***Лекция 12***

**ДИНАМИКА ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТОЧКИ**

**Основное уравнение динамики относительного движения точки**

Законы Ньютона справедливы только в инерциальной системе отсчета. Известна только одна система отсчета, близкая к инерциальной. Это гелиоцентрическая система, оси которой имеют начало в Солнце и направлены на удаленные звезды. Установлено, что система отсчета, связанная с Землей, не является вполне инерциальной.

Возникает грустное ощущение: единственная инерциальная система отсчета существует так далеко от нас, что механика Ньютона не пригодна для изучения движения тел вблизи Земли. Покажем, что инерциальных систем бесчисленное множество, и что законы вида законов Ньютона можно применять в неинерциальных системах отсчета, если известно как эти системы движутся.

Сначала выясним, как следует составлять дифференциальные уравнения движения точки М по отношению к неинерциальной системе отсчета. Пусть движение подвижной системы с осями по отношению к инерциальной системе с осями задано функциями координат начала А и углов Эйлера:

По закону (1) можно найти скорость и ускорение , угловую скорость и ускорение подвижной системы отсчета.



В инерциальной системе отсчета наблюдатель О запишет основной закон динамики точки М в виде:

Здесь - физические силы, действующие со стороны других точек.

По теореме Кориолиса:

Основной закон (2) приобретает вид:

Курс лекций по ТМ А.Костарева 2011

Или:

Последние слагаемые называются **переносной и кориолисовой** **силами инерции** соответственно:

Выражение

называется ***основным уравнением динамики относительного движения точки****.*

Таким образом,

***чтобы составить уравнение движения точки относительно неинерциальной системы отсчета,***

***нужно к физическим силам добавить силы инерции .***

Силы инерции отличаются от физических сил тем, что они не вызваны действием других точек, а определяются лишь движением подвижной системы отсчета. Поэтому говорят, что силы инерции имеют ***кинематический*** характер.

Спор о реальности или мнимости сил инерции имеет, видимо, простое решение: они реальны для наблюдателя А подвижной системы отсчета и мнимы для наблюдателя О абсолютной системы отсчета.

Так, два наблюдателя по-разному объяснят разрыв нити при увеличении скорости вращения шарика по неподвижной плоскости.

***Неподвижный наблюдатель*** (Рис2),связанный с плоскостью, говорит: Натяжение нити создает осестремительное ускорение шарика. Нить разрывается потому, что сила ее натяжения достигает предельного значения**.**

**T**

m

Рис.3

**Фе**

**W**

**T**

m

Рис.2

***Подвижный наблюдатель*** (Рис.3), связанный с нитью, говорит: шарик неподвижен, а сила натяжения уравновешивает центробежную силу инерции .

**Невыполнение принципа Галилея.**

**Условие относительного покоя**

Рассмотрим изолированную точку в неинерциальной системе отсчета.

Уравнение относительного движения точки

показывает, что изолированная точка не сохраняет вектора скорости

в неинерциальной системе отсчета.

Этот хорошо видно из анимации движения шарика по вращающейся платформе. Пущенный из центра платформы шарик движется прямолинейно в неподвижной системе отсчета и криволинейно по отношению к вращающейся платформе.



Пусть теперь точка находится в состоянии относительного покоя. Тогда **.**

Отпустим точку. Она начнет двигаться, поскольку

***Вывод***: ***Принцип Галилея не выполняется в неинерциальной системе отсчета.***

Остановим точку М, находящуюся под действием физических сил

относительно подвижной системы отсчета. Тогда

Чтобы точка осталась в покое, ее относительное ускорение должно отсутствовать. Согласно (7):

Таким образом, ***условием относительного покоя***  является:

Оно отличается от известного условия покоя точки в инерциальной системе

Курс лекций по ТМ А.Костарева 2011

**Условия инерцальности подвижной системы.**

**Принцип относительности Галилея**

Покончим с мифом об уникальности гелиоцентрической инерциальной системы отсчета. Выясним, как должна двигаться система отсчета по отношению к инерциальной системе отсчета, чтобы тоже быть инерциальной, т.е., чтобы в ней соблюдались законы Ньютона. Очевидно, что для этого в подвижной системе отсчета силы инерции должны отсутствовать:

Для этого должны обратиться в ноль переносное и Кориолисово ускорения точки.

Пусть система движется поступательно, тогда

и

Чтобы в ноль обратились обе силы инерции, остается потребовать:

Таким образом, ***условием инерциальности подвижной системы отсчета*** является ее поступательное, прямолинейное и равномерное движение относительно исходной инерциальной системы.

Отсюда следует приятный вывод:

***если существует хоть одна инерциальная система, то их бесчисленное множество и все он движутсяпоступательно, прямолинейно и равномерно по отношению друг к другу.***

Во всех указанных инерциальных системах одинаково выполняются законы Ньютона.

Поэтому справедлив ***принцип относительности Галилея:***

***Никаким механическим опытом нельзя отличить одну инерциальную систему от другой.***

Курс лекций по ТМ А.Костарева 2011

**Некоторые доказательства неинерциальности геоцентрической системы.**

Поскольку Земля вращается по отношению к инерциальной гелиоцентрической системе отсчета, то пространство, связанное с Землей, не может быть инерциальным. Об этом свидетельствуют многие явления на Земле.

1. ***Сила тяжести не равна силе притяжения и зависит от широты местности***.

Рассмотрим точку массы m , находящуюся в покое вблизи поверхности Земли на геоцентрической широте φ. На нее действует физическая сила притяжения Земли массы М,

направленная к центру Земли, и подчиняющаяся закону всемирного тяготения

Здесь *-* ***ускорение силы притяжения****.*

В неинерциальной системе отсчета на покоющуюся точку действует переносная силу инерции

***Силой тяжести*** называется сумма

Точка не может оставаться в покое под действием одной силы . Подвесим точку к потолочку. Тогда точка обретет долгожданный покой под действием двух равных по модулю и противоположных по направлению сил:

Видим, что нить отвеса, как и сила тяжести , не направлена на центр Земли. Она составляет с плоскостью экватора угол ψ, называемый ***географической широтой*** местности***.*** Ввиду малой угловой скорости вращения Земли максимальная разница составляет порядка 4 градусов

ψ

φ

**P**=m**g**

**F**=m**g0**

**Фе**

**Т=-P**

N

Рис.4

R

Спроектируем уравнение относительного покоя точки

на направление отвеса

Иначе

Отсюда находим зависимость ускорения силы тяжести от широты местности

Видим, что на полюсах ускорение силы тяжести равно ускорению силы притяжения

Ускорение силы тяжести достигает минимума на экваторе

Действие центробежных сил инерции со временем превратило Землю в ***геоид***, сплющенный на полюсах. Смотрите видео

***<http://www.youtube.com/watch?v=nGvKrsR6BBg>***

Курс лекций по ТМ А.Костарева 2011

1. ***Размыв берегов рек***

Пусть река в северном полушарии течет с юга на север с относительной скоростью . Выделим объем воды массы m между двумя сечениями реки, перпендикулярными руслу. С массой m совместим начало координат: направим на юг, на восок, по вертикали.

**ω**

**V**r

**R**

y

z

**Wс**

c

**Ф**c

**P**

**W**r

x

На массу m действуют: сила тяжести включает в себя переносную силу инерции и направлена в плоскости

реакция русла  и кориолисова сила инерции **,** направленная на восток, противоположно кориолисову ускорению .

Относительное ускорение направлено к центру Земли, поскольку масса m движется равномерно по окружности меридиана.

Уравнение относительного движения массы m

спроектируем на ось у:

Отсюда

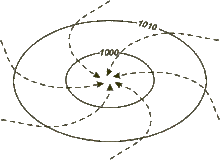
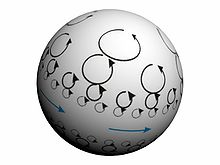
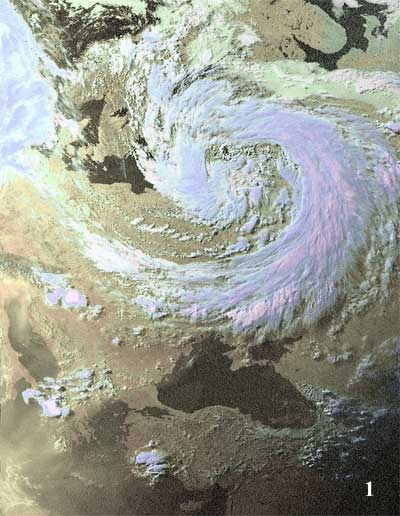
Это значит, что реакция берега отклонена на Запад восточным (правым) берегом реки. Давление реки такого же модуля размывает правый берег. Если река течет на юг, то размывается западный (тоже правый) берег. Итак, у всех рек в северном полушарии размываются правые берега. По той же причине в северном полушарии больше изнашиваются правые рельсы железных дорог.

В южном полушарии размываются левые берега рек и изнашиваются больше левые рельсы.

Таким образом, при движении точки в северном полушарии она всегда откланяется вправо. Если этому отклонению препятствуют связи (берега, рельсы), то связи испытывают дополнительное давление. Если связей нет, то движение приобретает специфический характер, который зависит от направления относительной скорости.

Так, все океанические течения в северном полушарии движутся по часовой стрелке. В южном полушарии течения направлены против часовой стрелки.

В таких явлениях как водоворот воды и атмосферный циклон частицы движутся радиально к центру водоворота или циклона, где находится область низкого давления.

В северном полушарии радиальная относительная скорость частиц вызывает их отклонение направо, образуя циклоны, вращающиеся против часовой стрелки. В южном полушарии циклоны вращаются по часовой стрелке.

При достаточной площади водной поверхности, эффект закручивания можно наблюдать и в домашних условиях. Воронка воды, сливаемой из ванны в Северном полушарии, должна закручиваться против часовой стрелки, а в Южном — по часовой

Однако часто площадь воды, устремляющейся к центру слишком мала, чтобы влияние силы Кориолиса успело проявиться. Большее влияние может оказать форма самой раковины. Поэтому как в Южном, так и в Северном полушарии воронка в раковине может закручиваться как по часовой, так и против часовой стрелки.

Направление вращения циклонов легко запомнить, если понять, что они вращаются в сторону вращения Земли, как мы его видим из своего полюса: Северного, или Южного.

Страшное землетрясение у берегов Японии 11.03.2011 вызвало цунами и водоворот, который вращался против часовой стрелки.

***3.Отклонение падающей точки***

Рассмотрим материальную точку, падающую с высоты h на Землю из состояния

относительного покоя. Пусть, для простоты, это происходит на экваторе. Уравнение относительного движения:

h

z

x

m**g**

**ω**

**Vr**

В силу тяжести включена переносная сила инерции

Кориолисово ускорение направлено на запад (против оси y).

Проектируем уравнение (13) на подвижные оси: юг, восток, вертикаль

С учетом того, что , находим

Поскольку Земля вращается медленно

то можно считать, что

В момент падения T:

Интегрируя уравнение на у, получаем:

Из начальных условий

Теперь

В момент падения отклонение точки на восток достигает значения

Курс лекций по ТМ А.Костарева 2011