

ЧТО ТАКОЕ ЖИЗНЬ? с точки зрения кибернетики

В. В. СМОЛЯНИНОВ

Институт машиноведения им. А. А. Благонравова АН СССР, Москва

Обсуждается принципиальная недостаточность физико-химического подхода для адекватного ответа на вопрос: что такое жизнь? Формулируются I, II и III законы биологии и дается их биоклибернетическая трактовка. Вводится кибернетическое определение жизни и следствия из него.

Թե՛ն: Է կյանքը այն հարցի պարզարանման ֆիզիկա-քիմիական մոտեցման «կարևորալիս անբավարարությունն և բնարկիւմ: Կենտրանության I, II, և III օրենքներն են ձևակերպում և տրվում է կրանց կենսակիրերենտիկական մեկնարանում: Տրվում է կյանքի կիրենտիկական բնորոշումը որակից բնորոշման անկախ:

The principal shortage of physical and chemical approaches for the answer to question "What is the life" is being discussed. The I, II and III laws of biology are formulated and their biocybernetic interpretations are put forward. The cybernetic definition of life is given.

Сущность жизни—механизм—управление биосистем.

Живые системы традиционно изучаются с разных неббиологических точек зрения—механической, физической или химической, при этом собственно биологическая точка зрения специально не выделяется [7 и др.], как будто ее и не существует. Так ли это? К сожалению, ситуация именно такова и свидетельствует о том, что до понимания сущностей Жизни биологи еще не дошли, а доминирующий в биологии описательный подход предопределяет «поверхностность» взгляда, не проникающего в глубины жизнедеятельности без посторонней физико-химической помощи.

Выход на проблемы генной инженерии—несомненно, крупнейшее достижение современной биологии, но основы этого методологического прорыва были подготовлены, по-существу, не биологами, а биомеханиками, биофизиками и биохимиками, которые способствовали более глубокому проникновению в специфику структурно-функциональной организации биосистем от молекулярного уровня до организменного. Практически получается, что биология постепенно подходит к своим насущным проблемам благодаря, по-существу, неббиологической, а именно физико-химической методологии. Не исчерпывает ли эта методология все биологические сущности?

Сокращения: ЧСС—число степеней свободы.

Процесс познания подчиняется принципу *итеративности*: понимается в первую очередь то новое, что граничит с уже понятым старым. Разобравшись сначала с механикой, стали и к организмам примерять механистические подходы, возникла концепция «организм—это механическая машина»; продвинулись в изучении химических реакций, появилась концепция «организм—химическая машина»; осознали важность процессов управления, теперь «организм—кибернетическая машина», и т. д. Поскольку организмы—это сложные системы, постольку все эти частные концепции, не исключая друг друга, находят благоприятную почву для своего нового развития. Можно ли говорить, что сама биология, благодаря последовательным сменам парадигм, концептуально и методологически обогащается? Разнообразие точек зрения и методов отражает комплексность всех биосвойств, поэтому каждый переход, открывая новые измерения понимания или новые степени свободы познания, выявляет новые связи в «семантической сети» биологии, и в итоге происходит увеличение размерности познавательного пространства. С другой же стороны, на наш взгляд, все освоенные небиологические подходы способствуют исчерпанию «небиологической породы из биологического материала», все более приближая нас к истинным биологическим проблемам и, следовательно, к сути Жизни.

Не менее важным обстоятельством является и то, что познание осуществляется по принципу *реконструктивности*, т. е. фактически всегда познается только то, что удастся воспроизвести или реконструировать. Наука начиналась с механики потому, что механика начиналась с проблем *машинной инженерии* (с создания рычагов и других простейших механизмов), математика—с проблем *инструментальной инженерии* (линейки, циркули и др.), а современная биология подошла к проблемам *генной инженерии*. Следовательно, настоящая биология только еще начинается.

Плодотворность на биологическом поприще небиологических точек зрения создает иллюзию их *достаточности* для дальнейшего проникновения в сущности Жизни, причем так считают и биологи [7], и, тем более, смежники [1, 4]. Однако в последнее время к традиционной физико-химической точке зрения прибавилась новая, *кибернетическая*, которая ведет к пересмотру проблемы сущности Жизни и прежде всего к пониманию *недостаточности* прежних подходов для адекватного ответа на вопрос «Что такое Жизнь?».

1. Витализм—это прокибернетика?

Первая попытка декларативного разобщения живой и неживой материи принадлежит, как известно, Аристотелю, который характеристическим свойством Жизни объявил наличие особой «жизненной силы»—*энтелехии*, которая направляет процессы жизнедеятельности. Конечно, Аристотель не мог чисто умозрительным способом развить свое учение в научную концепцию, а мог только на основе сравнительного анализа наблюдений *поведения* живых и косных систем постулировать необходимость особой сущности, способной осу-

оществлять то, что мы сегодня называем *управлением*. Ни Аристотелю, ни последующим виталистам просто не хватало необходимого *кибернетического* знания, потому-то в своих казуальных интерпретациях они прибегали к сверхъестественным образам. В этом смысле позиция виталистов, хотя и выглядела наивной, но была в принципе правильной. Например, Гуфеланд (1795 г) считал, что «жизненная сила» способна направлять химические процессы; Г. Дриш на рубеже нашего века утверждал, что энтелехия является «причиной, создающей целостность»; и т. д. (цит. по [7]). Эти и подобные положения виталистов пора обобщенно переформулировать с современных кибернетических позиций, например, в качестве основного положения можно выделить общий

Постулат витализма: высокая организация живых тел не может формироваться спонтанно, без «живых сил», т. е. без специальным образом организованного управления.

Следовательно, если прежнее понятие «живых сил» считать эквивалентным современному понятию «управления», то концепцию витализма необходимо оценивать как *пракибернетическую* концепцию Жизни. С этих позиций естественно выделить и следующее

Виталистическое определение: жизнь—это процесс управления, направляемый энтелехией.

Следующий необходимый шаг к реабилитации витализма—это поиск современного эквивалента понятия «энтелехин» как «организатора целостности» биосистем.

Итак, на протяжении двух тысячелетий собственно биологическую точку зрения представлял наивный витализм, основанный более на научной интуиции, чем на научной методологии, т. е. сам витализм скорее выглядел как убеждение и даже как протест против равноправия «живого» и «косного». И только в наше время мы можем наконец-то оценить, насколько затянувшимся был путь к признанию правомерности витализма, а также неизбежность на этом пути антивиталистических концепций. Метод от противного—это не только один из методов доказательства математических теорем, но и метод познания сущностей Природы. Не познав границы явлений, которые можно объяснить «без привлечения гипотезы Творца», невозможно даже надеяться пересечь эти границы. По-моему, современная кибернетика как раз и полводит нас к тем границам, за которыми гипотеза Творца получит научное обоснование в отношении все еще загадочных *факторов Жизни*, вопрос о существовании которых был поставлен виталистами.

2. Физикализм—это антивитализм?

Первая чисто механистическая трактовка Жизни принадлежит Р. Декарту, основное методологическое достижение которого в этом направлении состоит не в том, что для описания функций организма он использовал язык механики, другого научного языка тогда еще не было, а в том, что впервые создал целостную концепцию «организм—машина», т. е. создал, так сказать, *машиноведческий подход*, который надо оценивать как пролог будущего системного подхода.

Позже машинная концепция организма активно разрабатывалась биомеханиками, но само понятие «машина» при этом существенно модифицировалось и вышло за пределы чисто механических понятий.

Здесь следует отметить, что механика была «царицей» естествознания до середины 19-го века, и до этого периода существовала «программа сведения физики и химии к механике». Вспомним, например, механическую модель эфира, которую построил Максвелл для вывода уравнений электродинамики. Поэтому и перенос этой программы на биологию тоже был исторически закономерным.

Только после того, как выяснилась *несводимость* физики и химии к механике, возникла программа *сведения* биологии к физике и химии, т. е. возникла

Концепция физикализма: биология—это механика, физика и химия живых систем.

Впервые эту концепцию в явном виде сформулировал Л. Бюхнер в 1855 г.: «принцип жизни сводится к процессам обмена веществ, идущим по химическим, физическим и механическим законам... недостаток наших знаний не дает нам права ссылаться на какую-то особую, действующую только в живых телах силу...» (цит. по [7]).

Почти через 100 лет (в 1943 г.) Э. Шредингер тоже не ответил на вопрос: «как физика и химия смогут объяснить те явления в *пространстве и времени*, которые происходят внутри живого организма?». Но он тоже полагал, что «явная неспособность современной физики и химии объяснить такие явления совершенно не дает оснований сомневаться в том, что они могут быть объяснены этими науками в будущем» [9].

Самоуверенность физикализма в подобных прогнозах казалась тогда, да и сегодня кажется многим менее беспочвенной, чем надежды виталистов на особые жизненные силы. Но если оставаться в рамках физико-химических представлений, то естественно возникает

Основной вопрос физикализма: как охарактеризовать различия между живыми и неживыми системами?

Один из пройденных этапов поиска характеристических свойств биосистем—это термодинамический подход, который привел к появлению понятия *открытой системы* [1, 7]: согласно 2-му закону термодинамики, *энтропия изолированной системы возрастает*, т. е. возрастает степень беспорядка («хаоса»), а энтропия—мера хаоса. Биосистемы, с этой точки зрения, активно уменьшают свою термодинамическую энтропию и потому не являются закрытыми («изолированными»). Это теоретическое достижение физикализма можно интерпретировать консервативно—живым системам необходимо взаимодействие с внешней средой (концепция единства организм—среда), а можно радикально как

1-й закон биологии:

закрытые системы не могут быть жизнеспособными.

Хотя подчеркивание принципиальной открытости биосистем чрезвычайно полезно для предотвращения элементарных методологических ошибок, стохастическая интерпретация биоорганизации явля-

ется крайне неадекватной. Не случайно, в качестве дополнительного свойства биосистем физикалистами выдвигается «высокоорганизованная сложность» «живой организм следует трактовать как весьма сложную химическую машину» [4]; «живая клетка—это высокоорганизованная сложная структура; клетка представляет собой химическую «фабрику», а ее «жизненные силы»—просто ряд обычных физико-химических превращений ([1]; и т. д.), которая в контексте физических актиций выглядит как метафизическая метафора.

Постулат физикализма: только высокоорганизованные сложные и открытые системы могут быть живыми.

Следствия: 1) простые системы не могут быть живыми; 2) неорганизованные системы нежизнеспособны;

В том, что биосистемы, даже относимые к разряду «простейших», чрезвычайно сложны, в настоящее время не приходится сомневаться. Несомненно также и то, что разобраться, так сказать, математически строго во всех уровнях сложной организации биосистем будет не просто, но такое разбирательство необходимо и неизбежно. Несомненно, что на пути постижения сложности и законов организации биосистем лежат решения принципиально новых гносеологических проблем Жизни. Сомнительно только то, что концепция физикализма является достаточно полной и способна ответить на

Основной вопрос биологии: каким образом формируется высокая организация и сложность биосистем?

В докибернетическую эпоху невозможно было указать «недостающее звено» между собственно физико-химией и биологией, а теперь у нас появилась такая возможность.

3. Кибернетика—это неовитализм?

Любопытно, что все понятия, входящие в

Винеровское определение: кибернетика:—наука об управлении и связи в животном и машине,

были известны сами по себе, но соединенные их в одно определение произвело научную революцию. Заслуга Винера [3], конечно, не в простом объединении известных понятий, а в осознании того, что *управление*, а также необходимая для его реализации *информационная связь*, составляют те особые сущности, которые изолированно не существуют в неживой природе, а присущи либо живым системам, либо искусственно создаются живыми системами (человеком) в машинных вариантах.

Существование искусственных управляющих систем порождает иллюзии, будто функции управления присущи и неживой природе, но не следует поддаваться этим иллюзиям. Появление и совершенствование управляющих машин следует оценивать не только как триумф реконструктивных способностей человека, но и как доказательство особой сущности управления, которая до этого была просто *непознаваемой* была «вещью в себе», вроде виталистической энтелехии. Именно благодаря вычислительным машинам появились возможности *моделирования управления* и, значит, возможности его всестороннего изучения.

Особое значение управления как *сверхъестественной* категории, если под естественным понимать все то, что есть физика и химия неживой материи, пытался установить А. А. Ляпунов, который предложил именно *управление* считать *характеристическим свойством жизни* в широком смысле [5]. Соглашаясь с таким предложением, его целесообразно выделить как

Постулат кибернетизма: системы, не обладающие управлением, не могут быть живыми.

Как бы мы ни относились к вычислительным машинам, этот постулат выделяет существенный и необходимый признак Жизни. Следующий шаг к пониманию сущности Жизни необходимо делать в направлении понимания сущности управления.

Возможно, многое из сказанного выше воспринято читателем неадекватно тому, что имеет в виду автор, потому что понимание сущности управления пока не завершилось. Например, А. А. Ляпунов характеризовал процессы управления механистическим образом—как акты передачи «малых порций» энергии для производства «большой работы». Но такие формулы, фигурирующие и в некоторых учебниках, отражают начальные кибернетические представления, идущие от моделей механических, электрических и др. регуляторов режимов работы механических и др. машин, когда «принцип обратной связи» считался основным атрибутом управления. Однако с появлением концепции *универсального программного управления*, реализующего произвольные функции командно-административной системы, стало ясно, что автоматические регуляторы имеют косвенное отношение к собственно управлению, которое подразумевает существование цели и, следовательно, существование операций принятия решений.

Чтобы обобщенно определить *управление* как понятийную категорию, следует абстрагироваться от конкретики и обратить внимание на то, что всякая акция управления направлена на выделение одной «целевой» реализации из некоторого множества возможных реализаций. Но операции выделения должны предшествовать операции сравнения альтернатив, которые сами по себе тоже должны существовать несходно. Следовательно, управление подразумевает существование некоторого комплекса *изменчивости* свойств исполнительной системы, управляющего воздействия, решаемой задачи и др. В свою очередь потенциальные возможности изменчивости («разнообразия») определяются наличием соответствующих *свобод* или степеней свободы [8], которыми должны обладать все структурные и/или функциональные компоненты, участвующие в процессе управления.

Вообще говоря, всякую конкретную управляемую или управляющую систему можно охарактеризовать некоторым множеством степеней свободы, именно эти *свободы* и определяют элементную базу *системы управления*. Задача управляющей системы в том, чтобы организовать избыточные возможности управляемой системы, т. е. организаторская функция управления состоит в формировании связей между избыточными степенями свободы. Резюмируя, можно выделить такое

Определение управления: управление есть система организации свобод в целенаправленные акты.

В отличие от термодинамического подхода, приведшего к выделению открытых систем, кибернетический подход ведет к необходимости выделения класса *свободных систем*. Совмещая же постулат кибернетизма с определением управления, получаем

2-й закон биологии:

несвободные системы не могут жить и развиваться.

Понятия «свободной системы» и «несвободной системы» исходно пришли в науку из механики: первые систематические исследования свойства движения свободных и несвободных механических систем провел Л. Эйлер, позже обобщенный математический формализм описания таких систем развил Лагранж, используя понятие обобщенных координат, характеризующих структурные степени свободы механической системы. Из решения математических задач механики стало ясно, что сложность механической системы определяется в первую очередь ее ЧСС.

Кибернетическое понятие свобод, включая в себя механическую трактовку, является существенно более широким—относится к любым процессам структурной и функциональной организации, которые реализуются произвольной управляющей системой. Понятно, что кибернетическое определение сложности следует связать с ЧСС, т. е. ЧСС—мера сложности управления. Для успешного решения задач управления должен выполняться, сформулированный Эшби [10]

Закон необходимого разнообразия: ЧСС управляющей системы должно быть не меньше ЧСС управляемой системы.

Важность этого закона легко проиллюстрировать на примере человеко-машинных систем. Обычно человек сравнительно легко управляет машинкой—его ЧСС значительно превосходит ЧСС машины, однако с ростом сложности машины, т. е. при росте ЧСС машины растет сложность оперативного управления. То же самое верно и для взаимодействия нервной системы с двигательной системой, а также для всех процессов биологического саморазвития.

Кибернетическая интерпретация «высокоорганизованной сложности» биосистем, таким образом, сводится к выделению фундаментального значения свобод биоорганизации. Отсюда получаем

3-й закон биологии:

прогрессивное развитие биосистем базируется на увеличении числа свобод организации.

Когда физики говорят об *организации*, то обычно они «организации» противопоставляют «хаос», используя стохастические трактовки. Однако организованности следует противопоставлять *неорганизованность* как *состояние нереализованных свобод*, которое не подчиняется никаким законам. Хаос же подчиняется законам, но—стохастическим и, следовательно, имеет стохастическую организацию. Чем большему числу закономерностей подчиняется система, тем более она организована, тем более она *несвободна*. Значит, суть организации—это *редукция избыточных возможностей или свобод*.

Продолжая цепь дедуктивных выводов, мы приходим к новому определению кибернетика—наука целевого преодоления («редукции»)

избыточных свобод управляемых систем. Но проблема организации управления не исчерпывается редуционистским аспектом. Когда конструктор разрабатывает машину, он заранее предусматривает необходимые степени свободы, исходя из необходимого разнообразия реализаций форм работы машины. Живые системы тем и отличаются от неживых, что *сами* формируют свои степени свободы (например, в онтогенезе посредством программ генома) и *сами* их потом преодолевают (например, в двигательных актах посредством программ нервной системы).

Аспект проектирования, создания и эффективного использования свобод, несомненно, заслуживает научного внимания и всестороннего изучения, поскольку является принципиальным для функционирования и для эволюции технических и биологических систем. Учитывая большую широту данного аспекта, а также все возрастающую актуальность проблемы необходимых и достаточных свобод, целесообразно учредить специальное научное направление, естественное название которого

Кибернетика—наука о свободах машин, организмов и сообществ.

Итак, кибернетический взгляд на биоорганизацию ведет к новому и конструктивному пониманию сущности Жизни, и такой неовитализм принципиально отличается от прежнего схоластического витализма.

4. Жизнь—это компьютерная программа?

В физических системах роль «организаторов» взаимодействия материальных объектов играют силы, поля и др., и хотя число степеней свободы может меняться, например, при смене фазовых состояний вещества, управление здесь отсутствует, поскольку, как отмечалось, нет цели. В искусственных системах (станки с ЧПУ и др.) роль «организаторов» выполняют программы, которые реализуют цели, поставленные разработчиком («Творцом»). Освоившись с искусством программирования для машины, мы заодно научились и на биосистемы смотреть глазами программистов, т. е. за всеми проявлениями Жизни пытаться разглядеть *программное обеспечение*. Концентрированное выражение такой точки зрения дает следующее

Кибернетическое определение: Жизнь—это многоуровневое множество параллельных процессов вычислений и действий (реакций и акций), организуемых и координируемых программами управления.

Мы достигли уже такого уровня саморазвития, когда данное определение не только не вызывает возражений, но и представляется более реалистичным и адекватным, чем прежние, все подводившие под формы существования материи и не выходящие за рамки физико-химии, за рамки машинных представлений.

Ограниченность машинного взгляда на биоорганизацию следует из того, что *машина* в общем случае—это всего лишь некоторый заранее организованный *преобразователь*: механический, электрический, химический, цифровой или символьный. Старые механические ком-

пьютеры использовали принципы механических преобразований. Широкие возможности построения функциональных преобразований открыли электрические и электронные регуляторы, которые стали основой аналоговых вычислительных машин. Эти подходы породили «черно-ящичную» методологию: «скажите, что имеется на входе и что должно быть на выходе, и найдется машина, которая реализует необходимое преобразование». По этим «столам преобразовательной идеологии» сначала пошли и универсальные символично-цифровые компьютеры, но с развитием машинных языков высокого уровня компьютер стал превращаться в «искусственного интеллектуала», стали реальными решения проблем автоматизации проектирования и моделирования сложных технических, человеко-машинных и биологических систем. Конечно, современный компьютер—это пока еще лишь символичный преобразователь с фиксированным синтаксисом, соответствие которому автоматически проверяет компилятор, и его основное отличие от предшествующих поколений—это практически полная свобода семантического творчества программиста. Но свободный стиль программирования открывает принципиально новые возможности экспериментального изучения свобод программной «самоорганизации», превращает программные продукты из пассивных преобразователей в активные решатели разнообразных семантических задач, т. е. постепенно приближает нас к биологическим аналогам.

Возможно, активная деятельность биосистем во многих отношениях организуется машиноподобным образом—на основе «эволюционно» подготовленных управляющих программ: если эти программы функционируют в стандартных условиях, то их деятельность невозможно отличить от сложной «высокоорганизованной» химической реакции. Для выявления же биологических «акций» [2, 8] необходимо развивать экспериментальные подходы, ориентированные на биобиорнетику.

Программистский взгляд на биосистемы радикально меняет многие традиционные догмы биологии.

Первое принципиальное следствие введенного определения:

Жизнь—это не материальная, а идеальная сущность.

Это заключение, конечно, не умаляет фундаментального значения материи как носителя и хранителя «текстов», но носителями и хранителями «идей» все же являются тексты, а не материя.

Второе важное следствие программистского взгляда:

Жизнь—это не стохастическая бессмыслица, а правила синтаксиса и семантики, т. е. язык высочайшего уровня. Этот вывод, согласуясь с негэтропийной концепцией физикализма (см. выше), на самом деле полностью отвергает физикализм как методологию познания сути Жизни. Живучесть дарвинизма в наш компьютерный век можно объяснить только тем, что методология программирования еще не стала естественной частью массового научного мышления.

Незнание синтаксиса и семантики геномного программирования не уменьшает методами рандомизации признаков и невозможно компенсировать «игру случая» строгим «ОТК». Как говорят программисты, «если мусор (шум) на входе, то и мусор (шум) на выходе!».

Вряд ли биоэволюция шла по пути создания «надежных систем из независимых элементов». Существование репарационных, иммунной и др. систем говорит о том, что все биошибки контролируются и исправляются, другое дело, что не со всеми повреждениями биосистемы справляются.

Пора освободить биологию от стохастической бессмыслицы мутагенеза и искать *информационные свободы* в биологической необходимости. Пора понять, что шенноновское определение «информации» — это вероятностно-комбинаторное исчисление, оно удобно для оценок пропускной способности каналов связи, объемов памяти и т. д., но к проблемам управления прямого отношения не имеет.

При переходе к новым *информационным технологиям* — банкам данных и базам знаний, все очевиднее выявляется целевая функция информации и с этих позиций управление — это процесс принятия решений на основе текущей информации, т. е. информация — это то, что необходимо *управляющим* системам для принятия решения, а вне проблемы принятия решения информация не существует. Например, для работающей ЭВМ информацией являются только те символы команд, которые в данном такте находятся в центральном процессоре, так как только они определяют текущие действия машины, а то что хранится на дисках или даже в оперативной памяти — это, так сказать, потенциальная информация, если она еще синтаксически соответствует языку, на котором работает машина, а семантически соответствует решаемой задаче. Из необходимости определенных соответствий следует, что информация не существует вне языка, «понятного» управляющей системе. Более того, поскольку все программы для машины пишут программисты и все необходимые соответствия для организации управления они же и определяют, то, вообще говоря, информация в широком смысле является продуктом жизнедеятельности и вне живых систем не существует.

Все неживые системы информационно «слепы и глухи» и восприятие информации — это тоже характеристическое свойство Жизни. Создание информационно восприимчивых машин — задача ЭВМ нового поколения. Искусственный интеллект вплотную подошел к семантическому барьеру информационных процессов. Биологическое познание тоже идет к этому барьеру.

5. На пути к компьютерной биологии

На смену еще «не отшумевшей» молекулярной биологии идет новая *компьютерная биология*, для которой суть Жизни не в синтезе органических молекул, а в синтезе программ управления. Хотя расшифровка программ генома, несомненно, будет идти по пути анализа правил макмолекулярных синтезов, программ нервной системы — и по пути изучения химии медиаторов, а также других молекулярных компонент мембран и нейроплазмы, на современном этапе

Основной вопрос биологии: как охарактеризовать различия между живыми и неживыми программами?

В настоящее время этот вопрос формулируется более неопределенным образом: можно ли неизвестные биологические программы уподоблять известным компьютерным программам?

Главное, что неизвестно—это как функционируют управляющие системы и молекулярного, и нейронного уровней; действительно ли на этих уровнях осуществляются вычисления, или производятся аналоговые преобразования, или же смешанного—аналогово-цифрового типа. Если исходить из того, что клеточная ДНК представляет собой «текст молекулярной программы», то, кроме некоторых правил кодировки, мы почти ничего не знаем ни о синтаксисе, ни о семантике этого «текста». С другой стороны, аналог «программного нейронного текста» нам вообще не известен и, возможно, он не существует, но импульсный характер активности нейронов, надо полагать, свидетельствует о логико-цифровом способе их функционирования.

Таким образом, здесь пока вопросов больше, чем ответов. Но возникновение именно таких вопросов—свидетельство начала формирования новой биокомпьютерной парадигмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Библияц А. Молекулы, динамика и жизнь. М., 1990.
2. Бернштейн Н. А. О построении движений. М., 1947.
3. Винер Н. Кибернетика. М., 1968.
4. Волькенштейн М. В. Общая биофизика. М., 1978.
5. Глязнов А. А. Сб. О сущности жизни, 66—80. М., 1964.
6. Марей Э. Механика животного организма. С.-Пб., 1875.
7. Основы общей биологии (Под ред. Э. Либберта). М., 1982.
8. Смолянинов В. В. Сб. Интеллектуальные процессы и их моделирование, 66—110. М., 1987.
9. Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физика. М., 1972.
10. Эшби Р. Введение в кибернетику. М., 1959.

Поступило 23.VII 1990 г.