



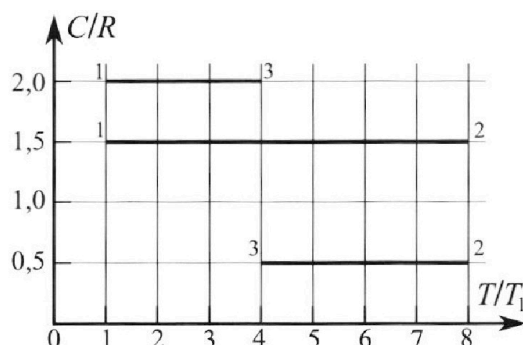
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

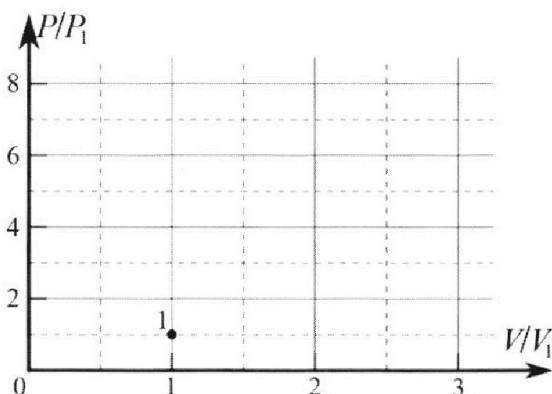
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 равна $T_1 = 200$ К, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

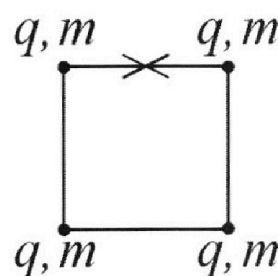


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной a (см. рис.). Сила натяжения каждой нити T .

- 1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика. Одну нить пережигают.
 - 2) Найдите кинетическую энергию K любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.
 - 3) На каком расстоянии d от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных сверху (на рисунке)?
- Электрическая постоянная ε_0 . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.





Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-02

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



1. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Вектор начальной скорости мяча образует угол $\alpha = 45^\circ$ с горизонтальной плоскостью. Горизонтальное перемещение мяча за время полета $L = 20$ м.

1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

Если футболист направляет мяч под различными углами к горизонту, из той же точки с начальной скоростью V_0 к высокой вертикальной стенке, то наибольшая высота, на которой происходит соударение мяча со стенкой, равна $H = 3,6$ м.

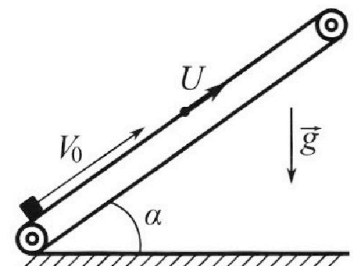
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin \alpha = 0,6$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 6$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = 0,5$.

Движение коробки прямолинейное.



1) Какой путь S пройдет коробка в первом опыте к моменту времени $T = 1$ с?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 1$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 6$ м/с (см. рис.).

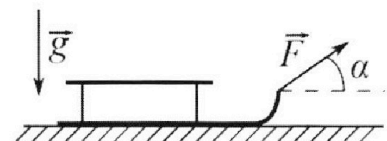
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

3) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же кинетической энергии K на одинаковых участках пути.

В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения кинетической энергии K действие внешней силы прекращается.



1) Найдите коэффициент μ трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Найдите перемещение S санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения g . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

максимум достигается в вершине parabолы

~~тогда $\tan \alpha = \dots$~~

$$y = S \tan \beta - \frac{g S^2}{2 v_0^2} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \tan^2 \beta$$

$$\tan \beta_1 = \frac{-S}{-\frac{g S^2}{v_0^2} \cdot 2} = \frac{v_0^2}{g S} \cdot S = \frac{v_0^2}{g S}$$

β_1 - угол, при котором H - max

$$f(\tan \beta_1) = H \Leftrightarrow S \cdot \frac{v_0^2}{g S} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot \frac{v_0^4}{g^2 S^2} =$$

$$= \frac{v_0^2}{g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2}{g} = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2}$$

$$\frac{g S^2}{2 v_0^2} = \frac{v_0^2}{2g} - H \Leftrightarrow g S^2 = \frac{v_0^3}{g} - 2 v_0^2 H$$

$$\frac{g S^2}{2 v_0^2} = \frac{v_0^2}{2g} - H$$

$$\frac{g S^2}{2 v_0^2} = \frac{200}{2 \cdot 10} - 3,6 = 10 - 3,6 = 6,4$$

$$\frac{S^2 \cdot 10}{2 \cdot 200} = 6,4 \Leftrightarrow S^2 = 40 \cdot 6,4 = \frac{40 \cdot 64}{10} = 2^2 \cdot 8^2 =$$

$$= 16^2 \Leftrightarrow S = 16 \text{ м}$$

Ответ: 1) $v_0 = 14,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; 2) $S = 16 \text{ м}$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

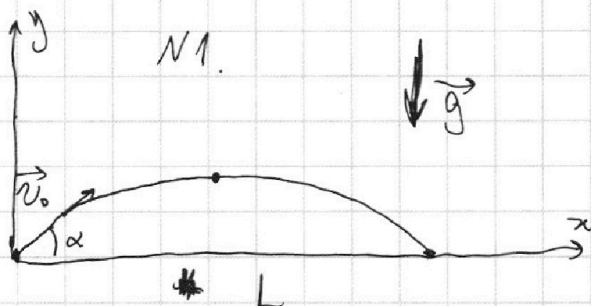
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Ans:

$$\alpha = 95^\circ$$
$$L = 20.4$$


$$y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

Wenn $y=0$, ~~was~~^{also} muss y sein?

$$v_0 \sin \alpha t - \frac{g t}{2} = 0 \quad (\text{for } t \neq 0) \quad \Rightarrow \quad v_0 \sin \alpha = \frac{g t}{2} \quad (\because \quad t = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g})$$

$$L = t \cdot v_x = t \cdot v_0 \cos \alpha = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$v_0 = \sqrt{Lg} = \sqrt{20 \cdot 10} = 10\sqrt{2} \approx 14,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Пусть β -угол к горизонту, под которым брошен камень.

$$x = v_0 \cos \beta t$$

$$(2) \quad t = \frac{r}{v_0 \cos \theta}$$

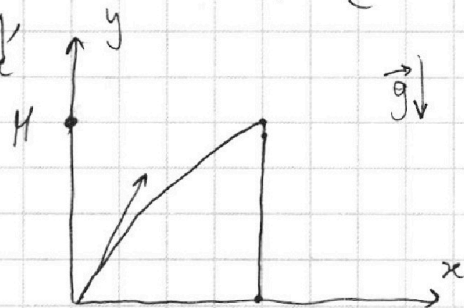
$$y = v_0 \sin \theta t - \frac{gt^2}{2} =$$

$$= x \operatorname{tg} \beta - \frac{g \cdot x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \beta} = x \operatorname{tg} \beta - \frac{g x^2}{2 v_0^2} (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) \quad (c)$$

$$= x \cdot t g \alpha = \frac{g x^2}{2 v_0^2} (1 + \tan^2 \alpha) - x \cdot t g \alpha + y = 0$$

$$y = x \tan \beta - \frac{g x^2}{2v_0^2} (1 + \tan^2 \beta)$$

geg $y = f(\tan \beta)$ häufigem max $f(\tan \beta)$



1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Дано:

$$\sin \alpha = 0,6$$

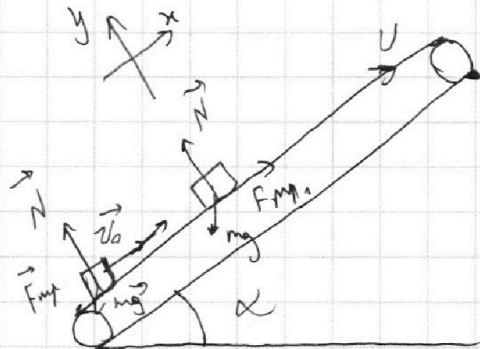
$$v_0 = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\mu = 0,5$$

$$T = 1 \text{ с}$$

1) 5-?

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - 0,6^2} = 0,8$$



Запишем 3. Ньютона:

$$Oy: N = mg \cos \alpha$$

Ox:

$$mg \sin \alpha + F_{\text{тр}} = ma$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$$

$$a = g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = 10 \cdot (0,5 \cdot 0,8 + 0,6) = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

(T₂ - время, которое пройдет до остановки)

Коробка остановилась (v₁ = 0)

$$v_1 = v_0 - g T_2 \quad v_1 = 0 \Rightarrow T_2 = \frac{v_0}{g} = 0,6 \text{ с}$$

(S₁ - путь за T₂)

$$S_1 = v_0 T_2 - \frac{a T_2^2}{2} = 6 \cdot 0,6 - \frac{10 \cdot 0,6^2}{2} =$$

$$= 0,6(6 - 5 \cdot 0,6) = 0,6 \cdot 3 = 1,8 \text{ м}$$

Запишем 3. Ньютона, когда коробка движется вниз: (сила трения будет направлена вверх по склону)

$$Oy: N = mg \cos \alpha$$

$$mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = ma_1 \Leftrightarrow$$

$$a_1 = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) =$$

$$= 10 \cdot (0,6 - 0,5) = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

(S₂ - путь за T - T₂)

$$S_2 = \frac{a_1 \cdot (T - T_2)^2}{2} = 0,4^2 = 0,16 \text{ м}$$

так как S₂ < S₁, то коробка не меняет нач. положения.

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$S = S_1 + S_2 = 1,96 \text{ м}$$

а 2) a_3 - ускорение коробки при движении вверх (во втором случае)

$$a_3 = a = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$U = v_0 - a_3 \cdot T_1 \Leftrightarrow T_1 = \frac{v_0 - U}{a} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ с}$$

3) после достижения скорости U коробка начнет движение вниз с ускорением $a' = a_1 = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ (т.к. сила трения будет действовать вверх по склону α).

$$0 = U - a' T_2 \Leftrightarrow T_2 = \frac{U}{a'} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ с}$$

$$S_1' = v_0 T_1 - \frac{a_3 T_1^2}{2}$$

$$= 5 \cdot 0,5 - \frac{10 \cdot 0,5^2}{2} =$$

$$= 2,5 - 1,25 = 1,25 \text{ м}$$

$$S_2' = \frac{a' T_2^2}{2} = \frac{2 \cdot 2,5^2}{2} = 6,25 \text{ м}$$

$$L = S_1' - S_2' = 1,25 - 6,25 = -5 \text{ м}$$

Ответ: $S = 1,96 \text{ м}$; $T_1 = 0,5 \text{ с}$; $L = 1,5 \text{ м}$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

После прекращения ^{действия} силы F на санки действует
в проекции на ось Ox только $F_{\text{тр}} = \mu mg$

Запишем ЗУЭ:

$$\Delta F_x \approx K = \mu mg \cdot S \Rightarrow S = \frac{K}{\mu mg} = \frac{K}{mg} \cdot \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

$$\text{Ответ: } 1) \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}; S = \frac{K}{mg} \cdot \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

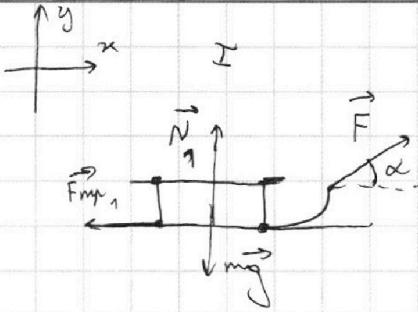
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

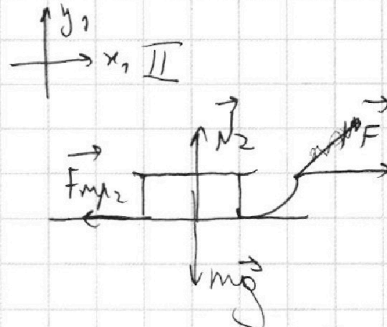
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



N3.



Запишем II закон Ньютона для I случая.

$$\vec{N}_1 + m\vec{g} + \vec{F} + \vec{F}_{\text{тр}1} = 0$$

0y:

$$N_1 - mg + F \sin \alpha = 0 \Rightarrow N_1 = mg - F \sin \alpha$$

$$F_{\text{тр}1} = \mu N_1 = \mu(mg - F \sin \alpha)$$

Запишем II закон Ньютона для II случая.

0y1:

$$N_2 = mg$$

$$F_{\text{тр}2} = \mu N_2 = \mu mg$$

~~Итак, кинетическая энергия в конце движения,~~

$$A_{F_{\text{тр}1}} = -S_1 \cdot F_{\text{тр}1}; A_F = F \cdot S_1 \cos \alpha; A_{F_{\text{тр}2}} = -S_1 \cdot F_{\text{тр}2};$$

$$A_F = F \cdot S_1 \quad (S_1 - \text{длина пути, пройденного санками} \quad \text{или действующим } F)$$

Итак, кинетическая энергия санок у брусков:

$$A_F + A_{F_{\text{тр}1}} = A_F + A_{F_{\text{тр}2}} \Rightarrow F \cdot S_1 \cos \alpha - S_1 \cdot \mu(mg - F \sin \alpha) =$$

$$= F \cdot S_1 - S_1 \cdot \mu mg$$

$$\Rightarrow F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha = F - \mu mg$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{F(1 - \cos \alpha)}{F \sin \alpha} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Дано:
 $\nu = 1 \text{ моль}$
 $T_1 = 200 \text{ К}$
 $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
 $i = 3$

~4.

$$1) Q_{31} = C \cdot \Delta T_{31} = \cancel{C \cdot (T_1 - T_2)} C \cdot (T_1 - T_2) =$$

$$= -3CT = \Delta U_{31} + A'_{31} =$$

$$= -\frac{3}{2} \cdot R \cdot (T_1 - T_2) + A'_{31} \Rightarrow$$

$$A'_{31} = -3 \cdot 2R \cdot T_1 + \frac{3}{2} RT_1 \cdot (T_1 - T_2) =$$

$$= -6RT_1 + \frac{9}{2} RT_1 = -10,5 RT_1$$

$$2) A'_{31} = -6RT_1 + \frac{9}{2} RT_1 = -1,5 RT_1$$

A'_{31} - работа газа, ~~равная~~ $A_{31} = -A'_{31} = 1,5 RT_1 =$

$$= 1,5 \cdot 8,31 \cdot 200 = 24,93 \cdot 100 = 2493 \text{ Дж}$$

$$3) \text{ С} \rightarrow \text{В процессе 1-2} \quad C_{12} = 1,5R = \frac{i}{2} R$$

значит процесс изохорный

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow p_2 = \frac{T_2}{T_1} p_1 = \frac{8T_1}{T_1} p_1 = 8p_1$$

рассмотрим процесс 2-3

$$Q_{23} = C \Delta T = \Delta U_{23} + A_{23} = 6,5R \Delta T - 1,5R \Delta T = 5R \Delta T$$

$$A_{23} = R \Delta T$$

Процесс с постоянной теплоёмкостью описывается формулой:

$$C = C_V \quad \frac{C - C_V}{C - C_V} = \text{const}$$

$$pV^{\frac{C - C_V}{C - C_V}} = \text{const}$$

В процессе 2-3 $C = 1,5R$

$$(2) pV^{\frac{1,5R - 0,5R}{1,5R - 0,5R}} = pV^2 = \text{const}$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

3 процесс $\kappa = 3-1$ $C = 2R$, газим

$$p V^{\frac{2+2,5}{2-1,5}} = p V^{\frac{-0,5}{0,5}} = p V^{-1} = \frac{p}{V} = \text{const}$$

в процессе 2-3

$$(2) \quad p V^2 = \text{const} \quad \text{и} \quad T \cdot V = \text{const} \Rightarrow V \cdot T = \text{const}$$

$$V_2 \cdot 8 T_1 = V_3 \cdot 4 T_1 \Leftrightarrow V_3 = 2 V_2$$

~~$$p_2 V_2 = \sqrt{RT_2} = 8 \sqrt{RT_1} \Leftrightarrow p_1 V_2 = 8 \sqrt{RT_1} \Leftrightarrow V_2 = \frac{8 \sqrt{RT_1}}{p_1}$$~~

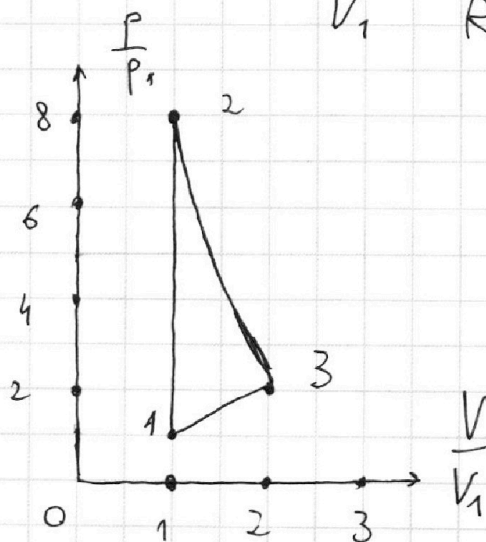
$$V_2 = V_1 \quad \text{т.к. 1-2 изохорный процесс}$$

$$V_3 = 2 V_1$$

$$p_3 V_3 = \sqrt{RT_3} \Leftrightarrow p_3 \cdot 2 V_1 = R \cdot 4 T_1 \Leftrightarrow$$

$$p_3 = \frac{2 T_1 R}{V_1} ; \quad p_1 V_1 = \sqrt{RT_1} = R T_1 \Leftrightarrow \frac{T_1}{V_1} = \frac{p_1}{R}$$

$$p_3 = 2 R \cdot \frac{p_1}{R} = 2 p_1$$





На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

☐☐☐☒☐☐☐

МОФИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

2) Найти КПД и η цикла

~~Кр. 2023~~ $Q_{12} = C_{12} \cdot (8T_1 - T_1) = 1,5R \cdot 7T_1 =$
 $= \frac{21}{2} RT_1$

~~Кр. 2023~~ $Q_{23} = C_{23} \cdot (4T_1 - 8T_1) = 0,5R \cdot -4T_1 =$
 $= -2RT_1$

$$Q_{31} = C_{31} \cdot (T_1 - 4T_1) = 2R \cdot (-3) \cdot T_1 = -6RT_1$$

~~Кр. 2023~~ $Q_x = Q_{31} + Q_{23} = -8RT_1$; $Q_H = \frac{21}{2} RT_1$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_x|}{|Q_H|} = 1 - \frac{8 \cdot 2}{21} = 1 - \frac{16}{21} = \frac{5}{21} \approx 0,24 \%$$

Ответ: 1) $A_{31} = 2493 \text{ Дж}$

2) $\eta \approx 0,24$

3) см. рис.

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

~~м.к. линии не рассматриваем:~~

~~$$v_5 = v_3 \cos \alpha$$~~

~~$$v_6 = v_2 \cos \alpha = v_3 \cos \alpha$$~~

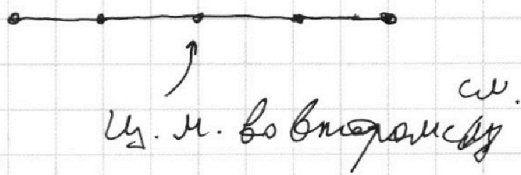
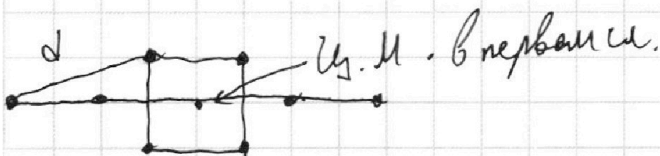
~~$$(v_2 \neq v_3)$$~~

Вспомогательная ЗСУ:

~~$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3 = 0$$~~

По м.о. движения $U_{y,1}$ и $U_{y,2} = 0 \Rightarrow a = 0$

$U_{y,1}$ - остался на месте



Находим две коренные

значит

$$d = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{3a}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 \cdot (1+9)} =$$

$$= \frac{a}{2} \sqrt{10}$$

Ответ: 1) $q = a \sqrt{\frac{8T\sqrt{2}\pi\epsilon_0}{(2\sqrt{2}+1)}}$

2) $v = g \cdot \sqrt{\frac{3\sqrt{2}-1}{24mq\pi\epsilon_0}}$

3) $d = \frac{a}{2} \sqrt{10}$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Найдем конечную потенциальную энергию системы:

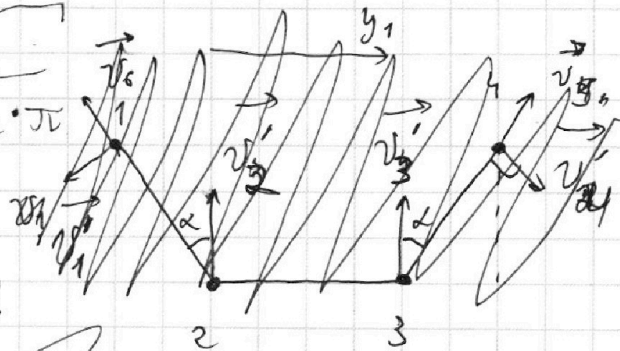
$$\begin{aligned}
 W_k &= W_{12} + W_{13} + W_{14} + W_{23} + W_{24} + W_{34} = \\
 &= \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{3a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{a} = \\
 &= \frac{kq^2}{a} \cdot \frac{13}{3}
 \end{aligned}$$

П. к. работа сил натяжения равна нулю
запишем ЗСЭ:

$$\begin{aligned}
 W_H &= W_k + E_k \Leftrightarrow E_k = \frac{kq^2}{a} \left(4 + \sqrt{2} - \frac{13}{3} \right) = \frac{kq^2}{a} \left(\sqrt{2} - \frac{1}{3} \right) = \\
 &= \frac{kq^2}{3a} \cdot (3\sqrt{2} - 1)
 \end{aligned}$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \cdot 4 = 2mv^2 = \frac{kq^2}{3a} (3\sqrt{2} - 1) \Leftrightarrow v^2 = \frac{kq^2}{6am} (3\sqrt{2} - 1)$$

$$v = q \cdot \sqrt{\frac{3\sqrt{2} - 1}{24ma\epsilon_0 \cdot \pi}}$$



В силу симметрии
скорости 2 и 3 не имеют
горизонтальных проекций на ось Oy_1

$\vec{v}_1 = \vec{v}_4 = \vec{v}_2 = \vec{v}_3$ — скорости в 4 направления
 $\vec{v}_5 + \vec{v}_6 = \vec{v}_1$ — скорость 1 заряда.
 $\vec{v}_6 + \vec{v}_5 = \vec{v}_1$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

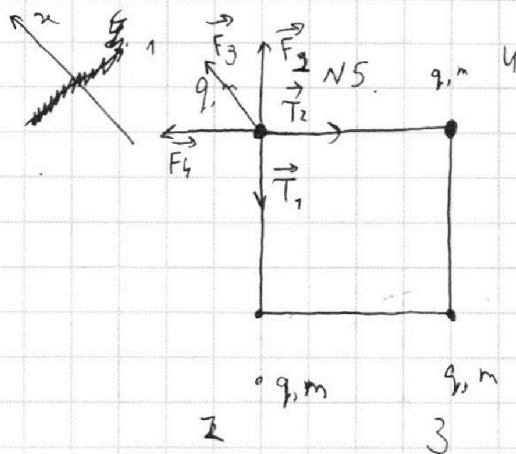
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Дано:
 a, T



1) Рассмотрим первый шарик.

T_1, T_2 - силы натяжения нити, действующие на шарик

F_2, F_3, F_4 - силы Кулона.

III. к. шар покоится $a_1 = 0$ применим 2 закон Ньютона

ок:

$$(1) F_4 \cdot \cos 45^\circ + F_2 \cdot \cos 45^\circ + F_3 - 2T \cos 45^\circ = 0$$

$$F_2 = F_4 = \frac{kq^2}{a^2} \quad (k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0})$$

$$F_3 = \frac{kq^2}{(\sqrt{2} \cdot a)^2} = \frac{kq^2}{2a^2}$$

$$(1) \sqrt{2} \cdot \frac{kq^2}{a^2} + \frac{kq^2}{2a^2} = 2T \cos 45^\circ$$

$$\frac{kq^2}{a^2} \left(\sqrt{2} + \frac{1}{2} \right) = T \sqrt{2} \Rightarrow q^2 = \frac{T \sqrt{2} \cdot a^2}{\left(\sqrt{2} + \frac{1}{2} \right) \cdot k} = \frac{a^2 T \cdot 2\sqrt{2}}{(2\sqrt{2} + 1)k}$$

$$(2) q = a \cdot \sqrt{\frac{2T\sqrt{2}}{(2\sqrt{2} + 1)k}} = a \sqrt{\frac{8\pi T \sqrt{2} \cdot \epsilon_0}{2\sqrt{2} + 1}}$$

$$(1) \frac{\sqrt{2}}{2} \left(\frac{2kq^2}{a^2} \right) + \frac{kq^2}{2a^2} = 2T \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\frac{kq^2}{a^2} \cdot 2\sqrt{2} + \frac{kq^2}{a^2} = 2T\sqrt{2}$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

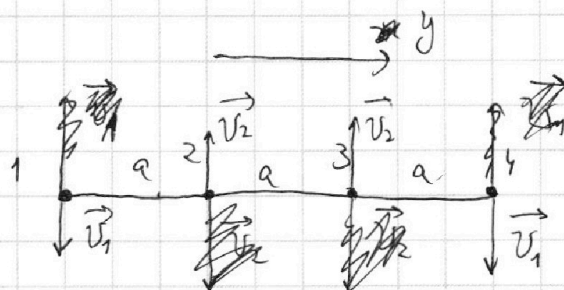
$$\frac{kq^2}{a^2} (2\sqrt{2} + 1) = 2T\sqrt{2} \Leftrightarrow q^2 = \frac{2T\sqrt{2}}{(2\sqrt{2} + 1)k} \cdot a^2$$

$$\Leftrightarrow q = a \sqrt{\frac{2T\sqrt{2}\pi\epsilon_0}{(2\sqrt{2} + 1)}}$$

2)

По ЗСЦ:

В силу симметрии



$v_2 = v_3$; $v_1 = v_4$; Пусть ~~какая~~ ~~любая~~ скорость имеет ненулевую проекцию на ось ay . Тогда н.к.

линии перемещения эта составляющая есть y координата центра системы и система движется ~~вправо~~ ~~влево~~ или ~~равно~~.

Но такого не может быть в силу симметрии. Значит скорости всех шаров направлены перпендикулярно линии.

По ЗСЦ: $2m\vec{v}_1 = -2m\vec{v}_2 \Leftrightarrow \vec{v}_1 = -\vec{v}_2$
значит $|v_1| = |v_2| = v$

Найдем начальную потенциальную энергию системы.

$W = \frac{kq_1q_2}{r}$ (в общем случае для 2 зарядов)

$$\begin{aligned} W_c &= W_{12} + W_{13} + W_{14} + W_{24} + W_{23} + W_{34} = \frac{kq^2}{a} \\ &= \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{a\sqrt{2}} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{a\sqrt{2}} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{a} = \frac{kq^2}{a} \left(4 + \sqrt{2} \right) \\ &= \frac{kq^2}{a} (4 + \sqrt{2}) \end{aligned}$$



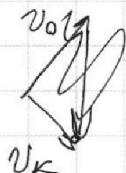
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

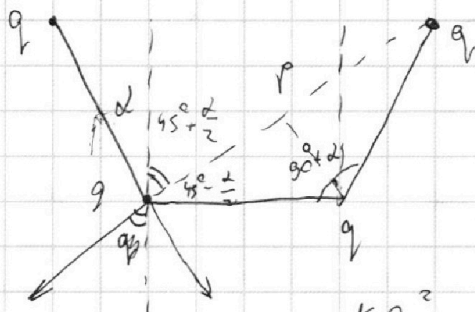


$$p^2 = a^2 + a^2 - 2a^2 \cos(90^\circ + 2\alpha)$$

$$\cos 2\alpha = 2\cos^2 \frac{\alpha}{2} - 1$$

$$45^\circ + \frac{\alpha}{2}$$

$$2a \sin(45^\circ + \frac{\alpha}{2}) = p$$



$$\frac{ka^2}{a^2} \cdot \cos \alpha$$

$$\frac{ka^2}{4a^2 \sin^2(45^\circ + \frac{\alpha}{2})} \cdot \cos(45^\circ + \frac{\alpha}{2})$$

$$\frac{ka^2}{a^2} \left(\cos \alpha \times \frac{\cos(45^\circ + \frac{\alpha}{2})}{45 \sin^2(45^\circ + \frac{\alpha}{2})} \right)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2} (\cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2})$$

$$= \frac{\sqrt{2}}{4} \left(\frac{\cos^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{\sin \alpha} \right) = \frac{25 \sin \alpha \cos \alpha + \cos(45^\circ + \frac{\alpha}{2})}{25 \sin \alpha} =$$

$$\frac{\sin 2\alpha + \sin(45^\circ - \frac{\alpha}{2})}{25 \sin \alpha} = 25 \sin \left(\frac{3\alpha}{2} + 45^\circ \right)$$

$$\sin(x+y) + \sin(x-y) = 2 \sin x \cos y$$

He зрешу по ϵ_0

$$\frac{2\sqrt{2}}{2}$$

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + 2 + \frac{1}{2} = 4 + \frac{1}{3} = \frac{13}{3}$$

$$10 \frac{13}{3} \sqrt{2}$$

$$13 \sqrt{2} \times 3 \sqrt{2}$$

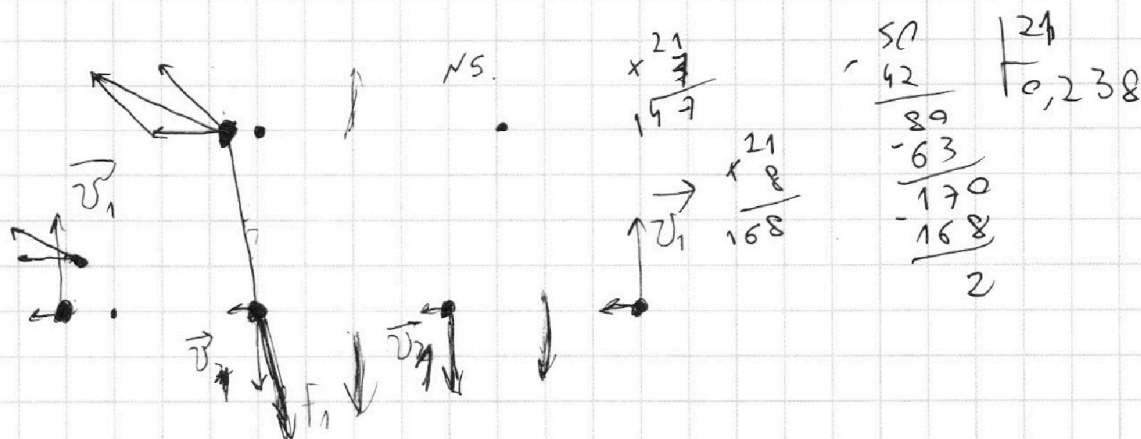
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



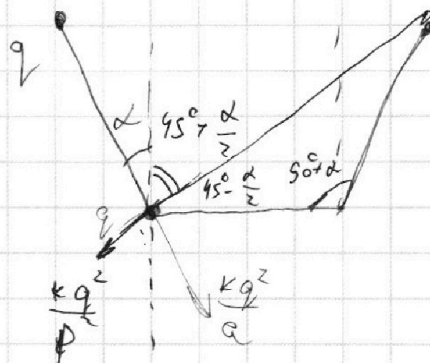
Система симметричная, значения суммарной скорости

$$W_1 + K_1 = W_2 + K_2 \Rightarrow K_2 = W_1 - W_2$$

$a(x)$

$$pV^2 = \frac{c}{R_2}$$

$$p^2 = a^2 + a^2 - 2a^2 \cdot \cos(90^\circ + \alpha) = 2a^2(1 + \sin \alpha)$$



$$\frac{kg^2}{2a^2(1 + \sin \alpha)}$$

$f(x)$

$$f = r \quad a = \frac{f(x)}{m}$$

$$a(x) = v(x) \quad v(x) = x(x)$$

$$\frac{kg^2}{a} \cdot \cos \alpha$$

$$\frac{kg^2}{2a^2(1 + \sin \alpha)} \cdot \cos(45^\circ + \frac{\alpha}{2})$$

$$1 + \cos(90^\circ - \alpha) = 2 \cos^2(45^\circ - \frac{\alpha}{2})$$

$$\frac{kg^2}{2a^2(\cos^2(45^\circ - \frac{\alpha}{2}))}$$

$$\begin{array}{r} 24 \\ \times 0,24 \\ \hline 96 \\ + 480 \\ \hline 5,76 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1,8 \\ \times 3 \\ \hline 5,4 \end{array} \quad \frac{3 \cdot 0,31200}{2} =$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

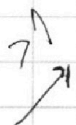
МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

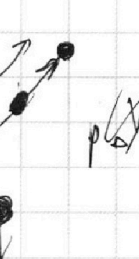
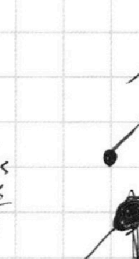
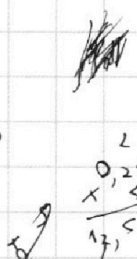
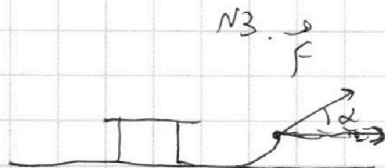


$$-4 - 5R$$

$$-5,5 RT_1$$



F_m



$$\frac{2,5 \cdot 2}{21} =$$

$$\frac{5}{21}$$

$$\frac{1}{1} \frac{3}{0,36}$$

$$\frac{1}{1} \frac{5}{180}$$

$$2,5 RT_1$$

$$\frac{3}{7} = \lg \frac{1}{2} \mu$$

T-звучи

$$A_{23} = -R \cdot 4 T_1 =$$

$$= -9 RT_1$$

$$3-1$$

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

$$\Delta V = 2 \mu$$

$$\frac{9}{2} R T$$

$$\frac{0,5}{0,8}$$

$$9,9 + 0,8$$

$$\frac{5}{10} \frac{8}{10} = \frac{40}{100} = 0,4$$

$$3,6$$

$$5,9,36$$

$$Q_{31} = C \Delta T = 2 R \Delta T = -6 R \Delta T$$

$$= \Delta U + A = -RT$$

$$Q = \frac{1}{2} R \Delta T$$

$$Q = \frac{1}{2} R \Delta T +$$

$$\frac{1,72}{2}$$

$$Q = 1,5 R \Delta T + A \Rightarrow A = -R \Delta T$$

$$A = -R \Delta T = -R \cdot (4 T_1) =$$

$$= 4 T_1 R_1$$

$$\frac{9-12}{2} =$$

$$+ 8,31$$

$$29,93$$

$$3,00$$

$$1,25$$

$$2,75$$

$$0,6 \cdot (8-5 \cdot 0,4)$$

$$3,1,8$$

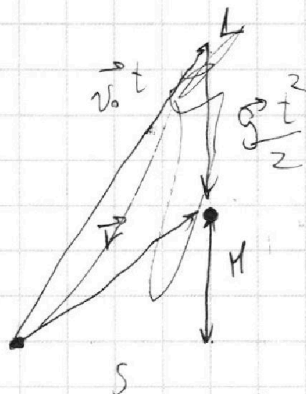
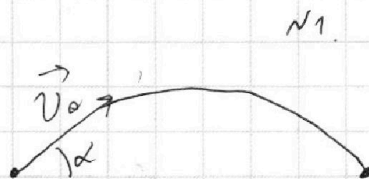
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



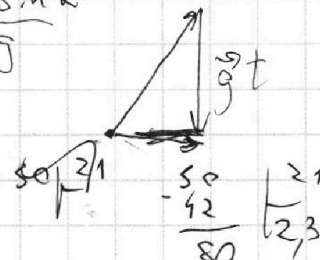
$$1) v_0 \cos \alpha \cdot t = \frac{2 v_0 \cos \alpha v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$v_0 \sin \alpha = g t$$

$$t = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$= \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$\vec{r} = \vec{v_0} t + \frac{g t^2}{2}$$



$$v_0 \cos \alpha t = x \Rightarrow t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha}$$

$$y = v_0 \sin \alpha t - \frac{g t^2}{2} = x \tan \alpha - \frac{g x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$= x \tan \alpha - \frac{g x^2}{2 v_0^2} (1 + \tan^2 \alpha)$$

$$H = 5 \tan \alpha - \frac{g 5^2}{2 v_0^2} (1 + \tan^2 \alpha)$$

$$H = 5 \tan \alpha - \frac{g 5^2}{2 v_0^2} - \frac{g 5^2 \tan^2 \alpha}{2 v_0^2} = \frac{g 5^2}{2 v_0^2} \tan^2 \alpha - 5 \tan \alpha + \frac{g 5^2}{2 v_0^2} + H = 0$$

$$5 \tan \alpha = \frac{g 5^2}{v_0^2} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{g 5}{v_0^2}$$

$$P = \tan^2 \alpha - \left(\frac{g 5^2}{v_0^2} \right)^2 - 4 H$$

$$\frac{7 \cdot 3}{2} = \frac{21}{2} = \frac{v}{2} \Rightarrow v = 21$$

$$p v^{\frac{C_v}{C_p} - 1} = \text{const}$$

$$\frac{C_v}{C_p} = \frac{i}{i+2}$$

$$\frac{i+2}{2} = \frac{5}{2} \Rightarrow i = 3$$

$$\begin{array}{r} 1.51 \\ + 1.51 \\ \hline 3.02 \\ + 1.51 \\ \hline 4.53 \\ + 1.51 \\ \hline 6.04 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} + 0.23 \\ \hline 21 \\ + 46.23 \\ \hline 67.23 \end{array}$$