Вычисляя с помощью (12) скорости $u_1 = 19{,}9\frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $u_2 = 28{,}3\frac{\text{м}}{\text{с}}$ и подставляя полученные значения в (14), окончательно найдем

$$H_2 = 1{,}6 \cdot 10^2 \text{ м}. \qquad (14)$$

Из сравнения (14) и (6) видим, что численное значение для высоты башни стало меньше в случае «равноускоренно-равномерного» движения. Это нисколько не удивительно, т.к. сила сопротивления воздуха создает «парашютный эффект», увеличивая время падения капли с данной высоты (средняя скорость падения уменьшается). Таким образом, капля успевает кристаллизоваться и при падении с меньшей высоты, чем в случае только равноускоренного движения.

В заключение заметим, что выражение (10) не имеет смысла при больших значениях $u$, поскольку при этом высота башни $H$ получается отрицательной. Это имеет очевидный физический смысл — в нашей модели высота башни изначально предполагалась достаточной для того, чтобы капля «успела» разогнаться до постоянной скорости $u$. В противном случае будет отсутствовать участок равномерного движения капли. Сформулируем критерий достаточности количественно

$$H \geq H^* = S_1. \qquad (15)$$

***<u>Задание 3. «Храбрый Мюнхгаузен»</u>***

После начала действия внешней силы правый груз $m$ (следовательно и вся система) некоторое время $t_1$ будет оставаться в покое, поскольку сила трения покоя между плоскостью и грузом сможет компенсировать внешнюю движущую силу $F(t)$.

Соответственно этот этап «покоя» (участок $1-2$ на рис.22) прекратится, когда внешняя сила достигнет максимального значения силы трения покоя $F_0 = \mu mg$ (явлением застоя пренебрежем)

$$\alpha t_1 = \mu mg = F_0 \;\Rightarrow\; t_1 = \frac{F_0}{\alpha} = 20\,c. \qquad (1)$$

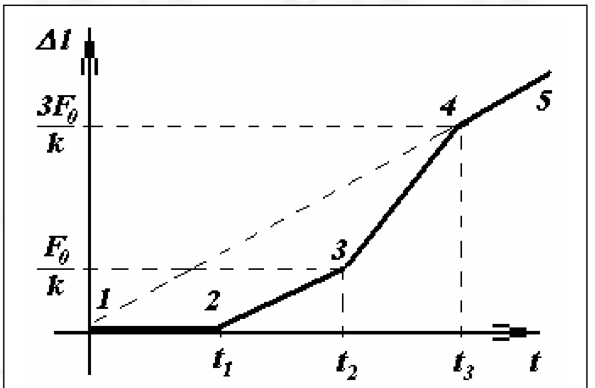

Рис. 22

Таким образом, спустя время $t_1$ после начала действия силы правый груз начнет скользить медленно скользить по плоскости, растягивая при этом правую (первую) пружину.

Будем считать, что при подобном «медленном» скольжении груз в любой момент времени находится в равновесии под действием постоянной силы трения скольжения $F_0$ и переменной силы упругости первой пружины $F_{y1}(t) = k\,\Delta l_1(t)$

$$\alpha t = F_0 + k\Delta l_1(t) \;\Rightarrow\; \Delta l_1(t) = \frac{\alpha t - F_0}{k}. \qquad (2)$$

Поскольку (2) представляет собой уравнение прямой, то на этом этапе (участок $2-3$ на рис.21) абсолютная деформация системы $\Delta l(t) = \Delta l_1(t)$ будет линейно увеличиваться со временем. Этот этап продолжится до момента времени $t_2$, когда в движение придет средний груз, т.е. когда сила упругости правой пружины превысит величину $F_0$

$$k\,\Delta l_1(t_2) = F_0 \;\Rightarrow (2) \Rightarrow\; \alpha t_2 - F_0 = F_0 \;\Rightarrow\; t_2 = \frac{2F_0}{\alpha} = 39\,c \qquad (3)$$

Далее понятно, что после начала движения центрального груза начнет деформироваться и левая (вторая) пружина. Если ее абсолютная деформация $\Delta l_2(t)$, то из условия равновесия центрального груза получим (не будем забывать, что на центральный груз также действует постоянная сила трения скольжения $F_0$)

$$k\,\Delta l_2(t) + F_0 = k\,\Delta l_1(t) \;\Rightarrow\; \Delta l_2(t) = \Delta l_1(t) - \frac{F_0}{k} == \frac{\alpha t - 2F_0}{k}. \qquad (4)$$

Теперь уже абсолютная деформация системы будет равна сумме абсолютных деформаций каждой из пружин

$$\Delta l(t) = \Delta l_1(t) + \Delta l_2(t) = \{(3),(4)\} = \frac{2\alpha t - 3F_0}{k}. \qquad (5)$$

Заметим, что (5) также представляет собой линейную зависимость (участок $3-4$ на рис.21), правда с иным (удвоенным) угловым коэффициентом.

Наконец в момент времени $t_3$, когда сила упругости левой (второй) пружины также превысит значение $F_0$, в движение придет и левый груз

$$k\,\Delta l_2(t_3) = F_0 \quad \Rightarrow \quad t_3 = \frac{3F_0}{\alpha} = 59\ c. \qquad (6)$$

Подчеркнем, что выражение (6) имеет очевидный физический смысл — в момент времени $t_3$ внешняя движущая сила станет равной максимальной силе трения покоя в системе. Таким образом, последний (левый) груз сдвинется с места через время

$$\boxed{t^* = 59\,\text{с}}.$$

Согласно построенному графику деформация системы в этот момент

$$\boxed{\Delta l^* = \frac{3F_0}{k} = 5{,}9\,\text{см}}.$$

Далее система будет двигаться как единое целое (т.е. ускорения всех грузов будут одинаковыми), и можно показать, что в этом случае ее деформация будет увеличиваться с течением времени по линейному закону (участок $4-5$ на рис.21)

$$\boxed{\Delta l(t) = \Delta l_1(t) + \Delta l_2(t) = \frac{\alpha t}{k}}. \qquad (7)$$

***<u>Задание 4. «Находчивый Мюнхгаузен»</u>***

Человек, прыгнув в лодку, сообщит ей некоторую начальную скорость $\upsilon_0$, которую можно найти из закона сохранения импульса

$$m\upsilon_{min} = (M+m)\upsilon_0 \quad \Rightarrow \quad \upsilon_0 = \frac{m\upsilon_{min}}{(M+m)}. \qquad (1)$$

Далее лодка с человеком будет скользить по инерции, постепенно замедляя свое движение под действием силы сопротивления воды. Пусть в некоторый момент времени скорость лодки $\upsilon(t)$. Согласно II закону Ньютона для движения лодки (в проекции на горизонтальное направление) с учетом определений ускорения и скорости в этом случае можем записать

$$(M+m)a = (M+m)\frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = -\alpha\,\upsilon(t) = -\alpha\frac{\Delta x}{\Delta t}. \qquad (2)$$

Умножая обе части равенства (2) на $\Delta t$, получим связь между приращением скорости $\Delta\upsilon$ за некоторый малый промежуток времени $\Delta t$ и приращением $\Delta x$ ее координаты