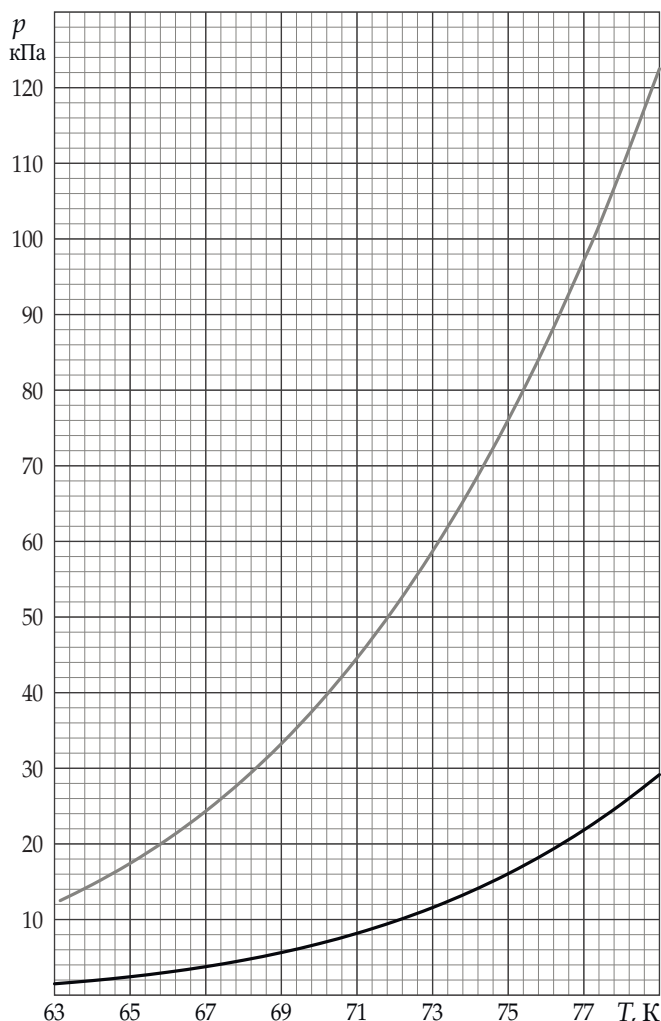


**1. Неправильный воздух** (8 баллов)

Отношение количества кислорода к количеству азота в некотором объёме «неправильного воздуха» равно  $1 : 5$ . На рисунке изображены графики зависимости давления насыщенных паров азота и кислорода от температуры, при этом линия чёрного цвета соответствует давлению паров кислорода. Температура неправильного воздуха в начальный момент равна  $t_0 = -120^\circ\text{C}$ .

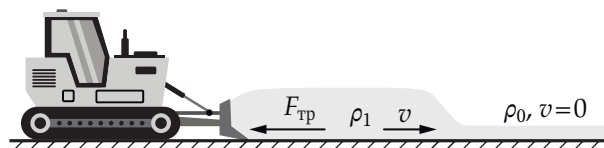


В процессе охлаждения в некоторый момент времени кислород и азот начинают конденсироваться одновременно. Используя график, определите как можно точнее, каким было начальное давление неправильного воздуха, если охлаждение производилось изобарически. А если изохорически?

**2. Похоже на уборку снега** (9 баллов)

Некоторые особенности процесса сгребания снега бульдозером можно описать на основе следующей простейшей модели. Вдали от бульдозера (см. рис.) слой снега имеет линейную плотность  $\rho_0$  и покоится. Бульдозер и часть снега, прилегающая к его щиту, движутся с постоянной скоростью  $v$ . На движущуюся часть действует сила трения, удовлетво-

ряющая закону Кулона-Амонтона:  $F_{\text{тр}} = \mu N$ ; коэффициент трения  $\mu$  считается известным. Ускорение свободного падения равно  $g$ .

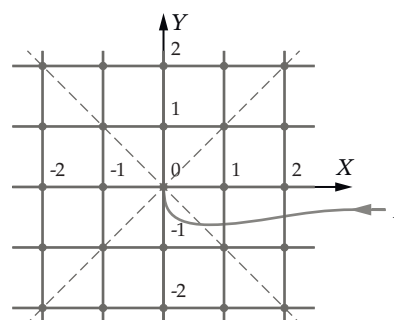


**А.** Пусть весь снег, вовлекаемый бульдозером в движение, распределяется в движущейся части со средней постоянной линейной плотностью  $\rho_1$ . Бульдозер в состоянии развить мощность не более, чем  $W_0$ . Найдите время  $t$ , в течение которого возможно движение бульдозера с постоянной скоростью  $v$ . (6 баллов)

**В.** Пусть после того, как масса снега в движущейся части достигает некоторого значения  $M_0$ , она перестаёт увеличиваться. При вовлечении в движение порции снега, такая же порция покидает движущуюся часть, скатываясь вбок относительно направления движения. Какую мощность  $W_1$  должен развивать бульдозер при движении с постоянной скоростью  $v$  в этом случае? (3 балла)

**3. Ну очень большая сетка** (10 баллов)

Сетка в форме квадрата состоит из очень большого количества ячеек. В узел с координатами  $(0, 0)$ , совпадающий с центром квадрата, втекает ток  $I = 4$  А (см. рисунок). Сопротивление любого проводника, соединяющего соседние узлы сетки, равно 1 Ом.

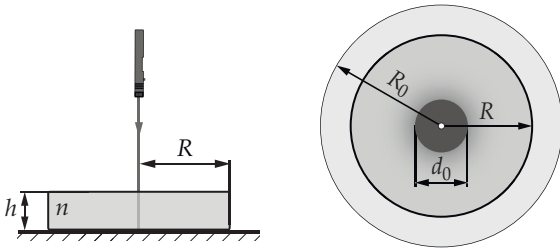


**А.** Пусть узлы сетки на стороне большого квадрата подключены к специальному источнику напряжения, так что потенциалы узлов, лежащих на диагоналях (см. рис., пунктирные линии), равны нулю везде кроме центра квадрата, где потенциал равен 1 В. Определите потенциалы  $\varphi_{1k}$  в узлах с координатами  $(k + 1, k)$ , и потенциалы  $\varphi_{2k}$  в узлах с координатами  $(k + 2, k)$  при  $k \geq 0$ . (4 балла)

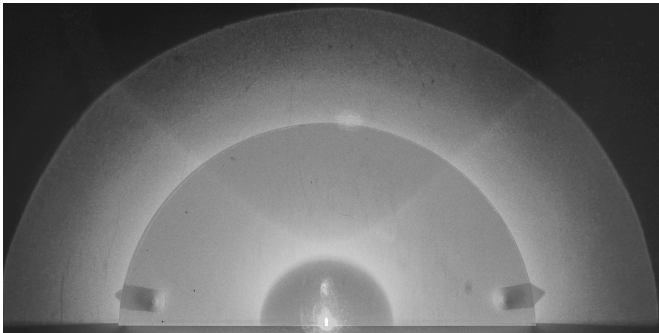
**В.** Источник напряжения заменили на другой — ещё более специальный. Теперь потенциалы узлов и на диагоналях, и в центре равны нулю. Чему равны потенциалы  $\varphi_{1k}$  в узлах с координатами  $(k + 1, k)$ , и потенциалы  $\varphi_{2k}$  в узлах с координатами  $(k + 2, k)$  при  $k \geq 0$  в этом случае? (6 баллов)

#### 4. Ореол и тёмный круг (10 баллов)

На горизонтальной поверхности располагается диск радиусом  $R$  и толщиной  $h$ , сделанный из стекла с показателем преломления  $n = 1,5$  (рис. ниже, слева). Нижняя матовая сторона диска отражает свет диффузно (иначе говоря, равномерно в любых направлениях). Верхняя и боковая поверхности диска тщательно отшлифованы. Луч мощной лазерной указки, освещающей диск, направлен вдоль его оси. При рассматривании диска сверху (рис. ниже, справа) наблюдаются: ярко выраженный тёмный круг с нечёткой границей диаметром  $d_0$  и светлый ореол с резкой границей в виде концентрической с диском окружности радиусом  $R_0$ .



Ниже вы видите фотографию, полученную при проведении опыта, похожего на описанный выше. Мощной лазерной указкой освещалась нижняя точка середины половинки стеклянного диска. Можно различить тёмный полукруг с размытой границей и светлый ореол с резкой границей.



**А.** Известно, что толщина диска равна  $h = 14$  мм, а отношение радиусов диска и границы ореола равно  $\frac{R_0}{R} \approx 1,65$  (это значение получается при измерениях по фотографиям опытов). Найдите радиус диска  $R$ . (5 баллов)

**В.** Чем может быть обусловлено возникновение тёмного круга? Оцените его радиус  $r_0$ , считая показатель преломления и толщину диска известными. (5 баллов)

*Примечание.* Можно считать, что в условиях данной задачи для лучей, выходящих из стекла в воздух, от границы раздела отражается не более 10 % энергии падающего излучения, если величина угла падения меньше  $37^\circ$ .

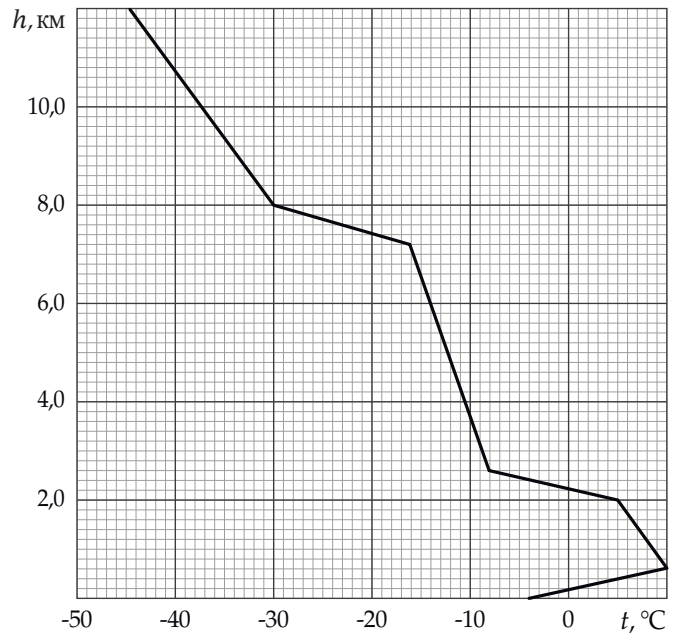
#### 5. Устойчивость атмосферы (13 баллов)

**А.** *Сухой адиабатой* называется такое распределение температуры  $T_a(h)$  в атмосфере Земли, что при увеличении высоты малой порции (в метеорологии их называют частицами) сухого воздуха на небольшую величину  $\Delta h$  без теплообмена с окружающими частицами её температура изменяется на малую величину  $\Delta T_a$ . Найдите  $\Delta T_a$ , считая  $\Delta h$  известным. Ускорение свободного падения равно  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Средние молярные масса и теплоёмкость воздуха при постоянном объёме равны:  $\mu = 29$  г/моль и  $c_V = 2,5R$  ( $R = 8,3$  Дж/(моль · К)) соответственно. Движением воздушных масс можно пренебречь. (6 баллов)

*Указание.* Для малых изменений параметров идеального газа ( $T, p, V$ ) или ( $T, p, \rho$ ), где  $\rho$  — плотность, из уравнения состояния следуют формулы:

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta V}{V}, \quad \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta p}{p} - \frac{\Delta \rho}{\rho}.$$

**В.** В естественных условиях равновесное распределение температуры воздуха по высоте имеет сложный вид. Линия на графике ниже моделирует зависимость  $t(h)$ , возникшую в воздухе над городом  $X$  в день  $Y$ . В физике атмосферы принято откладывать температуру по горизонтальной оси.



Устойчивым является такое равновесное состояние воздуха в атмосфере, что при *адиабатическом* смещении частицы воздуха из положения равновесия по вертикали на небольшую величину  $\Delta h$ , действующие на неё силы стремятся вернуть эту частицу в положение равновесия. Укажите на графике границы (по высоте) участков устойчивой атмосферы. Воздух предлагается считать сухим, наличием паров воды и движением воздушных масс пренебречь, значения, заданные в части **А** задачи, можно считать известными. (7 баллов)