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 υ_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 Δt, получим связь между приращением скорости $\Delta\upsilon$ за некоторый малый промежуток времени Δt и приращением Δx ее координаты

$$\Delta \upsilon = -\frac{\alpha}{M + m}\Delta x . \qquad (3)$$

Суммируя (3) по всем малым промежуткам, получим

$$\sum_i \Delta\upsilon_i = (0-\upsilon_0) = -\frac{\alpha}{M+m}\sum_j \Delta x_j = -\frac{\alpha}{M+m}(x-x_0) \Rightarrow x-x_0 = s = \frac{(M+m)\upsilon_0}{\alpha}. \qquad (4)$$

Лодка коснется противоположного берега в результате скольжения, только в том случае, если пройдет путь

$$s = x - x_0 = L - l \quad \Rightarrow \quad \upsilon_0 = \frac{\alpha}{M+m}(L-l). \qquad (5)$$

С учетом выражения (1) из (5) окончательно получаем

$$\upsilon_{min} = \frac{\alpha(L-l)}{m} = 4{,}9\,\frac{\text{м}}{\text{с}}. \qquad (6)$$

Интересно, что в окончательное выражение (6) не вошла масса лодки M, хотя на первый взгляд кажется, что она является существенным параметром в данной задаче. Данный факт можно объяснить так: тяжелая лодка легче скользит по воде, но ее тяжелее разогнать, тогда как легкую лодку можно лучше разогнать, но она быстро теряет свою скорость в воде.

Следовательно, с практической точки зрения для успешного путешествия без весел важно «запасти» как можно больший импульс еще при разгоне по берегу.

Задание 5. «Мультиметр Мюнхгаузена»

5.1 «Амперметр – амперметр» Для измерения силы тока амперметр следует подключать в цепь *последовательно*. Минимальное R_{min} и максимальное R_{max} сопротивления цепи (т.е. суммарное сопротивление резистора и амперметра) должны соответствовать максимальному I_{max} и минимальному δI значениям силы тока

$$R_{min} = \frac{U}{I_{max}} = 18\,\text{Ом}, \quad R_{max} = \frac{U}{\delta I} = 0{,}36\,\text{кОм}. \qquad (1)$$

Соответственно пределы изменения сопротивления цепи в этом случае $R_{min} \le R \le R_{max}$.

До включения амперметра сила тока на участке цепи, подлежащая измерению, была $I_x = \frac{U}{R}$, где U — напряжение источника, R — сопротивление участка цепи. После включения в цепь амперметра сопротивлением R_A сила тока несколько уменьшится до значения

$$I = \frac{U}{R+R_A}. \qquad (2)$$

Изменение силы тока ΔI по отношению к начальному значению тока в цепи и есть *абсолютная погрешность* измерения силы тока

$$\Delta I = I_x - I = \frac{U}{R} - \frac{U}{R+R_A} = \frac{R_A}{R(R+R_A)}U. \qquad (3)$$

Для расчета по формуле (5) из возможного диапазона сопротивлений выберем R_{min}, поскольку в этом случае погрешность максимальна

$$\Delta I = 0{,}011 = 1{,}1\%. \qquad (4)$$