**Задача.**

Грузы массами *M* и *m* связаны лёгкой нерастяжимой нитью, переброшенной через блок, по которому нить может скользить без трения (см. рисунок). Груз массой *M* находится на шероховатой наклонной плоскости (угол наклона плоскости к горизонту α, коэффициент трения μ). Исходное состояние - покой.

Рассчитать неизвестные величины по заданным спустя время t после начала движения.

Обозначения:

a - ускорение грузов,

h - высота, на которую поднялся (или опустился груз m,

v - скорость грузов,

s - путь, пройденный грузом М,

Еk - кинетическая энергия системы.

ΔЕ - изменение потенциальной энергии груза М.

T - сила натяжения нити.

Fтр - сила трения.

А – работа силы трения.

**Анализ.**

Решение любой физической задачи начинается с анализа её условий: объектов (тел) и взаимодействий между ними, обусловливающих происходящие явления.

1. **Анализ взаимодействия тел и выявление сил, действующих на каждое тело.**

На правый груз действуют:

Земля – сила тяжести m**g**,

нить – сила натяжения **Т.**

На левый груз действуют:

Земля – сила тяжести M**g**.

Нить – сила натяжения **Т.**

Наклонная плоскость – сила **F1**.

Каждую из сил M**g** и **F1** обычно разлагают на две взаимно перпендикулярные компоненты – вдоль наклонной плоскости и перпендикулярно ей. Компоненты, перпендикулярные плоскости, компенсируют друг друга и в решении задачи не участвуют.

Проекция силы тяжести, параллельная наклонной плоскости и направленная вниз, часто называется скатывающей Fск. Именно она может привести в движение тело, расположенное на наклонной плоскости.

Fск = Mg∙sinα. (1)

Проекция силы, действующей со стороны наклонной плоскости перпендикулярно ей, называется обычно реакцией опоры N.

N = Mg∙cosα. (2)

Проекция силы, действующей со стороны наклонной плоскости параллельно ей, называется (является) силой трения – Fтр.

Fтр = μN = μMg∙cosα. (3)

Направления сил **T** и **F**ск не зависят от масс грузов, сила **T** всегда направлена вправо, сила **F**ск – влево. Направления ускорения и силы трения зависят от соотношения масс грузов и угла наклона плоскости.

Отличительная черта силы трения – её зависимость от характера движения (от величины силы, приложенной к телу). Считается, что при движении с любой скоростью она принимает значение, определяемое формулой (3). Это трение скольжения. Если на тело действует сила, меньшая данной величины, то тело покоится. Движению препятствует сила трения покоя, равная по модулю действующей силе.

В связи с этим уравнение движения левого груза в проекциях на ось, параллельную плоскости, оказывается различным для трех случаев.

Все действующие силы не меняются в процессе движения, следовательно не меняется и характер движения (покой, равноускоренное прямолинейное…).

1. **Выбор системы отсчета.**

Система отсчета выбирается человеком, решающим задачу, исходя главным образом из удобства (простоты) решения.

В задачах с наклонной плоскостью *телом отсчета* можно считать Землю или жестко связанную с ней саму наклонную плоскость.

Для каждого тела может быть выбрана отдельная *система координат*.

Направления осей координат выбирается так, чтобы большинство векторных величин было сонаправлено с ними, или так, чтобы направление движения тела совпадало с положительным направлением одной из осей координат.

Вначале система координат может быть выбрана интуитивно, исходя из предыдущего опыта решающего.

*Часы.* Текстом задачи обычно задаются начальные условия, т. е. характеристики системы в момент запуска часов: *t* = 0.

В нашей задаче начальным состоянием системы тел является покой – все кинематические величины (путь, перемещение, скорость, ускорение) всех тел равны нулю.

1. **Выбор системы координат.**

а) Правый груз.

На него действуют две силы, направленные вертикально. Следовательно, их сумма (результирующая сила) также будет направлена вертикально. При движении из состояния покоя тело будет двигаться также в вертикальном направлении прямолинейно. Для решения задачи достаточно выбрать одномерную систему координат с одной осью. За положительное направление оси примем направление вертикально вверх.

б) Левый груз.

Исходя из анализа сил, сделанного выше, достаточно выбрать также одномерную систему координат с осью, направленной вдоль наклонной плоскости. За положительное направление примем вправо вверх.

**Решение.**

Основой решения задач на движение системы тел является второй закон Ньютона (уравнение движения) – **F** = m**a***,* которое записывается для каждого тела системы отдельно.

а) Правый груз.

Уравнение движения (второй закон Ньютона):

m**a** = **T** + **F**т

Уравнение движения в проекциях на вертикальную ось

ma = T – mg,

откуда

 T = m(g + a). (4)

\*При движении вниз ускорение со знаком «-».

б) Левый груз.

Уравнение движения (второй закон Ньютона) в векторной форме:

M**a** = **T** + **F**ск + **F**тр

Как было сказано выше, уравнение движения левого груза в проекциях на ось, параллельную плоскости, имеет разный вид для трех случаев.

А. Если модуль разности сил тяжести правого груза и скатывающей меньше силы трения скольжения (максимальной силы трения покоя)

$\left|m-Msinα\right|<μMcosα$,

то движения не будет, а = 0.

Если скатывающая сила равна силе по модулю тяжести правого груза,

Mg∙sinα = mg,

то к левому грузу оказываются приложены две силы, равные по величине и направленные противоположно, т. е. их сумма рана нулю. В этом случае сила трения покоя также равна нулю. Значит система покоится, а = 0.

Б. Если сила тяжести правого груза больше суммы скатывающей силы и силы трения скольжения, начнется движения – правого вниз, левого вправо. Уравнение движения левого груза имеет вид:

Ma = T – Mg(sinα + μ∙cosα).

Для правого груза

T = m(g – a).

Тогда

Ma = m(g – a) – Mg(sinα + μ∙cosα).

$a=g\frac{m-M(sinα + μcosα)}{M+m}$. (5)

B. Если скатывающая сила больше суммы силы тяжести правого груза и силы трения скольжения (максимальной силы трения покоя), начнется движения – левого влево, правого вверх. Уравнение движения левого груза имеет вид:

Ma = T – Mg(sinα - μ∙cosα).

Для правого груза

T = m(g + a).

Тогда

Ma = m(g + a) – Mg(sinα - μ∙cosα).

$a=g\frac{m-M(sinα- μcosα)}{M+m}$. (6)

Ускорение левого груза при этом выбранном положительном направлении координатной оси (вправо) ускорение получится со знаком «-».

Определив ускорение тел, можно затем рассчитать другие кинематические величины в заданный момент времени, а также энергию и ее изменение.

Формулы (5) и (6) содержат несколько переменных величин: a, m, M, α, µ. Поэтому возможны разные задачи с разным набором известных и неизвестных величин из этого набора.