тарасов Л.В. Этот удивительно симметричный мир. – М.: Просвещение, 1982. – 176 с.
8. Шипов Г.И. Теория физического вакуума. Теория, эксперименты и технологии. – М.: Наука, 1997. – 450 с.
9. Шипов Г.И. Теория физического вакуума. В популярном изложении. – М.: Кириллица – 1, 2002. – 128 с.
10. Шеннон К. Математическая теория связи // К. Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. – С. 243–332.