

Лекция №3. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ

Пространство и время – категории, обозначающие основные формы существования материи. Пространство выражает порядок существования отдельных объектов, время – порядок смены явлений. Пространство и время – основные понятия всего естествознания.

Пространство. Представления о пространстве формировались по мере освоения человеком жизненно необходимых территорий. У разных народов это зависело от природно-климатических условий, в которых они проживали. Так, индийцы представляли себе Землю в виде плоскости, лежащей на спинах слонов; жители Вавилона – в виде горы, на западном склоне которой находится Вавилония. Своему появлению и развитию наука о Земле – **география**, или землеописание, обязана древним грекам, представлявшим мир в виде круглой лепешки с Грецией в центре. Древнейшая область математики – **геометрия** (греч. *geometria* – землемерие) зародилась как наука о способах измерения площадей, объемов, расстояний.

Для определения положения в пространстве необходимо задать три координаты – ширину, долготу и высоту. Это означает, что пространство трехмерно. Евклид в III в. до н. э. построил геометрию трехмерного пространства, известную в научном обиходе как **евклидова геометрия**. Для определения положения в пространстве Рене Декарт (1596 – 1650) ввел прямоугольную систему координат (“декартовы координаты”) – $X Y Z$. Евклид в первой книге “Начала” (а всего их 15) определил некоторые объекты геометрии:

- точка есть то, что не имеет частей;
- линия есть длина без ширины;
- поверхность есть то, что имеет только длину и ширину, и т.д.

Кроме приведенных определений Евклид сформулировал геометрические постулаты:

1. Требуется, чтобы от любой точки до любой другой точки можно было провести прямую.
2. И чтобы любую (ограниченную) прямую можно было продолжить.
3. И чтобы из любого центра можно было описать окружность любого радиуса.
4. И чтобы все прямые углы были равны.
5. Если две прямые пересечены третьей, то они пересекаются в той полуплоскости относительно секущей, где сумма односторонних внутренних углов меньше двух прямых.

Пятому постулату существует несколько эквивалентов. Один из них: сумма внутренних углов треугольника равна 180° . Однако возникают вопросы: Евклидово ли пространство? Не искривлено ли оно? Не пересекутся ли параллельные линии на бесконечности? Всегда ли сумма углов треугольника равна 180° ?

Действительно, представим себе две линии, проведенные на поверхности сферы. Они могут замкнуть часть пространства. То есть, возникает вопрос: что такое прямая в физическом мире? Иначе говоря: “Как построить в действительности прямую линию”?

Ответ может быть прост – возьмем луч света. Луч света – прямая линия, но только в однородном пространстве. Свет испытывает преломление, связанное с неоднородностью среды, по которой распространяется. Известны миражи в неоднородно нагретом воздухе, другие оптические эффекты.

В XIX в. Николай Иванович Лобачевский (1792 – 1856) и Янош Бойяи (пришел к неевклидовой геометрии, но в менее полной форме и на 3 года позже -1832) создали новую геометрию, расширили понятие о пространстве, подготовили единое понятие пространства – времени в физике (постулат: через заданную точку может проходить несколько прямых, параллельных заданной).

Геометрия Лобачевского (гиперболическая геометрия) — одна из неевклидовых геометрий, геометрическая теория, основанная на тех же основных посылах, что и обычная евклидова геометрия, за исключением аксиомы о параллельных, которая заменяется на аксиому о параллельных Лобачевского. Евклидова аксиома о параллельных гласит: через точку, не лежащую на данной прямой, проходит только одна прямая, лежащая с данной прямой в одной плоскости и не пересекающая её. В геометрии Лобачевского, вместо неё принимается следующая аксиома: через точку, не лежащую на данной прямой, проходят по крайней мере две прямые, лежащие с данной прямой в одной плоскости и не пересекающие её. Геометрия Лобачевского имеет обширные применения как в математике, так и в физике. Историческое её значение состоит в том, что её построением Лобачевский показал возможность геометрии, отличной от евклидовой, что знаменовало новую эпоху в развитии геометрии и математики вообще.

Чуть позже в 1854 г. появилась геометрия Бернхарда Георга Римана – геометрия на сфере. В ней не может существовать ни одной прямой, параллельной заданной. Прямые здесь определяются как линии, проходящие через полюса сферы.

Если геометрия Евклида реализуется на поверхностях с постоянной нулевой гауссовой кривизной, Лобачевского — с постоянной отрицательной, то геометрия Римана — реализуется на поверхностях с постоянной положительной гауссовой кривизной. В геометрии Римана прямая определяется двумя точками, плоскость — тремя, две плоскости пересекаются по прямой и т. д., но через данную точку нельзя провести к прямой ни одной параллельной. В частности, в этой геометрии имеется теорема: сумма углов треугольника больше двух прямых.

Геометрия Римана похожа на сферическую геометрию, но отличается тем, что любые две «прямые» имеют не две, как в сферической, а только одну точку пересечения. Поэтому иногда геометрией Римана называют геометрию на сфере, в которой противоположные точки отождествлены; таким образом из сферы получается проективная плоскость.

В каком же пространстве мы живем, какой геометрией оно описывается?

Возможно, что проще всего это сделать, измерив углы большого треугольника. В геометрии Евклида сумма углов треугольника равна 180^0 , в геометрии Римана – больше 180^0 , в геометрии Лобачевского – меньше 180^0 (рис. 1).

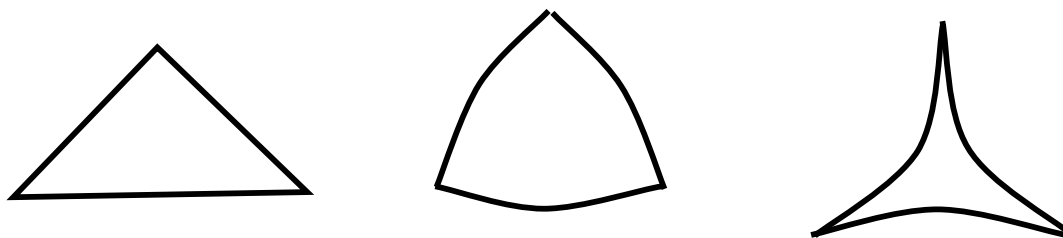


Рис. 1. Треугольники в геометрии Евклида, Римана, Лобачевского

Эксперименты по измерению углов треугольника в пространстве на больших базах были проведены Карлом Фридрихом Гауссом (1777-1855). Он с помощью геодезических приборов измерил углы треугольника, построенного на вершинах гор при расстоянии между ними около 100км. Отклонений суммы углов от 180^0 не было обнаружено. Лобачевский измерил углы треугольника, основание которого совпадало с диаметром земной орбиты, а вершина находилась в месте расположения яркой звезды (Сириуса). Отклонений суммы углов от 180^0 не было обнаружено.

Живя на сфере и имея дело с линиями на поверхности сферы, мы не задумываясь используем геометрию Евклида в практической деятельности. Вопрос: “Является ли наше пространство евклидовым?” не имеет ответа. ***В теории тяготения Ньютона считается, что пространство евклидово, а частицы двигаются криволинейно только под действием сил. В общей теории относительности Эйнштейна предполагается, что единое пространство – время неевклидово, а частицы перемещаются вдоль путей, которые при заданной кривизне пространства совпадают с кратчайшими расстояниями между любыми двумя точками.*** Эти воззрения принципиально различны. Однако результаты обеих теорий в большинстве случаев совпадают. Это еще раз доказывает условность выбора точки зрения на геометрию пространства. Этот выбор – плод человеческой мысли.

Способы описания пространства и объектов в пространстве развиваются и сегодня. Мы хорошо знаем, что линия имеет размерность 1 (число координат, необходимых для определения положения лежащей на этой фигуре точки), плоскость – размерность 2, тело – размерность 3. Но можем ли мы представить себе множество с размерностью $3/2$? В начале 20-х гг. XX в. два математика - Феликс Хаусдорф (1868-1942) и Абрам Самойлович Безикович (1891-1970) предложили математическую модель описания объектов с дробной размерностью. В 1975 г математик Ш. Мандельброт назвал объекты с дробной размерностью фрактальными. ***Фрактал*** (лат. fraction – дробленный или fraction – дробь) – термин, означающий геометрическую фигуру, обладающую свойством самоподобия, то есть составленную из нескольких частей, каждая из которых подобна всей фигуре целиком. В более широком смысле под фракталами понимают множества точек в евклидовом пространстве, имеющие дробную метрическую размерность.

Простейшими примерами объектов, описываемых с помощью новой геометрии, является снежинка, открытая Г. Кох в 1904 г и ковер Серпинского, придуманный польским математиком Вацлавом Серпинским в 1915 году (рис.2).

Из рисунка 2 видно, как “растет” снежинка, ее рост ничем не ограничен. Итальянский математик Э. Чезаро, удивленный внутренней бесконечностью и самоподобием снежинки Коха, писал в 1905г.: “Если бы она была одарена жизнью, то можно было бы лишить ее жизни, только уничтожив кривую в целом, в противном случае она возродилась бы снова и снова из глубины своих треугольников, как это делает жизнь во Вселенной”.

Вначале представления о фрактальной размерности были введены совершенно формально, безотносительно к каким-либо физическим объектам. Сегодня же стало ясно, что она позволяет описывать разнообразные физические явления и объекты: свойства поверхности кристаллов, при внешних воздействиях; теорию игр; развитие социальных объектов; береговую линию и др.

В настоящее время фракталы широко применяются в компьютерной графике для построения изображений природных объектов, таких, как деревья, кусты, горные ландшафты, поверхности морей и так далее. Последнее время

фракталы стали популярным инструментом у трейдеров для анализа состояния биржевых рынков. В физике фракталы естественным образом возникают при моделировании нелинейных процессов, таких, как турбулентное течение жидкости, сложные процессы диффузии-адсорбции, пламя, облака и т. п. Фракталы используются при моделировании пористых материалов, например, в нефтехимии. В биологии они применяются для моделирования популяций и для описания систем внутренних органов (система кровеносных сосудов).

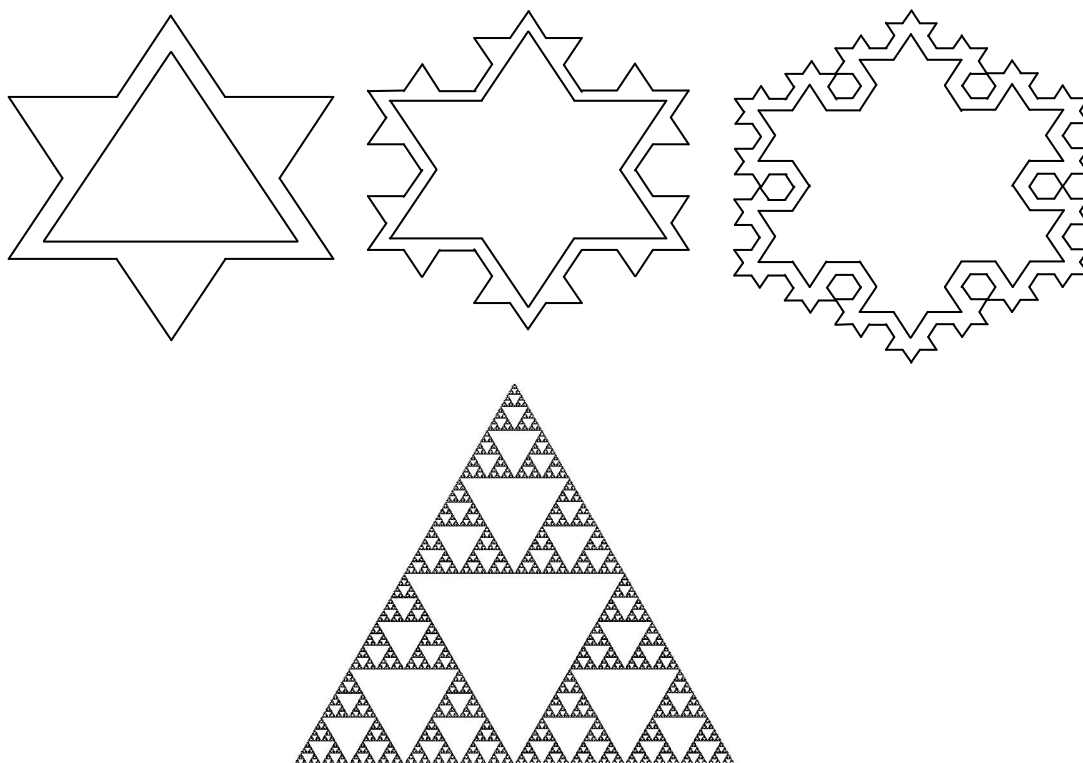


Рис. 2. Снежинка Коха и ковер Серпинского

Время. До сих пор неизвестно, что это такое время. Основатель учения о времени – Эммануил Кант. В словаре Даля: время – длительность бытия. Эйнштейн говорил: “Время – это то, что показывают часы”. Одно из самых важных свойств времени – **способность упорядочивать**.

Существует много подходов к описанию явлений и событий во времени. Этим занимается в частности **хронология**, наука, имеющая дело с разделением времени на регулярные периоды, расположением событий в порядке их возникновения, установлением соответствия дат к известным событиям и выявлением несоответствий в датах, вызванных различием в системах, применяемых в древности и сегодня.

Астрономическая хронология (совпадение дат астрономического явления типа солнечного затмения и исторического случая).

Помните, в “Слове о полку Игореве” сказано:

У Донца был Игорь, только видит-
Словно тьмой полки его прикрыты,
И воззрел на светлое он Солнце –
Видит: Солнце – что двурогий месяц,
А в рогах был словно уголь горящий;

В темном небе звезды просияли,
У людей в глазах позеленело.

Это было, как установили астрономы, 1 мая 1185 г, накануне сражения Игоря с половцами.
На территории западной Сибири последнее полное затмение 1.08.2008 г.

Геологическая хронология (построена на изучении окаменелостей, ископаемых, структуры земных недр). Современное радиометрическое датирование (после открытия радиоактивности) позволяет определять геологические даты с беспрецедентной точностью.

Политическая хронология (даты в истории наций, стран, человечества). В основном по датам жизни королей, других деятелей. Хронология полная, но иногда с пропусками между сменами правителей.

Хронология древнего Египта начинается с воцарения первого фараона 1-й династии Менеса (3100-3066 гг. до н. э.). эра греческих олимпиад была рассчитана с 1 июля 776 г. до н. э. Христианская хронология, используемая нами, основана в 525 г. христианским монахом Дионисием Малым (Ексигуусом), считавшим, что Иисус Христос родился в 753 г. после основания Рима (Рим основан 22 апреля 753 г. до н. э.). Таким образом, в 2000 г. наступил 2754 г. от основания Рима. В то же время мусульмане отмечали 1378 г. хиджры, 5760 г. – иудеи, 2544 г. – буддисты, 2124 г. – тибетцы, 4697 г. – китайцы.

Основные религии приведены в таблице 3.

Таблица 3

Основные религии

Религия	Годы возникновения	Пророки (посвященные)	Имя Бога	Древние книги
1. Индуизм (Индия)	3000 лет до н.э.	Кришна, Рама	Единый бог – Брахман	Веды, Брахман, Бхагават-Гита
2. Иудаизм (все евреи)	1400 лет до н.э.	Моисей, Авраам	Яхве	Библия (Тора, книга пророков, книга Писаний, книга Бытия)
3. Зороастризм (древний Иран)	1000 лет до н.э.	Зороастр	Агурамазда великий дух, единый господь, свет и истина	Авеста
4. Ислам (Азия, Африка)	6–7 век до н.э.	Магомет	Аллах – единый и вечный	Коран
5. Буддизм (Индия)	500 лет до н.э.	Будда – просвещенный, мудрый, знающий		Трипитака (три корзины мудрости), Винья Питака (корзина дисциплины), Сата Питака (правила Будды)
6. Христианство (Иудея)	1 век до н.э.	Христос	Единый бог – святой дух	Библия, Евангелие

В истории Западных цивилизаций с основными проблемами хронологии сталкиваются в согласовании дат, исчисленных в различных календарях, типа юлианского, григорианского и мусульманского. Что же такое время? Как его можно измерить? И можно ли вообще говорить об измерении времени? Каков возраст Вселенной?

Человек ощущает промежуток времени приблизительно 0,1 секунды (длительность моргания глазом или щелчка пальцами). Время реакции человека на внешний сигнал около 0,2 секунды и зависит от психо физического состояния человека. “Внутреннее” время человека может изменяться значительно. “Психологическая минута” средне здорового человека 63 – 70 секунд, плохо приспособивающегося к окружающей обстановке 46 – 48 секунд, незадолго до наблюдения покушавшихся на самоубийство, уменьшается до 20 секунд.

Обратимые процессы во времени – в этих процессах нет различия между прошлым и будущим, что было и что будет можно предсказать на большие промежутки времени (периоды вращения Земли вокруг своей оси (сутки) или Солнца (год), частота колебательного контура, частота колебаний атомов и молекул в кристалле).

Существуют и **необратимые во времени процессы** (существование живого организма, ландшафт Земли, явление радиоактивности). Необратимые процессы столь же реальны, как и обратимые. Более того, обратимость процессов в природе является приближенной – для законов, обратимых во времени, приходится вводить дополнительные ограничения и оговорки. Так, маятник будет колебаться сколь угодно долго, если нет трения в точке подвеса, сопротивления воздуха, других причин. Таким образом, мы видим, что существуют физические явления и процессы, определяющие **направление течения времени (стрелу времени)**, понятие введено в 30-х гг. XX в., английский астрофизик Артур Стенли Эддингтон).

Приведем некоторые классы явлений, характеризующие направление времени.

Излучение. Волна (упругая, электромагнитная) всегда испускается источником и является расходящейся, затухающей по прошествии времени (уходящей в будущее).

Термодинамика. Второе начало термодинамики, знаменитый закон возрастания энтропии в системе, не обменивающейся с внешним миром ни энергией, ни веществом, выражает увеличение молекулярного хаоса до тех пор, пока система не достигнет термодинамического равновесия. Напомним, что энтропия позволяет отличать, в случае изолированных систем, обратимые процессы (энтропия максимальна и постоянна) от необратимых (энтропия возрастает). Л. Больцман и М. Планк сформулировали один из важнейших законов природы, связывающий энтропию S и вероятность состояния p_t системы: $S = -k \ln p_t$. $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана. Чем более вероятно состояние системы (чем ближе p_t к единице), тем больше энтропия. Пример перехода системы к наиболее вероятному состоянию – растекание капли чернил в стакане с водой.

Эволюция. Динамическая самоорганизация материи, наблюдаемая в биологической эволюции и эволюции общества, противоречит второму закону термодинамики – закону возрастания энтропии (ведь эволюция – это возрастание порядка в системе). Однако мы должны учесть, что в этих случаях рассматриваемые системы не являются замкнутыми. В них имеется производство энтропии, необратимые процессы, например химические явления, диффузия, теплопроводность и т. п.

Радиоактивный распад. При этом происходит необратимое преобразование одних атомов в иные, обратного процесса не наблюдается.

Радиоактивность приводит к фундаментальному выводу: **Земля не могла существовать вечно.** Если бы возраст Земли был больше 10^{11} лет, то мы не могли бы обнаружить на ней радиоактивных веществ, таких как рубидий, уран, калий. Значит, “возраст” материала, из которого состоит Земля, не может превышать несколько миллиардов лет. Самая древняя порода, обнаруженная на Земле (в Антарктиде), имеет возраст 3900 ± 300 млн. лет.

Таким же способом оценивают время существования Солнечной системы. Для этого измеряют содержание радиоактивных элементов в метеоритах. Оказалось, что все метеориты имеют примерно одинаковый возраст – $4 \div 5$ млрд. лет. Следовательно, используя такое необратимое физическое явление, как радиоактивный распад, можно оценить промежутки времени космического масштаба. Но как оценить возраст Вселенной? Единственная возможность – изучать излучение звезд, звездных скоплений, галактик. По спектрам излучения оценивают скорости их движения и химический состав.

Одна из последних оценок возраста Вселенной – 16 ± 2 млрд. лет. Метод **нуклеокосмохронологии** (определение относительного содержания радиоактивных долгоживущих элементов или соотношения двух элементов и сравнения с содержанием в других звездах, в частности – в Солнце) показал, что возраст одной из самых старых звезд CS22892 – 052 составляет от 13 до 21 млрд. лет.

Сравним представления о времени в механике Ньютона и Эйнштейна.

В механике Ньютона для описания движения тела необходимо ввести три координаты и некоторый параметр – **время**. Пространство трехмерно, время одномерно, и то и другое – бесконечны. Течение времени абсолютно. Уравнения механики не изменяются при обращении времени – замена t на $-t$ не меняет уравнений. Время неравноправно с пространственными координатами.

По теории относительности Эйнштейна время такая же полноправная координата, как и пространственные. Здесь уже нужно говорить не о трехмерном пространстве и времени, а о четырехмерном пространстве-времени.

Определяя время, мы выбираем отрезок между событиями (год, сутки...) и считаем, что отрезки времени между одними и теми же событиями одинаковы для всех наблюдателей, события, одновременные для одного наблюдателя, одновременны и для любого другого.

По теории Эйнштейна, из-за конечности скорости света, два события, одновременные в одной системе отсчета, не одновременны в разных. Это следует как следствие из преобразований Лоренца:

$$t' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left(t - \frac{vx}{c^2} \right), \quad x' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} (x - vt).$$

События, одновременные для одного наблюдателя ($t=0$), будут неодновременными для другого ($t \neq 0$). Понятие одновременности относительно!

Замедление времени может быть измерено. Пример с μ -мезонами, образующимися в атмосфере на высоте около 10 км. Время полураспада (жизни) μ -мезонов $\approx 1,5 \cdot 10^{-6}$ с. Даже, если их скорость равна скорости света в вакууме, то они могут пройти 450 м, но регистрируются на поверхности Земли. Дело в том, что время “течет” для μ -мезона иначе, чем для внешнего наблюдателя. При скорости частицы $v=0,9c$ “собственное время” возрастает примерно в 2 раза.

Другой эксперимент провели в 1971г и при этом скорости движения были совсем небольшие. Одни цезиевые часы поместили на самолет, который летал в течение месяца. Другие оставили в лаборатории. По теории относительности летавший эталон времени должен был отстать на (184 ± 23) нс. Эксперимент дал результат (203 ± 10) нс.

Один из самых известных парадоксов специальной теории относительности – парадокс близнецов. Пусть два брата – близнеца разлучаются, и один из них улетает со скоростью, близкой к скорости света, допустим меньше ее на 1%. Тогда, если на Земле прошло 30 лет, то на космическом корабле – около 5 лет (в 6 раз меньше). Значит, близнец с корабля будет заметно моложе. Однако мы можем стать на точку зрения космонавта: он покоится, а Земля движется. Тогда все будет наоборот. В этом и состоит **парадокс близнецов**. Только инерциальные системы отсчета эквивалентны.

В 1918 г. Э. Нетер, немецкий математик, доказала теорему, по которой из физических представлений об однородности и изотропности пространства-времени следует, что в замкнутых системах должны выполняться законы сохранения энергии, импульса и момента импульса. Эта теорема связала пространство, время, движение, массу и энергию в единый узел, в котором определяющую роль играет симметрия пространства – времени.

Свойства пространства и времени определяет тяготение, источником которого являются материальные тела.