

¹ канд. пед. наук, доцент кафедры физики, СГПУ

² ассистент кафедры математического анализа, СГПУ

e-mail: znpfizmatsdpu@ukr.net

АНТРОПНЫЙ ПРИНЦИП В НАУКЕ И В СОДЕРЖАНИИ ОБРАЗОВАНИЯ

Проведен научно-методический анализ антропного принципа. Предложены рекомендации по изучению основных понятий, раскрывающих его содержание.

Ключевые слова: антропные свойства Вселенной, фундаментальные константы, сложные системы, синергетика.

Мы имеем счастье жить в сложном
и удивительном нелинейном мире.

С.П. Капица

Введение

Изучение антропного принципа предусматривается программой по астрономии для общеобразовательных школ. В школьных учебниках по астрономии есть параграфы с соответствующим названием [1, 2]. Обсуждения антропного принципа в пособиях для будущих учителей обнаружить нам не удалось. Упоминание о нем есть в учебнике по квантовой механике при рассмотрении закона сложения амплитуд вероятности [3, стр. 28-30].

Цель статьи — научно-методический анализ экспериментальных фактов, понятий и представлений, которые наиболее наглядно демонстрируют так называемые антропные свойства Вселенной (Antropos (греч.) – человек). Это тем более необходимо, что антропный принцип не имеет общепризнанного научного объяснения

Основная часть

Антропные свойства Вселенной в учебнике [2] сводятся к утверждению, «що параметри орбіти Землі, її маса, радіус і хімічний склад найбільш сприятливі для існування життя Для цього також потрібне стабільне Сонце» [2, стр. 132]. Это, конечно, верно. Но для понимания антропных свойств Вселенной явно недостаточно. Кроме того, приведенное утверждение далее опровергается следующими рассуждениями: « ... Земля за багатьма параметрами

© Шурыгина Л.С., Шурыгин Е.Г., 2012

є також закритою системою. Згідно із законами еволюції складних систем у закритій системі зростає безлад і знищується інформація, тому «закрита система приречена на смерть» [2, стр.135]. Это утверждение ошибочное. В современной термодинамике [4] различают изолированные (замкнутые) системы, закрытые и открытые. Закрытые системы могут получать от внешней среды энергию или отдавать ее, вещество – не могут. Земля – открытая система. Но, если пренебречь обменом веществом между Землей и космическим пространством (падение метеоритов, поток частиц и т.д.), то Земля – система закрытая. Изменение энтропии в такой системе

$$dS = d_e S + d_i S. \quad (1)$$

Здесь $d_e S$ – изменение энтропии, обусловленное взаимодействием с окружающей средой, $d_i S$ – обусловлено диссипативными процессами внутри системы. Первое слагаемое в (1) может быть как положительным, так и отрицательным. Второе – всегда положительно. Поэтому энтропия закрытой системы может как возрастать, так и убывать, а также оставаться постоянной ($dS \geq 0$). В первом случае происходят процессы структурообразования, самоорганизации, эволюции, во втором – распад структур, хаотизация. Земля получает от Солнца высокоорганизованную энергию и излучает поток радиации с большей энтропией. «Многолетние измерения потоков радиации с помощью приборов, установленных на спутниках, показали, что энергетический баланс Земли в среднем за год близок к нулю, т.е. приток и отток энергии примерно равен» [5]. По данным спутниковых измерений отток энтропии для всей планеты $d_e S = -6,2 \cdot 10^{14} \text{ Вт} \cdot \text{К}^{-1}$. В среднем на единицу площади это составляет $-1,22 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$. Это соответствует приросту информации $I = 1,22 \cdot 10^{19} \text{ бит} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ [5, стр. 1091] (Здесь под количеством информации понимают величину, соответствующую уменьшению энтропии). Таким образом, для Земли и ее обитателей вполне возможен переход в более организованное, более упорядоченное состояние или же существование в стационарном режиме ($dS = 0, |d_e S| = d_i S$). Мы слишком близко подошли к экологическому кризису. Но ведь величина $d_i S$ во многом зависит от образа жизни обитателей Земли. И очень важно, чтобы все это понимали.

Под антропными свойствами Вселенной в научной литературе понимают следующее:

- свойства основных структурных элементов Вселенной (ядер, атомов, планет, звезд и т.д.) определяются значениями фундаментальных констант и параметров (масс и зарядов элементарных частиц, \hbar , c , постоянных гравитации и тонкой структуры, констант связи сильного и слабого

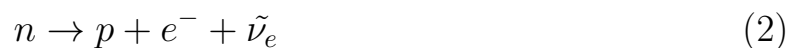
взаимодействий и т.д.);

- во многих случаях даже очень небольшое изменение хотя бы одной из констант привело бы к радикальному изменению процессов эволюции Вселенной и возникновение жизни в известной нам форме было бы невозможным.

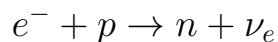
Эту ситуацию в литературе часто характеризуют как факт наличия в природе «дружелюбных случайностей». (См., например, [6, стр. 412]).

Рассмотрим примеры таких «счастливых случайностей»:

1. Согласно современным представлениям на некоторых ранних этапах эволюции Вселенной возникают первые структуры, частицы – протоны, нейтроны, электроны. При дальнейшем понижении температуры образуются атомы простейших элементов – водорода и гелия. Для их существования нужен стабильный протон. Как известно, массы нейтрона и протона мало отличаются: $m_n - m_p = 1,33 \text{ МэВ}$, $m_p = 938,3 \text{ МэВ}$, $m_e = 0,511 \text{ МэВ}$. Более тяжелый нейтрон нестабилен, распадаясь на протон, электрон и электронное антинейтрино:



Если бы масса протона была на 0,1% больше, то реакция (2) была бы запрещена – разность масс нейтрона и протона стала бы меньше массы электрона. Поэтому нейтрон стал бы стабильным, а атом водорода – нестабильным [7]:



Совокупность реакций $\nu_e + p \leftrightarrow n + e^+$ и $e^- + p \leftrightarrow n + \nu_e$ способствовали бы одинаковой распространенности протонов и нейтронов после первичного нуклеосинтеза. Поэтому основным веществом во Вселенной был бы не водород, а гелий (число протонов и нейтронов в ядре гелия одинаково). Однако водород является топливом для большинства устойчивых звезд типа нашего Солнца. Звезды могли бы образовываться и из гелия, но их поведение было бы другим и время существования значительно короче. Жизнь на планете не успела бы сформироваться. Кроме того, без водорода не было бы ни органических веществ, ни воды.

К аналогичным радикальным изменениям привело бы и небольшое изменение масс электрона или нейтрона. Таким образом, строение Вселенной крайне чувствительно к небольшому «шевелению» масс протона, нейтрона и электрона. Фактически имеет место «тонкая подстройка» масс кварков, которые образуют нуклоны, и электронов.

2. Для формирования планет и возникновения известной нам формы жизни нужны не только водород и гелий, но и более тяжелые элементы. Они образуются благодаря цепочке «алхимических» превращений в недрах звезд. При температуре в сотни миллионов градусов гелий превращается в углерод:



где γ — гамма-квант. Однако вероятность встречи трех ядер гелия в довольно разреженной плазме звезды невелика. Поэтому мала и вероятность такого способа образования углерода, а затем и более тяжелых ядер. Следовательно, их будет недостаточно для формирования планет.

Но, оказывается, эта реакция идет в два этапа. Сначала из двух ядер гелия образуется бериллий ^8Be , ядро которого нестабильно. Не успевшее распасться ядро бериллия слипается с ядром ^4He :



Вероятность двухэтапной реакции намного больше вероятности реакции (3). Главная причина этого — вероятность реакции (4) резонансно усиливается наличием у углерода уровня энергии 7,65 МэВ. Этот уровень всего на 0,3 МэВ выше суммы энергий покоя ядер ^4He и ^8Be . Разрыв в 0,3 МэВ преодолевается благодаря высокой температуре в недрах звезды.

Углерод в звезде может не только образовываться, но и «сгорать» благодаря реакции



Однако, эта реакция очень медленная. Энергетический уровень ^{16}O , ближайший к сумме энергий покоя ядер ^{12}C и ^4He , меньше этой суммы. Высокая температура эту разницу только увеличивает. Таким образом, благодаря резонансному характеру реакции (4) и нерезонансному — (5), углерода, необходимого для формирования тяжелых элементов, получается достаточно.

Именно эти соображения помогли Ф. Хойлу в 1953 г. предсказать существование у углерода энергетического уровня 7,65 МэВ. Через неделю после теоретического предсказания он был экспериментально открыт в Калифорнийском технологическом институте. «Когда смотришь на диаграмму энергетических уровней ядра ^{12}C ... и видишь первые три уровня 4,43 МэВ, 7,65 МэВ и 9,64 МэВ, то душу охватывает чувство глубокой благодарности к уровню 7,65 МэВ за то, что он не спустился на 0,5 МэВ ниже. Какой малый запас прочности у всего, что нам так дорого!» [8, стр. 188].

3. Обогащенное тяжелыми элементами вещество разбрасывается по галактике взрывами сверхновых. Когда у массивной звезды кончаются запасы ядерного топлива, ядро ее становится неустойчивым относительно гравитационного сжатия. При некоторых условиях наступает гравитационный коллапс. Выделяется огромная гравитационная энергия, большую часть которой уносят потоки нейтрино. Нейтрино очень слабо взаимодействует с обычным веществом. Земля, например, для нейтрино почти прозрачна. Однако, очень плотное, компактное ядро притормаживает улетающие нейтрино, тем самым увеличивая вероятность их взаимодействия с внешней оболочкой звезды. Давление потока нейтрино сбрасывает внешнюю оболочку. Т.е., ядро звезды схлопывается внутрь, внешние слои взрываются наружу. Это — сверхновая звезда. Тяжелые элементы взрывом, благодаря потоку нейтрино, разбрасываются по космосу. Потом эти элементы входят в состав нового поколения звезд, в состав планет и живых организмов. Если бы слабое взаимодействие (нейтрино с веществом) было намного слабее, они (нейтрино) не смогли бы эффективно воздействовать на внешнюю оболочку звезды и вызвать взрыв сверхновой. Если бы слабое взаимодействие было сильнее, то нейтрино было бы захвачено ядром звезды и взрыва тоже не было бы. Т.е. при иной интенсивности слабого взаимодействия химический состав Вселенной был бы другим.

Кроме приведенных «счастливых случайностей», без которых появление известной нам формы жизни было бы невозможно, существует множество других (см., например, [9], с учетом последних открытий в космологии – [6]).

Каждая «дружелюбная случайность» может быть выражена определенным соотношением между фундаментальными константами. Количество таких соотношений намного больше числа фундаментальных констант. Система уравнений, в которой количество неизвестных меньше числа уравнений, имеет решение, если «лишние» уравнения можно как-то выразить через остальные. Эти соотношения должны выражать какие-то законы природы. Мы знаем, что система уравнений имеет решение (поскольку мы существуем). Но соответствующих законов природы не знаем (пока?!).

«Дружелюбные случайности» привлекали и продолжают привлекать внимание многих ученых. Этой проблемой с 1930 г. интересовался один из создателей квантовой механики П. Дирак. Позже – А.Л. Зельманов, Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков, Б. Картер, Дж. Уилер, П. Дэвис, А. Линде и др.. Об антропном принципе писал А.С. Сахаров: «Некоторые авторы считают антропологический принцип неплодотворным и даже не соответствующим научному методу. Я с этим не согласен. Замечу, в частности, что требование

применимости фундаментальных законов природы в существенно иных, чем в нашей Вселенной, условиях, может иметь эвристическое значение для нахождения этих законов.» (Цитируется по [8, стр. 187]).

Существуют несколько формулировок антропного принципа. В школьных учебниках по астрономии приводится один из вариантов так называемого слабого антропного принципа.

Слабый антропный принцип:

1. Мы являемся свидетелями процессов определенного типа потому, что процессы другого типа протекают без свидетелей (А.Л. Зельманов).

2. Наше положение во Вселенной с необходимостью является привилегированным в том смысле, что оно должно быть совместимо с нашим существованием как наблюдателей. (Картер Б., [10]).

3. То, что мы ожидаем наблюдать, должно быть ограничено условиями, необходимыми для нашего существования как наблюдателей (Картер Б.).

Сильный антропный принцип:

Вселенная (и, следовательно, фундаментальные параметры, от которых она зависит) должна быть такой, чтобы в ней на некотором этапе эволюции допускалось существование наблюдателя (Картер Б.).

В последнее время антропные свойства Вселенной анализируют в синергетике, что вполне естественно (см., например, [11, 12, 14]). В школьном учебнике по астрономии [2] синергетику определяют как науку, изучающую законы и эволюцию сложных систем. Антропный принцип рассматривается как принцип существования сложного в этом мире. «Чтобы на макроуровне сегодня было возможно существование сложных систем, элементарные процессы на микроуровне изначально должны были протекать очень избирательно» [12, стр. 64]. Понятие сложной системы не раз встречается при обсуждении данной темы. Поэтому возникает необходимость разъяснения содержания данного понятия. Однако следует учесть мудрое предостережение Л.И. Мандельштама об опасности строгих определений для быстро развивающейся теории. По мнению Л.И. Мандельштама такие определения аналогичны заворачиванию ребенка вместо пеленки в колючую проволоку. Рассматриваем поэтому «рабочее» определение.

Под сложностью системы понимают ее многокомпонентность и принципиальную несводимость к простой сумме составляющих ее взаимодействующих подсистем, элементов. Вследствии этого взаимодействия система приобретает новые свойства, отсутствующие у подсистем. Они называются эмерджентными. Эмерджентные свойства системы невозможно вывести из свойств подсистем. Пример эмерджентного свойства — энтропия. Сложные системы не

могут быть изучены разбиением их на изолированные части. Редукционизм здесь не применим.

Понятие «сложности» часто дифференцируют. С одной стороны можно говорить о структурной сложности, с другой – о сложности внешних проявлений системы безотносительно к ее внутреннему устройству (см., например, [14, 15]). Эти сложности взаимосвязаны, но не эквивалентны. Чаще имеют ввиду второе значение. Сложное поведение видят в неравновесности, обратных связях, переходных явлениях, способности к переключению между различными типами поведения при изменении внешних условий, в эволюции, «... достаточно сложная система обычно находится в метастабильном состоянии» [16, стр. 153].

В связи с антропным принципом в школьных учебниках обсуждается понятие жизни и живого организма. В последние годы для характеристики феномена жизни используют понятие аутопоэза. Это – самовоспроизведение без изменения организации системы (Autopoiesis (греч.): autos – само, poiein – построение или производство). Термин предложен известным чилийским нейробиологом У.Р. Матураной: «... живые существа отличаются тем, что их организация порождает в качестве продукта только их самих, без разделения на производителя и продукт. Бытие и сотворение аутопоэзного единства нерасторжимы и в этом заключается присущий только им способ организации» [17]. Именно аутопоэзная организация наиболее популярна сейчас как критерий живого. С точки зрения теории развития сложных систем возникновение жизни является естественным этапом саморазвития материи, одной из форм ее самоорганизации.

Далее кратко остановимся на некоторых, имеющихся в научной литературе, попытках объяснения антропного принципа:

1. Чаще всего привлекается концепция множественности миров. Эта концепция появилась в космологии в связи с проблемой инфляции. Связь антропного принципа с моделью «вечной» инфляции в свете новых открытий в космологии рассматривается в [6, стр. 407-441]. «На первый взгляд антропный принцип противоречит естественно-научному взгляду на законы природы. Однако это не так. Существует возможность того, что Вселенная на самом деле неизмеримо больше, чем ее наблюдаемая часть, и что в разных областях Вселенной, также значительно больших наблюдаемой части, параметры, которые мы считаем фундаментальными, имеют неодинаковые значения (возможно, различны и сами физические законы в нынешнем понимании этого термина). На такую возможность указывают, например, модели «вечной» инфляции». Согласно этой модели во Вселенной имеется огромное чис-

ло областей с различным космологическим возрастом. Предполагается, что в разных областях фундаментальные параметры принимают разные значения. Тогда «... антропный принцип просто отображает тот факт, что наше существование возможно не в произвольном месте Вселенной, а именно там, где для этого есть подходящие условия» [6].

2. Различными учеными высказывались предположения о возможности форм жизни, имеющих различную материально-энергетическую организацию, не связанную с белково-нуклеиновым субстратом. Это позволило В.П. Казначееву выдвинуть интересную гипотезу, связанную с антропным принципом и названную им принципом Великого дополнения: «всякое масштабное изучение форм и потоков косного вещества требует соответствующего дополняющего изучения определенной совокупности потоков живого вещества (куда входит изучение природы живого вещества, его организации, в определенных случаях предполагается также изучение природы познающего субъекта, его сознания, характера методов познания и т.д.). Принцип Великого дополнения справедлив и в обратной форме – от изучения живого вещества к косному» [18, стр. 57]. В соответствии с этой гипотезой антропный принцип «является представлением, справедливым лишь в отношении определенной части всей совокупности форм космологического живого вещества» [18, стр. 59].

Эти идеи Казначеева В.П. резонируют с утверждением знаменитых чилийских нейробиологов У.Р. Матураны и Ф.Х. Варела о биологических корнях человеческого познания. Анализируя феномен познания они доказывают, что когнитивный опыт познающего коренится в его биологической структуре, утверждают нераздельность конкретного способа существования и того, каким этот мир предстает перед познающим [17, стр. 23].

Выводы

Целесообразно ли изучение антропного принципа, если отсутствует общепризнанное научное объяснение? По нашему мнению, ответ положителен. И наука, и содержание образования – открытые, развивающиеся системы. При организации учебного процесса это надо учитывать.

Мы считаем также, что соответствующий материал может быть использован и на занятиях по физике. Это позволит создать ряд интересных проблемных ситуаций, поможет сформировать единую естественнонаучную картину мира, сблизить «две культуры» – естественнонаучную и гуманитарную.

Литература

- [1] *Климишин И.А.* Астрономия / И.А. Климишин, И.П. Кричко. – К.: Знание. 2003. – 192 с. – (Учебник для 11 кл. общеобраз. уч. заведений).
- [2] *Пришляк М.П.* Астрономия: 11 класс / М.П. Пришляк; за заг ред. акад. Я.С. Яцків. – Х.: Ранок, 2011. – 160 с.
- [3] *Вакарчук І.О.* Квантова механіка : Підручник / І.О. Вакарчук. – Львів: ЛДУ ім. І.Франка, 1998. – 616 с.
- [4] *Пригожин И.* Современная термодинамика: от тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин., Д. Кондепуди. – М.: Мир, 2002. – 461 с.
- [5] *Изаков М.Н.* Самоорганизация и информация на планетах и в экосистемах / М.Н. Изаков // УФН. – 1997. – т. 167, №10. – с. 1089 – 1094.
- [6] *Рубаков В.А.* Иерархии фундаментальных констант / В.А. Рубаков // УФН. – 2007. – т. 177, №4. – с. 407 – 414.
- [7] *Розенталь И.Л.* Элементарные частицы и структура Вселенной / И.Л. Розенталь. – М.: Наука, 1984. – 112 с.
- [8] *Окунь Л.Б.* Фундаментальные константы физики / Л.Б. Окунь // УФН. – 1991. – т. 161, №9. – с. 178 – 194.
- [9] *Дэвис П.* Случайная Вселенная. / П. Дэвис. – М.: Мир, 1985. – 160 с.
- [10] *Картер Б.* Совпадения больших чисел и антропологический принцип в космологии / Космология: теория и наблюдения. – М., 1978. – с. 369 – 379.
- [11] *Николис Дж.* Динамика иерархических систем. Эволюционные представления / Дж. Николис. – М.: Наука, 1989. – 488 с.
- [12] *Князева Е.Н.* Антропный принцип в синергетике / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов // Вопросы философии. – 1997. – №3. – с. 62 – 79.
- [13] *Баранцев Р.Г.* Синергетика в современном естествознании / Р.Г. Баранцев. – М.: УРСС, 2003. – 140 с.
- [14] *Николис Дж.* Познание сложного / Дж. Николис, И. Пригожин – М.: Мир, 1990. – 342 с.
- [15] *Малинецкий Г.Г.* Современные проблемы нелинейной динамики / Г.Г. Малинецкий, Потанов А.Б. – М.: УРСС, 2000. – 335 с.
- [16] *Пригожин И.* От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках / И. Пригожин. – М.: УРСС, 2002. – 327 с.
- [17] *Матурана У.Р.* Древо познания: биологические корни человеческого понимания : пер с англ. Ю.А. Данилова / У.Р. Матурана, Ф.Х. Варела. – М.: Прогресс-Традиция, 2001. – 224 с.
- [18] *Казначеев В.П.* Учение В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере / В.П. Казначеев. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 248 с.