Следовательно, условие возможности подъема записывается в виде неравенства

$$T\cos\beta \le \mu\left(mg + T\sin\beta\right). \qquad (2)$$

Для определения силы натяжения троса запишем условие равновесия для моментов сил относительно точки опоры

$$Tl\sin\beta = mg\frac{h}{2}\cos\alpha\,, \qquad (3)$$

здесь $l\sin\beta$ плечо силы натяжения троса. Из этого уравнения найдем

$$T = \frac{mg\cos\alpha}{4\sin\beta}$$

и подставим в неравенство (2), которое упрощается

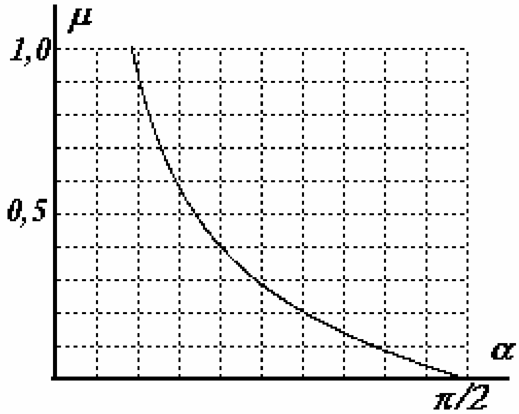
$$\mu \ge \frac{\cos\alpha}{\left(4+\cos\alpha\right)tg\beta}. \qquad (4)$$

Тангенс угла β выразим из треугольника ABE

$$tg\beta = \frac{h\sin\alpha}{l + h\cos\alpha} = \frac{\sin\alpha}{2+\cos\alpha}\,. \qquad (5)$$

Окончательно, получаем требуемое условие

$$\boxed{\mu \ge \frac{\left(2+\cos\alpha\right)\cos\alpha}{\left(4+\cos\alpha\right)\sin\alpha}. \qquad (6)}$$



Можно показать (на рис. показан ее график), что стоящая справа функция является монотонно убывающей, поэтому, если скольжение не началось в начальный момент подъема (при минимальном значении угла α), то оно не начнется и позже.

11.4 При взаимном движении колец будет изменяться магнитный поток поля, создаваемого одним кольцом, через другое, что приведет к появлению ЭДС индукции и, следовательно, изменению силы тока, что, в свою очередь, вызовет возникновение ЭДС самоиндукции. Так кольца являются сверхпроводящими, то суммарная ЭДС должна быть равна нулю. Из закона электромагнитной индукции

$$E = -\frac{d\Phi}{dt} = 0\,, \qquad (1)$$

следует постоянство магнитного потока через каждое кольцо. Когда кольца будут разнесены на очень большое расстояние, этот поток будет создаваться только током в самом кольце. В начальном состоянии поток создавался током силой $2I_0$, следовательно, при удалении колец ток в каждом из них увеличится в два раза, то есть станет равным $2I_0$. Работа по разнесению колец пойдет на увеличение энергии магнитного поля, поэтому будет равна

$$A = 2\frac{L\left(2I_0\right)^2}{2} - \frac{L\left(2I_0\right)^2}{2} = 2LI_0^2. \qquad (2)$$

11.5 Запишем уравнение перового начала термодинамики

$$Q = \Delta U + A. \qquad (1)$$

Для адиабатного процесса $Q = 0$, кроме того, для идеального газа внутренняя энергия не зависит от объема газа, поэтому изменение внутренней энергии газа задается формулой $\Delta U = C_V \Delta T$. Так как в нашем случае теплоемкость газа изменяется, необходимо рассматривать малые интервалы изменения температуры. Традиционное выражение для совершенной газом работы $A = P\Delta V$ необходимо преобразовать с использованием уравнения состояния идеального газа $PV = RT$. Таким образом, в рассматриваемом случае уравнение (1) принимает вид

$$C_V \Delta T + \frac{RT}{V}\Delta V = 0, \qquad (2)$$

из которого выразим зависимость изменения объема от изменения температуры

$$\Delta V = -V\frac{C_V \Delta T}{RT} = -cV\frac{\Delta T}{T}, \qquad (3)$$

где обозначено $c = \frac{C_V}{R}$ - величина, приведенная на графике.

Уравнение (3) необходимо решать численно, разбивая заданный диапазон изменения температуры на небольшие интервалы ΔT. Для увеличения точности расчетов в качестве c и T следует брать средние значения этих величин на выбранном интервале. Если мы пронумеруем точки разбиения диапазона индексом k, то схему расчетов можно представить в виде

$$\begin{aligned} &\Delta V = -\frac{c_k + c_{k+1}}{2}V_k\frac{2\Delta T}{T_k + T_{k+1}} = -V_k\frac{c_k + c_{k+1}}{T_k + T_{k+1}}\Delta T; \\ &V_{k+1} = V_k + \Delta V; \qquad P_k = \frac{RT_k}{V_k} \end{aligned}. \qquad (4)$$

В таблице представлены результаты расчетов, проведенные при шаге $\Delta T = -50K$. Отрицательное значение этой величины обусловлено начальным условием - объем задан при максимальной температуре.

При расчетах на калькуляторе удобнее сначала подсчитать значения всех объемов, а уже затем соответствующие значения давлений.

T, K	$\bar{c}$	$V, л$	$\Delta V, л$	$P, \left(10^5\, Па\right)$