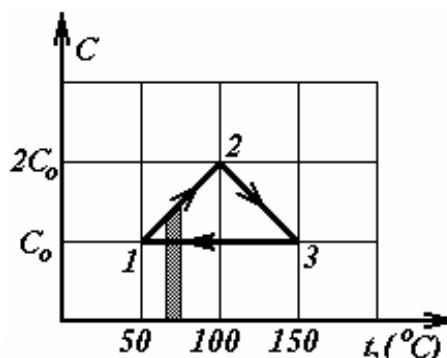


### Задача 3

Легко заметить, что  $C\Delta t = \delta Q$ ,  $\delta Q$  - количество теплоты, полученное газом при изменении температуры на величину  $\Delta t$ . Следовательно площадь, под графиком зависимости  $C(t)$  численно равна количеству полученной теплоты. На участках  $1 \rightarrow 2$  и  $2 \rightarrow 3$   $C > 0$  и  $\Delta t > 0$ , поэтому на этих участках газ получает теплоту от нагревателя ( $\delta Q > 0$ ). Следовательно, количество полученной газом теплоты равно



$$Q_1 = 2 \frac{C_0 + 2C_0}{2} \cdot (t_2 - t_1) = 3C_0(t_2 - t_1) = \frac{9}{2} R(t_2 - t_1). \quad (1)$$

Подстановка численных значений приводит к результату

$$Q_1 = \frac{9}{2} R(t_2 - t_1) = \frac{9}{2} \cdot 8,31 \cdot 50 \approx 1,9 \text{ кДж}. \quad (2)$$

На участке  $3 \rightarrow 1$   $C > 0$ , но  $\Delta t < 0$ , поэтому на этом участке газ отдает теплоту холодильнику ( $\delta Q < 0$ ). Количество отданной теплоты равно

$$Q_2 = C_0(t_3 - t_1) = \frac{3}{2} R(t_3 - t_1). \quad (3)$$

По завершении всего процесса  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$  температура газа принимает первоначальное значение, поэтому изменение внутренней энергии равно нулю, следовательно, разность полученной и отданной теплоты равна работе совершенной газом

$$A = Q_1 - Q_2 = C_0(t_2 - t_1) = \frac{3}{2} R(t_2 - t_1) \approx 0,62 \text{ кДж}. \quad (4)$$

По определению КПД данного процесса равен

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{1}{3}. \quad (5)$$

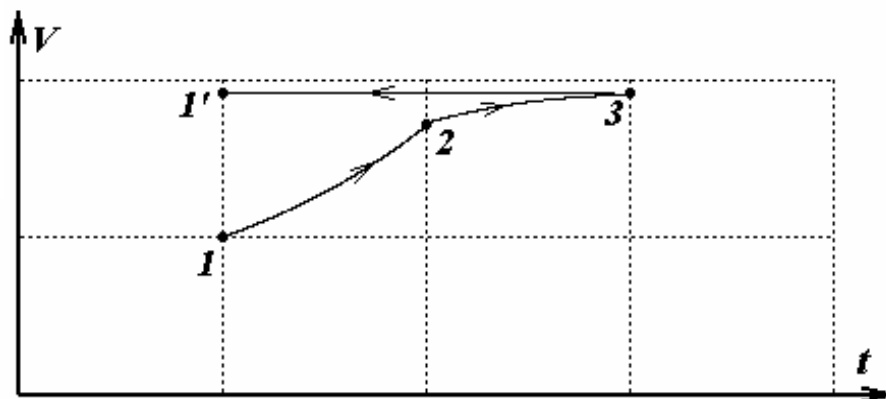
Максимальная температура газа в точке 3, а минимальная в точке 1, поэтому по теореме Карно максимальный КПД цикла, работающего в данном диапазоне температур равен (температуры должны быть переведены в абсолютную шкалу)

$$\eta_{\max} = \frac{T_3 - T_1}{T_3} = \frac{t_3 - t_1}{t_3 + 273} = \frac{100}{150 + 273} \approx 0,24. \quad (6)$$

Итак, КПД цикла Карно, при тех же предельных температурах, оказался меньше, чем в рассматриваемом процессе. Разрешения парадокса в том, что рассмотренный процесс не является циклическим, так теплоемкость не является функцией состояния. А теорема Карно справедлива для циклических процессов, поэтому в данном случае она не применима.

**Примечание к задаче.**

Используя уравнение первого начала термодинамики, можно получить уравнения, описывающие данный процесс в терминах параметров состояния. Так на рисунке показан этот процесс в координатах ( $V, T$  - «объем-температура»)



Как видно, процесс, действительно не является циклическим (система не возвращается в исходное состояние). Заметьте, что участок  $3 \rightarrow 1$  является изохорическим процессом.

**Схема оценивания.**

Пункт	Содержание	Баллы	Примечания
2.1	Методика расчета теплоты - элементарная теплота - площадь под графиком (либо интеграл)	2	1 1
2.2	Расчет полученной теплоты - выбор участков (обоснование) - численный расчет	2	1 1
2.3	Расчет работы - методика расчета (обоснование) - численное значение	2	1 1
2.4	КПД процесса	1	
2.5	КПД цикла Карно	1	
2.6	Объяснение парадокса - есть парадокс - нет цикла	2	1 1
ИТОГО		10	