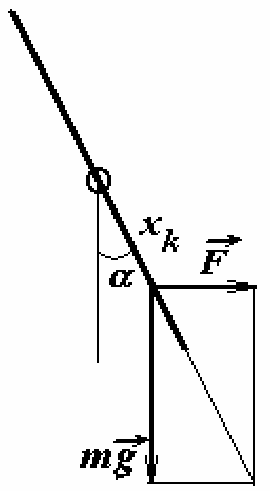
$$\boxed{I = \frac{U}{R} = \frac{2I_0}{1 \pm \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{v_{max}^2}}}}.$$

Два рассчитанных по этой формуле значения силы тока равны $600A$ и $32A$. Для выбора одного из значений рассчитаем по формуле (4) максимальную мощность, достигаемую при данных значениях сопротивления и напряжения в цепи . Получаем 99 кВт при напряжении 660 В и токе 600 А и 5,3 кВт при 660 В и токе 32 А. Очевидно, что реальным является первое значение мощности трамвая, а следовательно , и первое значение силы тока, т.е. 600 А.
Ответ : $\boxed{I = 600\ A}$

2. Рассмотрим внешние силы, действующие на пластинку номер k, расположенную на расстоянии x_k от оси вращения. Помимо силы тяжести mg, на нее действует со стороны магнитного поля сила Ампера $F = IBl$. Условие равновесия обоймы сводится к равенству суммарных моментов сил тяжести и сил Ампера



$$\sum_k mgx_k\, sin\alpha = \sum_k I_k Blx_k\, cos\alpha . \quad (1)$$

Так как пластинки одинаковы и соединены параллельно, а внутреннее сопротивление источника значительно превышает сопротивление пластинок, то сила тока через каждую пластинку может быть найдена по формуле

$$I_k = \frac{\varepsilon}{nr}, \qquad (2)$$

где n - общее число вложенных пластинок.
Из уравнений (1)-(2) находим положение равновесия

$$\boxed{tg\alpha = \frac{\varepsilon Bl}{nrmg}}. \qquad (3)$$

3. Вычислим силу взаимодействия между двумя атомами как функцию расстояния между ними

$$f = -U' = \frac{12a}{r^{13}} - \frac{6b}{r^7}. \qquad (1)$$

Положению равновесия соответствует нулевая сила взаимодействия (или, что равносильно, минимум потенциальной энергии). Поэтому равновесное расстояние между атомами (период решетки) найдем из условия $f=0$, из которого следует

$$r_0 = \left(\frac{2a}{b}\right)^{\frac{1}{6}}. \qquad (2)$$

На один атом в кубической кристаллическое решетке приходится объем r_0^3, следовательно плотность кристалла рассчитывается по формуле

$$\boxed{\rho = \frac{m}{r_o^3} = m\sqrt{\frac{b}{2a}}}. \qquad (3)$$

Вычислим энергию связи, приходящуюся на один атом. Так как атом взаимодействует с $n=6$ ближайшими соседями, то его потенциальная энергия

$$u = \frac{n}{2}U(r_0) = -\frac{3b^2}{4a}, \qquad (4)$$

где учтено, что функция $U(r)$ описывает энергию взаимодействия двух атомов. Для перехода из кристаллического в газообразное состояние нужно сообщить кристаллу энергию, необходимую для разрыва всех связей, иными словами, удельная теплота сублимации рассчитывается по формуле

$$\boxed{\lambda = -\frac{u}{m} = \frac{3b^2}{4am}}. \qquad (5)$$

При отклонении атомов от положения равновесия возникает сила, стремящаяся вернуть атомы в исходное положение. При малых деформациях эта сила пропорциональна деформации. Для ее вычисления преобразуем формулу (1) при условии $r = r_0 + x$, где x - малое отклонение от положения равновесия. В ходе преобразований необходимо использовать приближенную формулу, приведенную в условии задачи с учетом членов первого порядка малости

$$f = \frac{12a}{(r_0+x)^{13}} - \frac{6b}{(r_0+x)^7} = \frac{12a}{r_0^{13}}(1+\frac{x}{r_0})^{-13} - \frac{6b}{r_0^7}(1+\frac{x}{r_0})^{-7} \approx -\frac{36b}{r_0^7}\cdot\frac{x}{r_0}. \qquad (6)$$

В поперечном сечении кристалла на один атом приходится площадь r_0^2, следовательно, механическое напряжение в кристалле определяется формулой

$$\sigma = \frac{f}{r_0^2} = \frac{36b}{r_0^9}\cdot\frac{x}{r_0} = \frac{18}{\sqrt{2}}b\left(\frac{b}{a}\right)^{\frac{3}{2}}\cdot\frac{x}{r_0}. \qquad (7)$$

Сравнивая с законом Гука $\sigma = E\varepsilon$ (где $\varepsilon = x/r_0$ - относительная деформация), получим выражение для модуля Юнга

$$\boxed{E = \frac{18}{\sqrt{2}}b\left(\frac{b}{a}\right)^{\frac{3}{2}} \approx 12{,}8b\left(\frac{b}{a}\right)^{\frac{3}{2}}}. \qquad (8)$$

Сила взаимодействия между атомами принимает максимальное значение при некотором расстоянии r_1. Если расстояние между атомами превысит r_1, то сила взаимодействия (притяжения) начнет уменьшаться и, следовательно, при постоянной внешней силе кристалл разрушится. Найдем значение r_1 из условия $f' = 0$:

$$f' = -\frac{12 \cdot 13a}{r^{14}} + \frac{6 \cdot 7b}{r^8} = 0 . \qquad (9)$$

Из уравнения (9) находим расстояние r_1, при котором сила притяжения максимальна

$$r_1 = \left(\frac{26a}{7b}\right)^{\frac{1}{6}} . \qquad (10)$$

Таким образом, максимальное относительное удлинение кристалла до разрушения определяется соотношением

$$\boxed{\varepsilon_{max} = \frac{r_1 - r_0}{r_0} = \left(\frac{13}{7}\right)^{\frac{1}{6}} - 1 \approx 0{,}11} . \qquad (11)$$

При таком удлинении сила взаимодействия и соответствующее механическое напряжение (которое и является предельной прочностью) определяются формулой

$$\boxed{\sigma_{max} = \frac{U'(r_1)}{r_0^2} = \frac{18}{\sqrt{2}}\left(\frac{13}{7}\right)^{\frac{7}{6}} b\left(\frac{b}{a}\right)^{\frac{3}{2}} \approx 26{,}2b\left(\frac{b}{a}\right)^{\frac{3}{2}}} . \qquad (12)$$

Термическое расширение твердых тел связано с увеличением кинетической энергии колеблющихся атомов. С ростом температуры увеличивается диапазон изменения расстояний между атомами. Существенным фактором является несимметричность потенциальной кривой - максимальное отклонение от положения равновесия в большую сторону превышает отклонение в меньшую сторону. Обозначим максимальное и минимальное расстояния между атомами в ходе колебаний r_1 и r_2, соответственно. Тогда среднее расстояние между атомами может быть оценено как среднее арифметическое между этими величинами. Расстояния r_1 и r_2 являются корнями уравнения

$$U(r) = U(r_0) + kT , \qquad (13)$$

где kT - средняя энергия одномерного колебательного движения атомов в кристаллической решетке (k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура). Если обозначить $x = r^{-6}$ и принять во внимание формулу (20), то уравнение (13) примет вид

$$ax^2 - bx + \frac{b^2}{4a} - kT = 0 , \qquad (14)$$

корни которого находятся по формуле

$$x_{1,2} = \frac{b}{2a}\left(1 \pm \sqrt{\frac{4akT}{b^2}}\right). \qquad (15)$$

Теперь можно найти значения r_1 и r_2:

$$r_{1,2} = r_0(1 \pm \delta)^{-\frac{1}{6}} \approx r_0(1 \mp \frac{\delta}{6} + \frac{7}{72}\delta^2), \qquad (16)$$

где обозначено $\delta = \sqrt{\frac{4arT}{b^2}}$ и использовано разложение степенной функции с учетом членом второго порядка малости. Среднее расстояние между атомами найдем, усредняя r_1 и r_2:

$$\bar{r} = \frac{r_1 + r_2}{2} = r_0\left(1 + \frac{7}{72}\delta^2\right) = r_0\left(1 + \frac{7akT}{18b^2}\right). \qquad (17)$$

Сравнивая выражение (17) с формулой термического расширения $l = l_0(1 + \alpha\Delta T)$, находим линейный коэффициент термического расширения

$$\boxed{\alpha = \frac{7ak}{18b^2}}. \qquad (18)$$

4.Степень почернения фотопластинки пропорциональна экспозиции - произведению интенсивности света на время засветки. Если интенсивность света изменяется в течении времени фотографирования, то для вычисления степени почернения необходимо просуммировать экспозиции по тем промежуткам в течении которых интенсивность света постоянна. В разных точках трека световые импульсы перекрываются по разному (либо не перекрываются вовсе). В момент перекрытия импульсов интенсивность возбуждения возрастает в 2 раза, следовательно, интенсивность люминесценции возрастает в 4 раза. Этим объясняется наличие области большего почернения на фотографии трека. Заметим, что в случае обычной люминесценции или рассеяние «след» импульса имел бы постоянную засветку.

Построим графики законов движения передних и задних фронтов первого, распространяющегося вправо, и второго, распространяющегося влево, импульсов:

1) передний фронт первого импульса $x_1 = ct$;