

Лекция № 5

КОНЦЕПЦИЯ ПРОСТРАНСТВА, ВРЕМЕНИ И СИММЕТРИИ

Развитие представлений о пространстве и времени. У Аристотеля пространство – категория места, время – мера движения. *Абсолютные пространство и время* И.Ньютона как истинные и существующие независимо от сознания человека. *Относительные пространство и время* – кажущиеся, и постигаются нашими чувствами. В классической механике пространство и время рассматриваются независимо друг от друга. *Пространство* – характеристика дифференцированности, структурированности материи. *Время* – характеристика движения и развития материи.

Всеобщие свойства пространства и времени: их объективность и независимость от человеческого сознания, абсолютность, неразрывная связь друг с другом и с движущейся материей, единство прерывности и непрерывности в их структуре, количественная и качественная бесконечность. *Общие свойства пространства:* протяженность, связность и непрерывность, трехмерность, однородность и изотропность. *Общие свойства времени:* длительность, единство прерывного и непрерывного, одномерность, необратимость, однородность.

Принцип относительности Галилея: во всех инерциальных системах отсчета все механические явления происходят одинаково. *Инерциальная система отсчета* – система, в которой все тела, включая наблюдателя, движутся равномерно.

Релятивистская революция в представлении о пространстве и времени. Кризис представлений о пространстве и времени в конце XIX века. Теория эфира и эфирного ветра, опыт Майкельсона-Морли, показавший отсутствие эфирного ветра.

Специальная (частная) теория относительности (СТО) А.Эйнштейна (1905). Постулаты СТО: 1) Принцип относительности. 2) Принцип постоянства скорости света: скорость света в пустоте одинакова во всех

инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света. Следствия из постулатов Эйнштейна: относительность одновременности, относительность расстояний (релятивистское сокращение длин), относительность промежутков времени (релятивистское замедление времени), инвариантность пространственно-временного интервала между событиями, инвариантность причинно-следственных связей, единство пространства-времени, эквивалентность массы и энергии.

В реальном физическом мире пространственные и временные характеристики меняются при переходе от одной системы отсчета к другой. Классическая физика считает, что при инерциальном движении пространственные и временные характеристики объектов не меняются. СТО показала ограниченную применимость этого положения. При движениях со скоростями, близкими к скорости света, изменения пространственных и временных характеристик объектов становятся заметными. При увеличении относительной скорости движения системы отсчета пространственные размеры сокращаются, а временные растягиваются.

Понятие единого пространства-времени. Объект обладает неизменной пространственно-временной протяженностью, а ее проекции на пространство и время меняются соответственно величине относительной скорости. Единое пространство-время: свойства такой четырехмерной структуры впервые были рассмотрены Г. Минковским – $(3+1)$ -мерное пространство Минковского. Это пространство в математическом смысле слова, но нельзя отсюда заключить, что пространство в действительности четырехмерно или что время на самом деле род пространства. Теория относительности просто констатирует тот факт, что свойства пространства и времени тесно переплетаются, а построить модели каждого из них по отдельности невозможно.

Реальное пространство и время, взятое каждое в отдельности, выступают как проекции единого пространства-времени, на которые оно по-разному расщепляется в зависимости от характера движения тел. Отделение пространства от времени – абстрагирующая способность человеческого

мышления. СТО показала, что в зависимости от характера движения систем отсчета друг относительно друга происходит различное расщепление единого пространства-времени таким образом, что изменение одного параметра компенсирует изменение другого. Совместное пространство-время остается инвариантом (неизменным). СТО раскрыла внутреннюю связь между собой пространства и времени как форм бытия материи.

Общая теория относительности (ОТО) А. Эйнштейна (1915-1916). Распространение принципа относительности на все законы природы и на все системы движения. Геометрия пространства-времени определяется характером поля тяготения, которое в свою очередь определяется взаимным расположением тяготеющих масс. Вблизи больших тяготеющих масс происходит искривление пространства – его отклонение от евклидовой метрики и замедление хода времени. При задании геометрии пространства-времени автоматически задается характер поля тяготения и наоборот, задавая определенный характер поля тяготения, расположения тяготеющих масс относительно друг друга, автоматически задается характер пространства-времени. Принцип эквивалентности: ускоренное движение неотличимо никакими измерениями от покоя в гравитационном поле.

Космологические подтверждения общей теории относительности: объяснение изменения орбиты Меркурия путем учета кривизны пространства-времени вблизи большого массивного тела (Солнца), гравитационное красное смещение для света, искривление лучей света вблизи Солнца, замедление времени в гравитационном поле.

Симметрия – это неизменность (инвариантность) каких-либо свойств и характеристик объекта по отношению к каким-либо преобразованиям над ним. В широком смысле *симметрия* – это понятие, отображающее существующий в объективной действительности порядок, определенное равновесное состояние, относительную устойчивость, пропорциональность и соразмерность между частями целого. *Асимметрия* как нарушение симметрии связана с изменением, развитием и организационной

перестройкой. Уже отсюда следует, что асимметрия может рассматриваться как источник развития, эволюции, образования нового.

Различают геометрическую, динамическую и калибровочную формы симметрии. К *геометрической форме* симметрии (внешние симметрии) относятся свойства пространства – времени, такие как однородность пространства и времени, изотропность пространства, эквивалентность инерциальных систем отсчета и т.д. К *динамической форме* относятся симметрии, выражающие свойства физических взаимодействий, например, симметрии электрического заряда, симметрии спина и т.п. (внутренние симметрии). *Калибровочные симметрии* связаны с инвариантностью относительно масштабных преобразований.

Основные виды классической симметрии в природе: зеркальная (билатеральная), радиально-лучевая, поворотная, трансляционная. Основной закон, объясняющий проявление симметричности природных тел, закон Пьера Кюри: симметрия тела формируется под воздействием симметрии среды.

Симметрия в неживой и живой природе. Идеи Л.Пастера и В.И.Вернадского об отличии симметрии живых организмов от косной материи: преобладание в живой материи одного из зеркальных изомеров (аминокислоты L-ряда; углеводы, ДНК, РНК D-ряда), т.е. *хиральность* живых органических молекул.

Симметрия в физике – свойство физических законов, детально описывающих поведение систем, оставаться неизменными при определенных преобразованиях, которым могут подвергнуться входящие в них величины. Явные симметрии, непосредственно наблюдаемые, – это, например, симметрии пространства и времени или выводимые из законов сохранения. Скрытые симметрии: скрытость симметрии исходной ситуации, возникающая после неустойчивого симметричного состояния.

Наиболее общий подход к взаимосвязи симметрий и законов сохранения содержится в *теореме Э.Нётер* (1918 г.): Если свойства системы

не меняются относительно какого-либо преобразования переменных, то этому соответствует некоторый закон сохранения. Переход от одной инерциальной системы к другой можно осуществлять следующими преобразованиями: 1) Сдвиг начала координат, что связано с однородностью пространства. В этом случае говорят о симметрии относительно переносов в пространстве. 2) Поворот тройки осей координат, что связано с изотропностью пространства и соответствует симметрии относительно поворотов. 3) Сдвиг начала отсчета по времени, соответствующий симметрии относительно переноса по времени. Этот вид симметрии связан с однородностью времени. 4) Равномерное прямолинейное движение начала отсчета. Такую симметрию условно называют изотропностью пространства-времени. Описанные выше 4 вида симметрии являются универсальными. К этим симметриям относятся, соответственно: 1) Закон сохранения импульса как следствие однородности пространства. 2) Закон сохранения момента импульса как следствие изотропности пространства. 3) Закон сохранения энергии как следствие однородности времени.

Таким образом, в природе существуют принципы симметрии объектов и физических законов. Различным симметриям физических законов в природе соответствуют определенные законы сохранения.