1.2. Инерциальные системы отсчета и законы Ньютона.

1.2.1. Инерциальные системы отсчета (ИСО).

Классическая механика Галилея-Ньютона строится на законах, полученных на опыте и представленных в виде принципов Ньютоном. Удобно и необходимо выбрать такую систему отсчета, чтобы законы механики выглядели наиболее просто. Такую систему отсчета позволяет выбрать *первый закон Ньютона*. Именно первый закон Ньютона предполагает существование *инерциальных систем отсчета* (ИСО).

Существует такая система отсчета, в которой материальная точка, если исключить ее взаимодействие со всеми иными телами, будет двигаться по инерции, т.е. сохранять свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Такая система носит название ИСО, таким образом, ИСО связана с движением этих *свободных* тел. Все остальные системы отсчета – неинерциальные системы отсчета.

Свободное тело (тело или материальная точка без взаимодействия) – это идеализация, свободных тел, строго говоря, нет в природе. Так как ИСО связана со свободным телом, то и инерциальная система отсчета – идеализация. Утверждение о существовании таких ИСО, хотя бы в принципе, – один из основных законов природы. Важно, что можно ввести бесконечное множество ИСО, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, т.е. с постоянной скоростью, но по физическим свойствам все они эквивалентны. В этом смысле нет выделенной, или иначе абсолютной ИСО.

Примечание 1. *Галилео Галилей, итальянский физик, 1564–1642*

1.2.2. Законы Ньютона.

Итак, основные принципы (законы) механики были сформулированы Ньютоном. Кратко повторим эти принципы, т.е. *законы Ньютона*:

1) *Первый закон Ньютона.* Если сумма всех сил действующих на тело равна нулю, то тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Значение этого закона становится ясно из первого пункта этого параграфа, когда рассматривали инерциальные системы отсчета.

2) *Второй закон Ньютона*: основное уравнение динамики – ускорение тела $\vec{a} = d\vec{v}/dt$ пропорционально приложенной к телу силе:

$$m\vec{a} = \vec{F} \qquad \text{или} \qquad m\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} \tag{1.2.1}$$

где $\vec{F}$ – равнодействующая всех сил, действующих на тело. Напомним, что здесь скорость определяется как производная от радиус-вектора точки или тела $\vec{r} = \vec{r}(t)$ по времени: $\vec{v} = d\vec{r}/dt$, поэтому ускорение есть вторая производная от радиус-вектора: $\vec{a} = d^2\vec{r}/dt^2$. Масса m здесь выступает как коэффициент пропорциональности, который определяет меру инертности тела.

Часто второй закон Ньютона записывают через *импульс* тела $\vec{p} = m\vec{v}$:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \tag{1.2.2}$$

Второй закон Ньютона служит для определения единиц силы, поскольку все остальные единицы уже определены. В системе СИ сила измеряется в Ньютонах:

$$Н = \frac{кг \cdot м}{с^2}$$

В системе СГС (CGS) сила измеряется в Динах:

$$Дн = \frac{г \cdot см}{с^2}.$$

Связь между единицами силы определяется соотношением $1Н = 10^5\,Дн$.

3) *Третий закон Ньютона*: Во взаимодействии двух тел каждое из них действует на другое тело с одинаковой по значению, но противоположной по направлению силой.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \tag{1.2.3}$$

Законы Ньютона позволяют описывать основные явления и решать задачи динамики в классической механике.

1.2.4. Реализация ИСО.

Выбор ИСО на практике зависит от точности описания того или иного явления или задачи. Рассмотрим несколько систем отсчета, которые с различной точностью можно рассматривать как инерциальные.

1) Для обычных механических задач часто рассматривают систему отсчета, связанную с поверхностью Земли, как инерциальную. При этом можно считать ускорение силы тяжести постоянным и примерно равным $g \approx 9.8$ $м/с^2$ = 980 $см/с^2$. Но для более строгих рассмотрений необходимо учитывать, что Земля вращается и все тела, находящиеся на поверхности Земли движутся с ускорением, причем различным на экваторе и на полюсе. Поэтому система отсчета, связанная с поверхностью Земли – неинерциальная. С какой точностью?

   Рассмотрим положение тела на экваторе. Ускорение (центростремительное) a_n, связанное с вращением Земли с угловой скоростью ω ($\omega = d\varphi/dt = v/R_З$, φ – угол поворота Земли) определяется:

$$a_n = \omega^2 R_З = \frac{v^2}{R_З} \tag{1.2.4}$$

   где $R_З$ – радиус Земли: $R_З$ = 6.4·10³ *км* = 6.4·10⁸ *см*. Оценим угловую скорость вращения Земли, зная, что время оборота Земли вокруг оси ($\varphi = 2\pi$) составляет T = 1 сутки = 24·60·60 *с* = 86400 *с*:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \approx \frac{6.28}{86400} \approx 0.7 \cdot 10^{-4} \left[\frac{Рад}{с}\right] \tag{1.2.5}$$

   Подставляя в (1.2.5), получаем оценку ускорения на экваторе:

$$a_n = 0.49 \cdot 10^{-8} \cdot 6.4 \cdot 10^{8} = 3.2 \left[\frac{см}{с^2}\right] \tag{1.2.6}$$

   Центростремительное ускорение меняется при изменении широты, а на полюсе равно 0. Таким образом, получили, что с такой точностью система отсчета, связанная с поверхностью Земли, может считаться инерциальной, поскольку ускорение силы тяжести на полюсе отличается от ускорения силы тяжести на экваторе на величину ~ 3.2 $см/с^2$.

2) Рассмотрим неинерциальность системы отсчета, связанной с центром Земли. Земля вращается вокруг Солнца, что дает поправку на ускорение величину на порядок меньшую. Период обращения Земли вокруг Солнца T = 1 *год* = $3 \cdot 10^7$ *с*. Радиус орбиты Земли R_O = $1.5 \cdot 10^{13}$ *см*. Тогда ускорение центра Земли при вращении вокруг Солнца равно:

$$a_З = \omega^2 R_O \approx \frac{(6.28)^2}{9 \cdot 10^{14}} 1.5 \cdot 10^{13} = 0.6 \left[\frac{см}{с^2}\right] \tag{1.2.7}$$

   Эту поправку необходимо учитывать, если рассматриваем движение космических объектов с точностью до 10^{-4}.

3) Система отсчета, связанная с центром Солнца – это инерциальная система отсчета с высокой точностью. В самом деле, скорость движения Солнца $v_С \approx 3 \cdot 10^5$ $м/с$ и ускорение Солнца вокруг центра Галактики:

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{9 \cdot 10^{10}}{3 \cdot 10^{20}} \sim 3 \cdot 10^{-10} \left[\frac{м}{с^2}\right] \tag{1.2.8}$$

Получаем ничтожно малое ускорение, и с такой точностью центр Солнца является инерциальной системой отсчета.