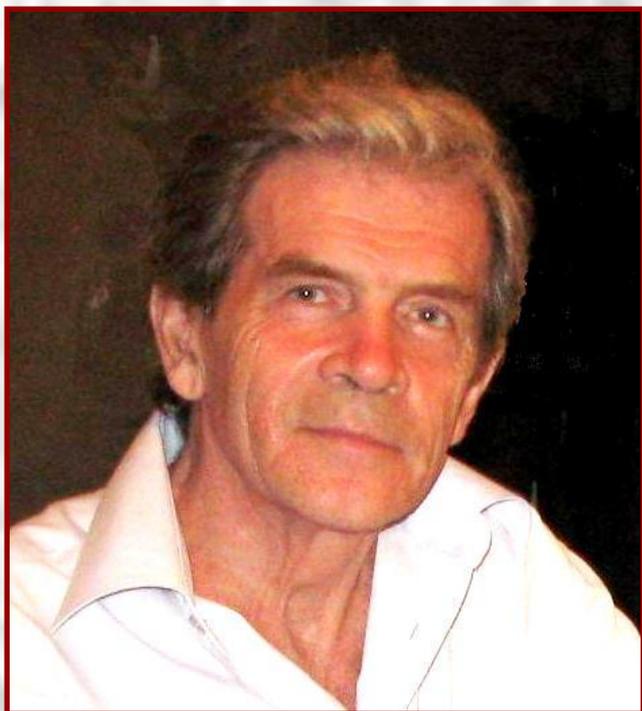




Российский государственный гидрометеорологический университет



Егоров Кирилл Леонидович

кандидат физико-
математических наук
доцент кафедры ДАКЗ

Контактная информация:

e-mail: egorov@rshu.ru

e-mail: egorov@rshu.ru

e-mail: egorov@rshu.ru

egorov@rshu.ru

Геострофическая адвекция температуры



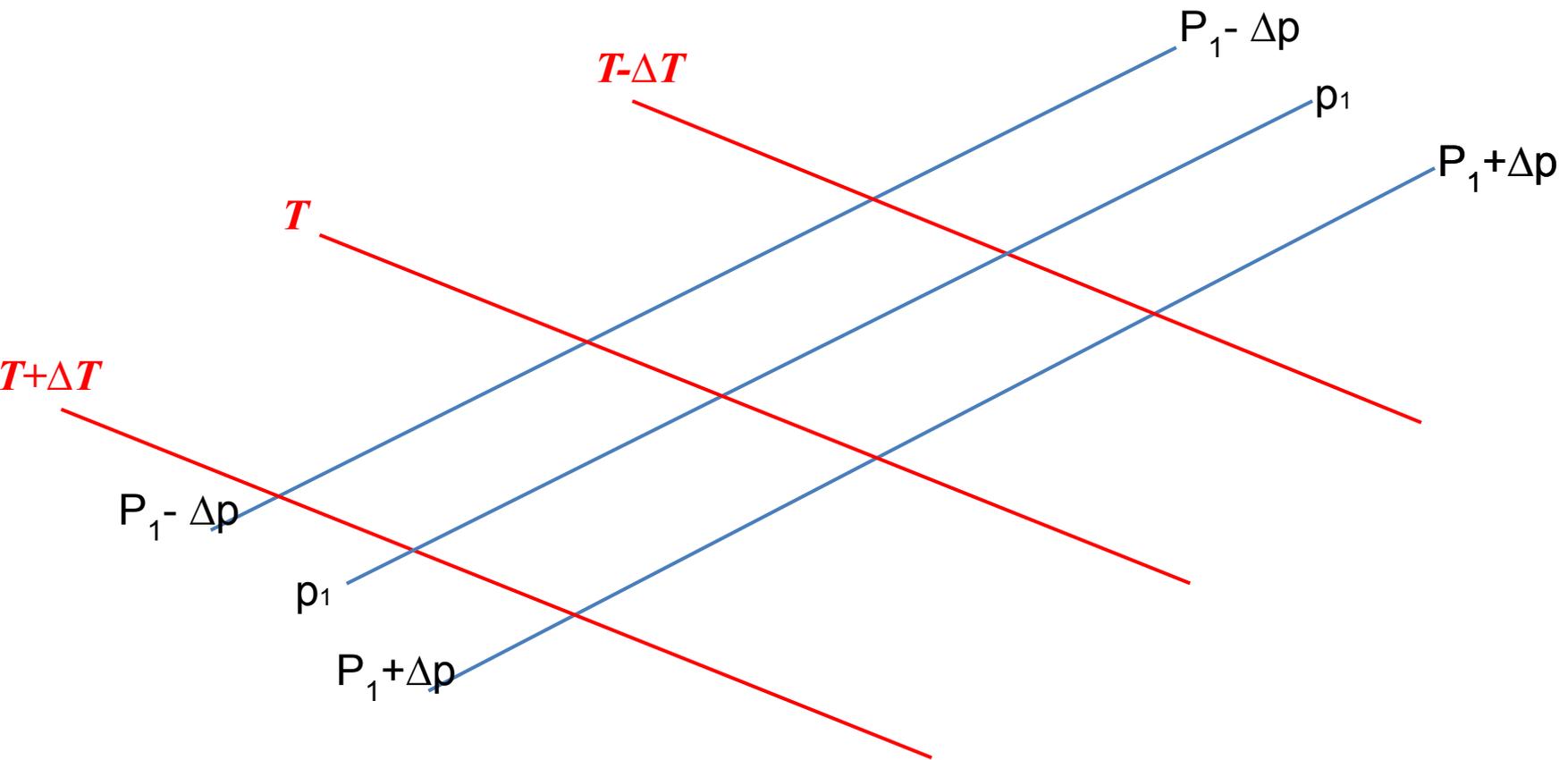
Геострофическая адвекция температуры

$$\vec{V} \equiv \vec{V}_g,$$

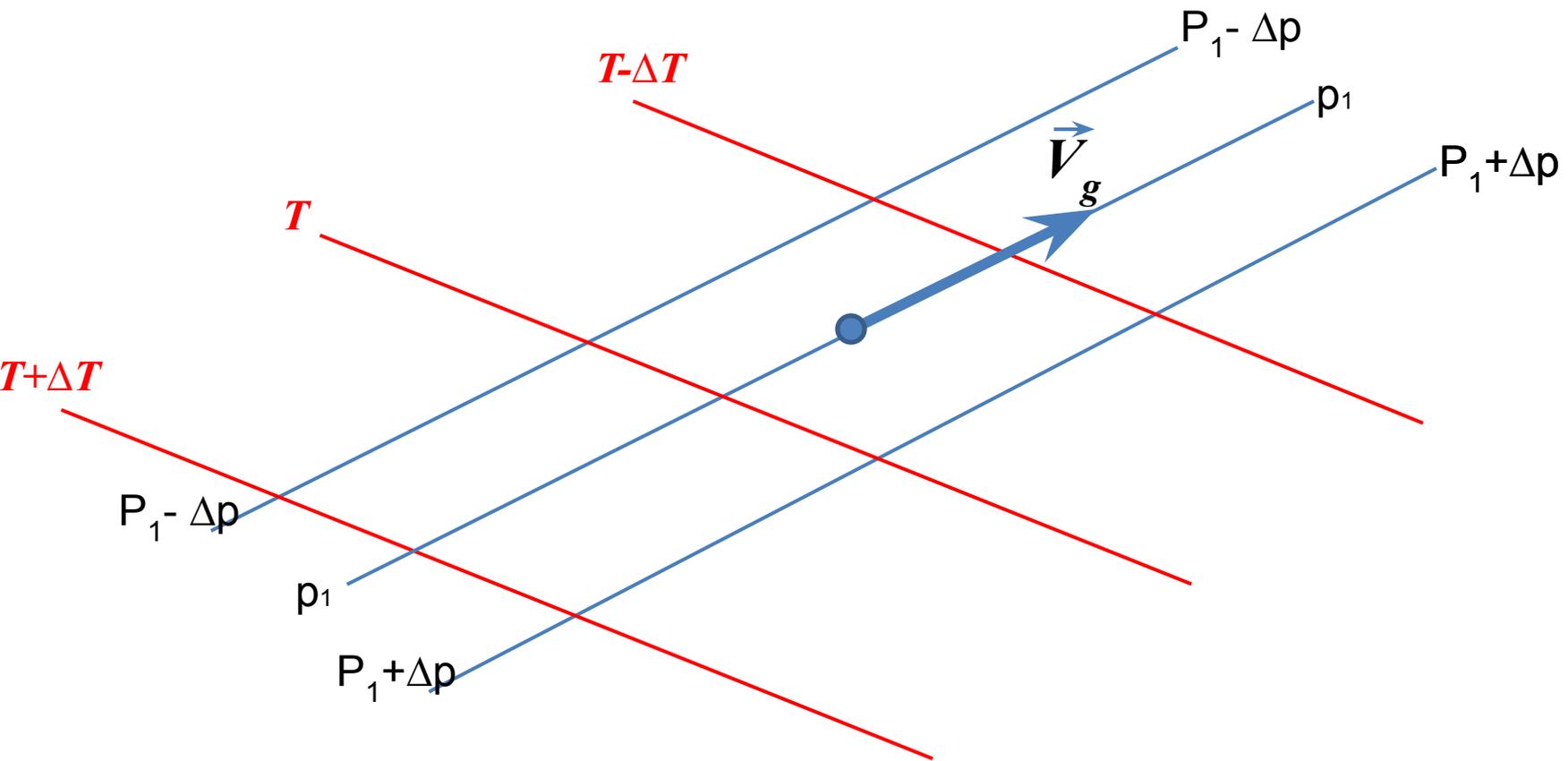
$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = - \left(u_g \frac{\partial T}{\partial x} + v_g \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -V_g \frac{\partial T}{\partial n} \cdot \cos \alpha$$

α — угол между направлением ветра и вектором градиента температуры

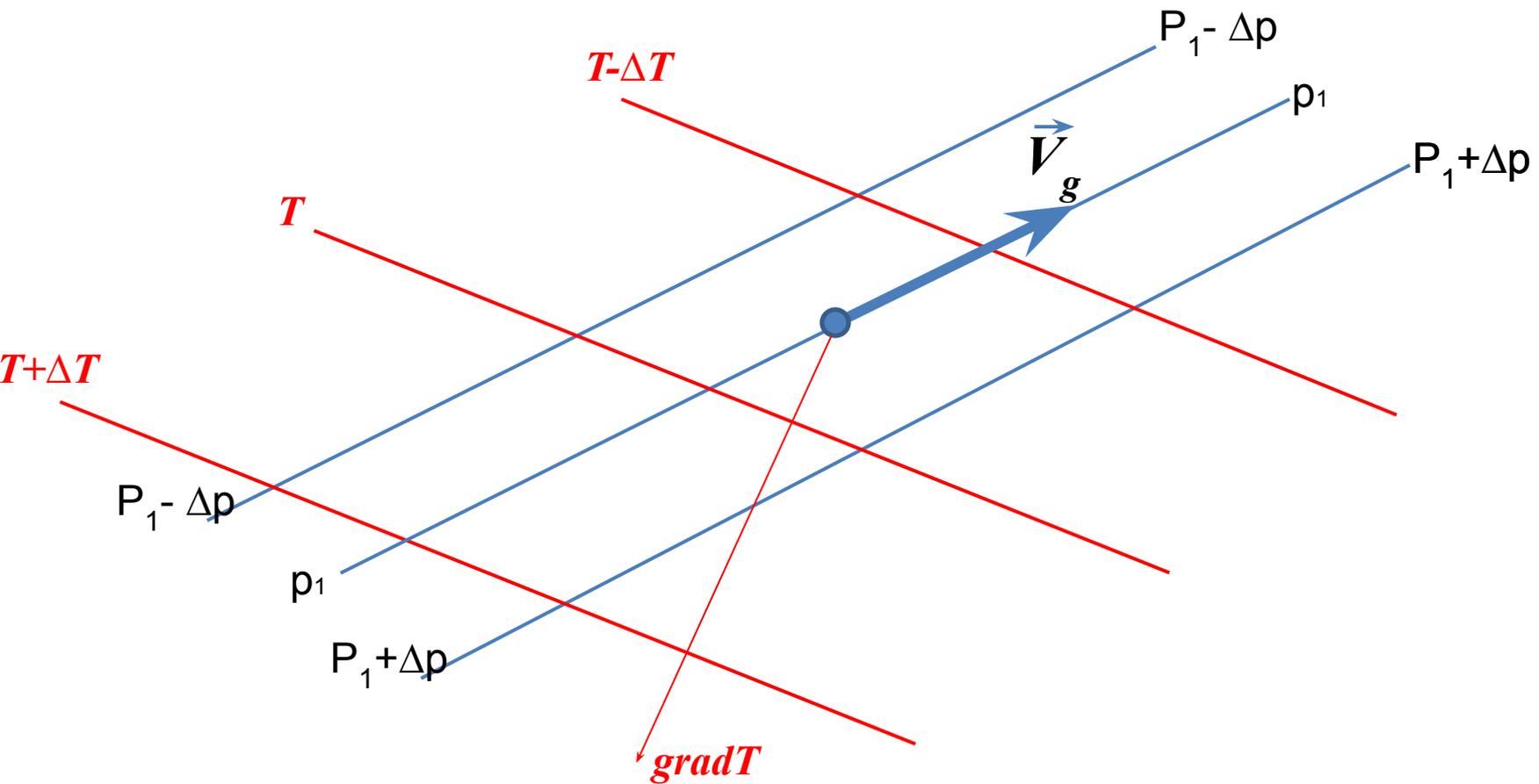
Геострофическая адвекция температуры



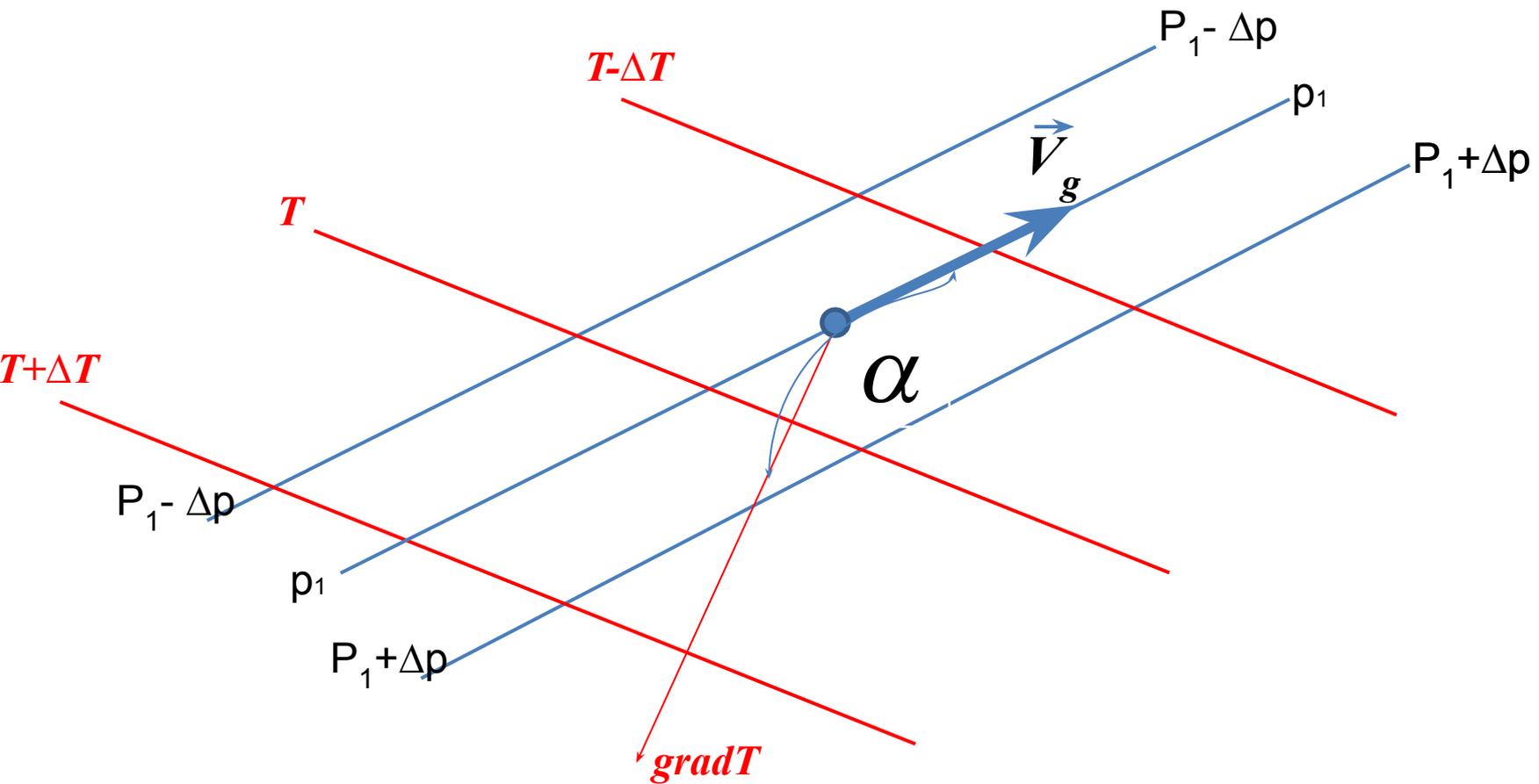
Геострофическая адвекция температуры

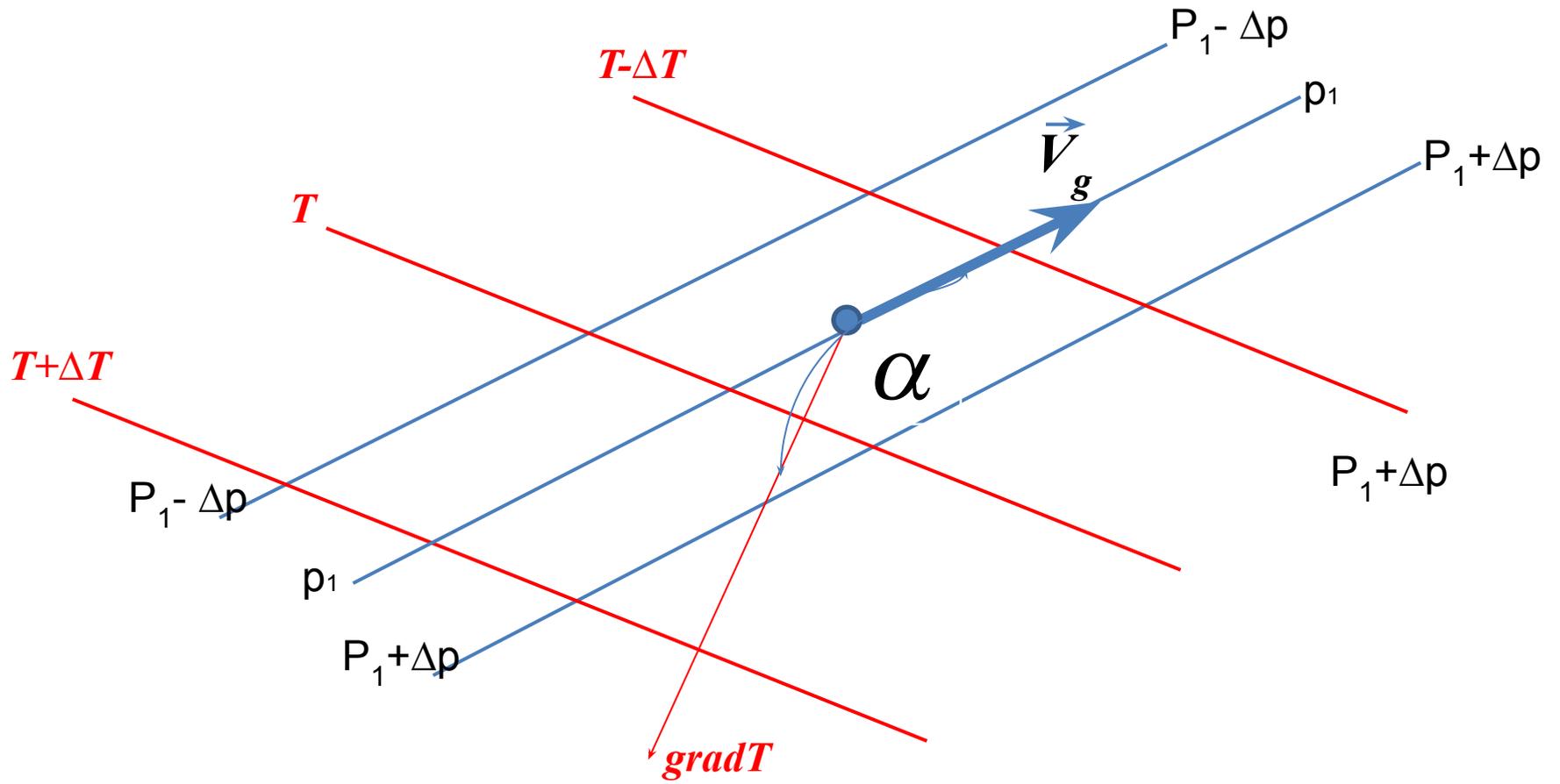


Геострофическая адвекция температуры

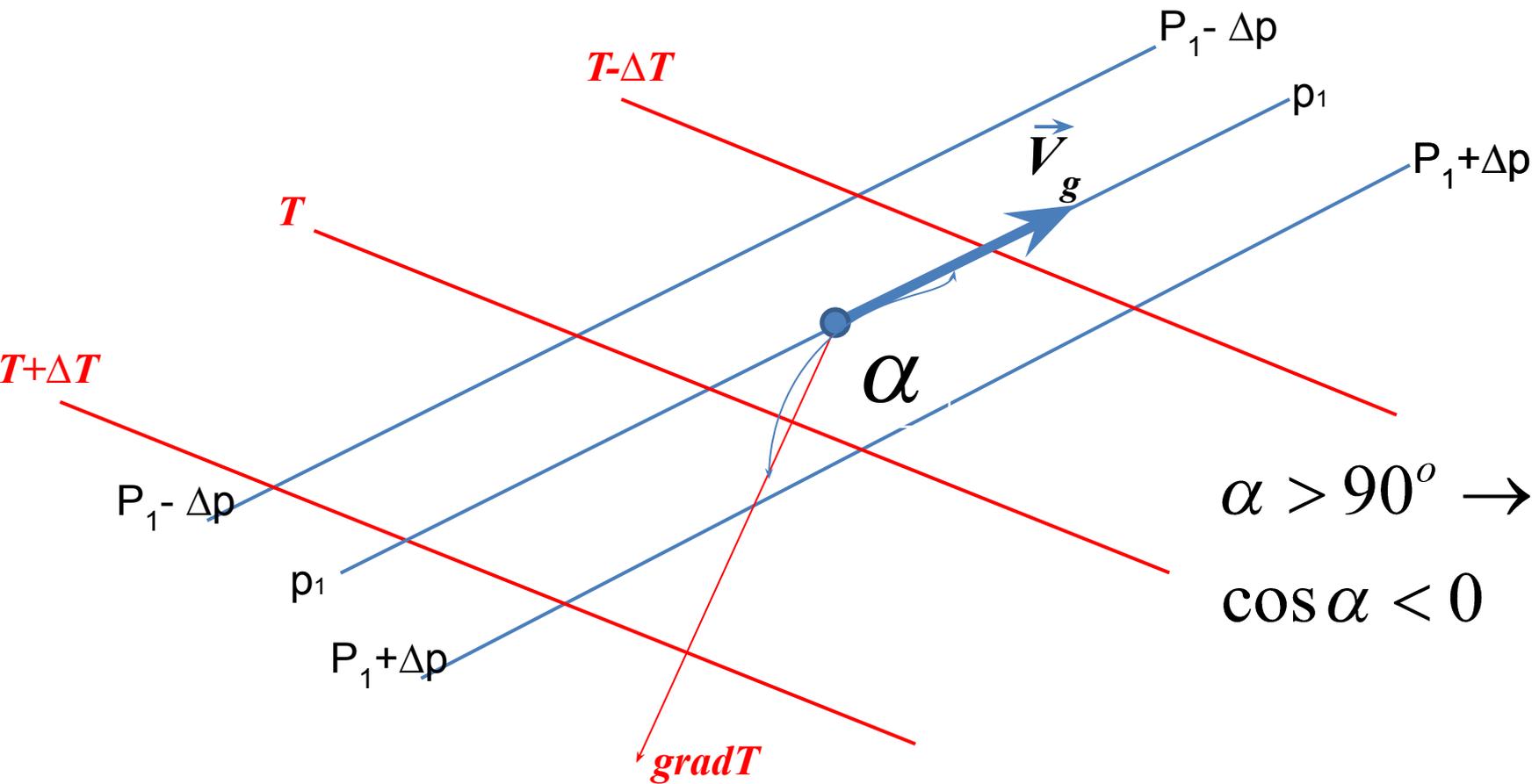


Геострофическая адвекция температуры



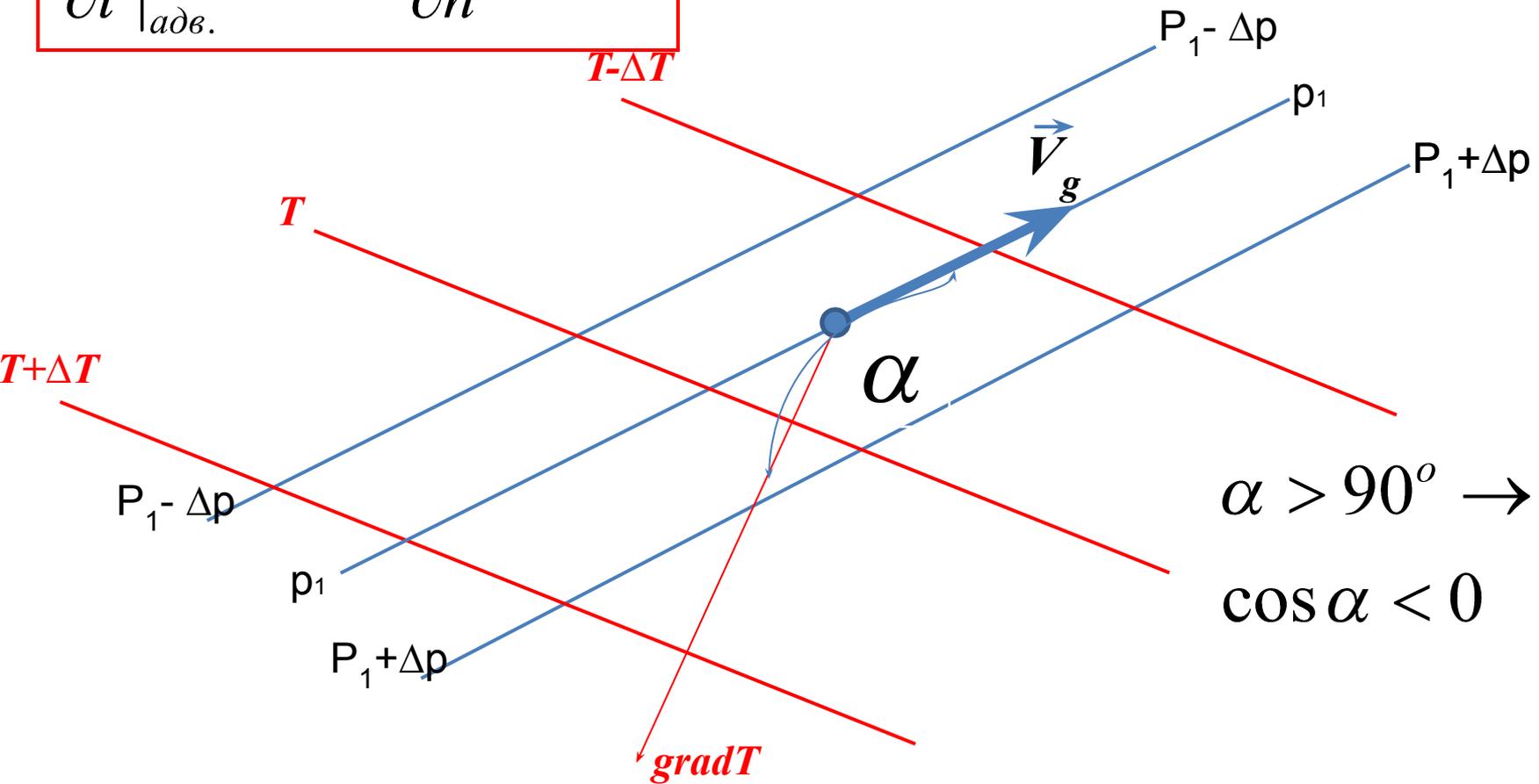


Геострофическая адвекция температуры



Геострофическая адвекция температуры

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -V_g \frac{\partial T}{\partial n} \cdot \cos \alpha$$

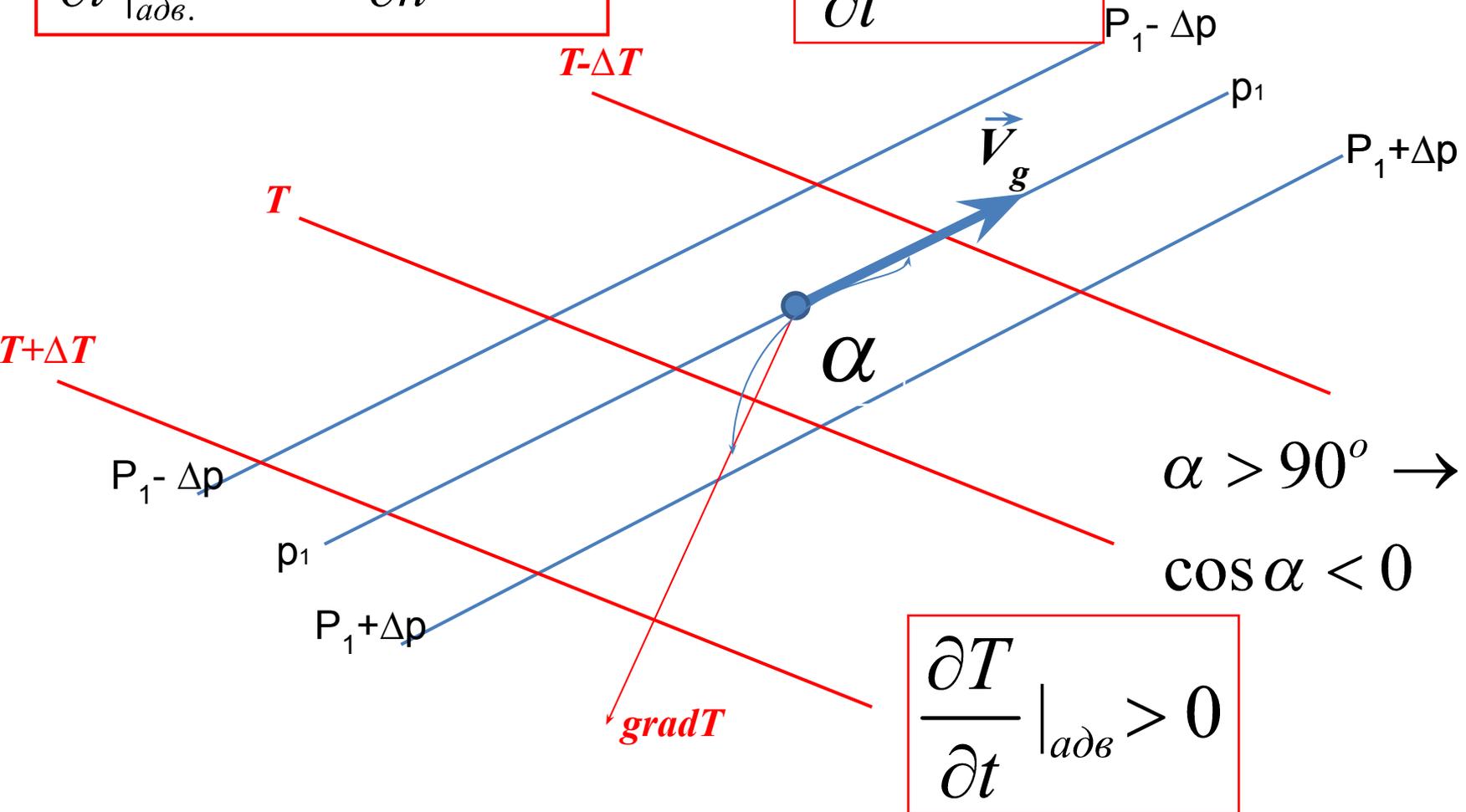


Геострофическая адвекция температуры

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -V_g \frac{\partial T}{\partial n} \cdot \cos \alpha$$

→

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} > 0$$



Геострофическая адвекция температуры

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = - \left(u_g \frac{\partial T}{\partial x} + v_g \frac{\partial T}{\partial y} \right)$$

$$u_g = - \frac{1}{2\omega_z \rho} \frac{\partial p}{\partial y}, \quad v_g = \frac{1}{2\omega_z \rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

Геострофическая адвекция температуры

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = - \left(u_g \frac{\partial T}{\partial x} + v_g \frac{\partial T}{\partial y} \right)$$

$$u_g = - \frac{1}{2\omega_z \rho} \frac{\partial p}{\partial y}, \quad v_g = \frac{1}{2\omega_z \rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = \frac{1}{2\omega_z \rho} \left(\frac{\partial p}{\partial y} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right)$$

$$= \frac{1}{2\omega_z \rho} \cdot (\text{grad}T \times \text{grad}p)_z$$

Геострофическая адвекция температуры

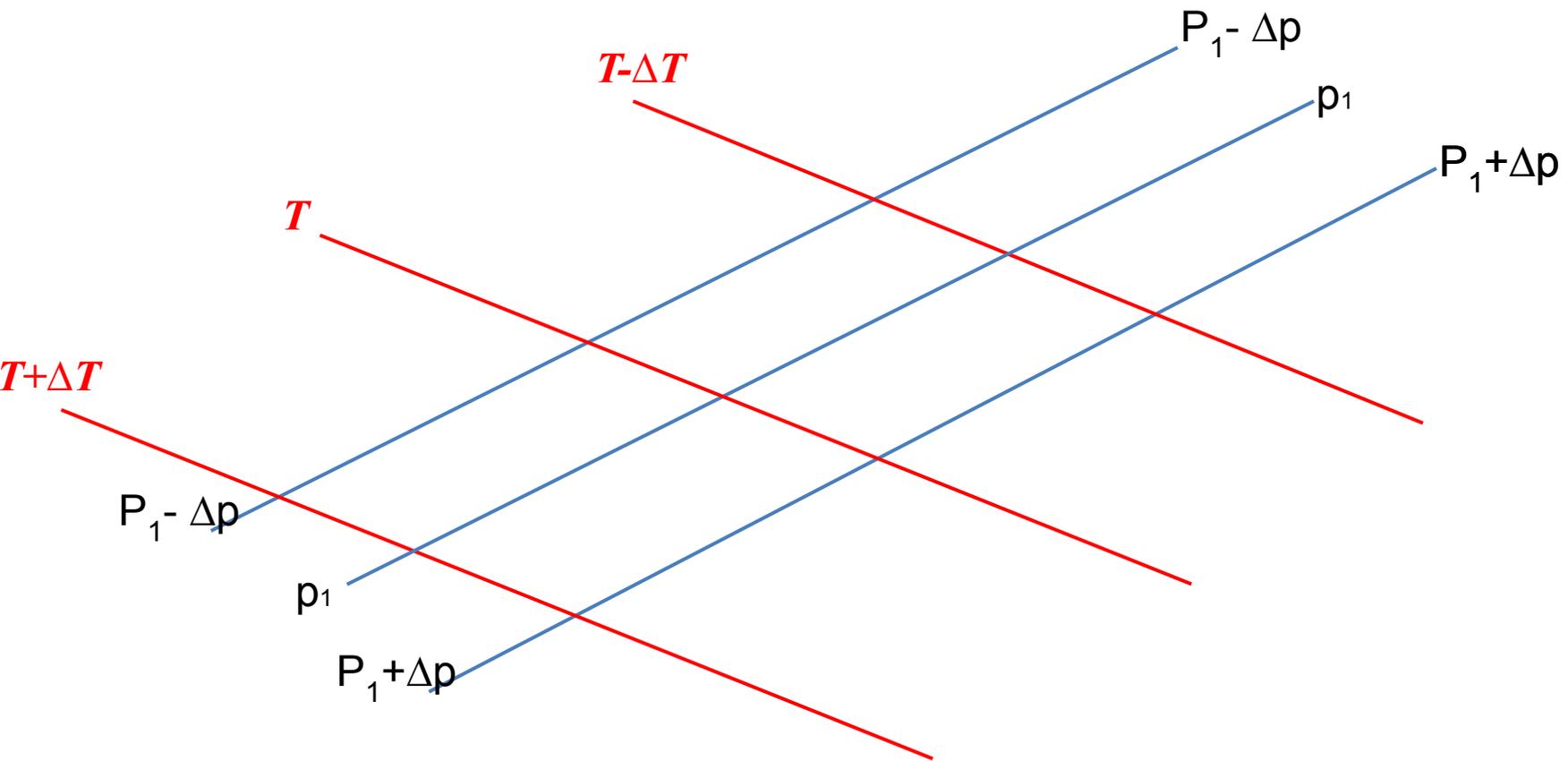
$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = \frac{1}{2\omega_z \rho} \cdot (\text{grad}T \times \text{grad}p)_z$$

$$|\text{grad}T| = \frac{\partial T}{\partial m}, \quad |\text{grad}p| = \frac{\partial p}{\partial n}$$

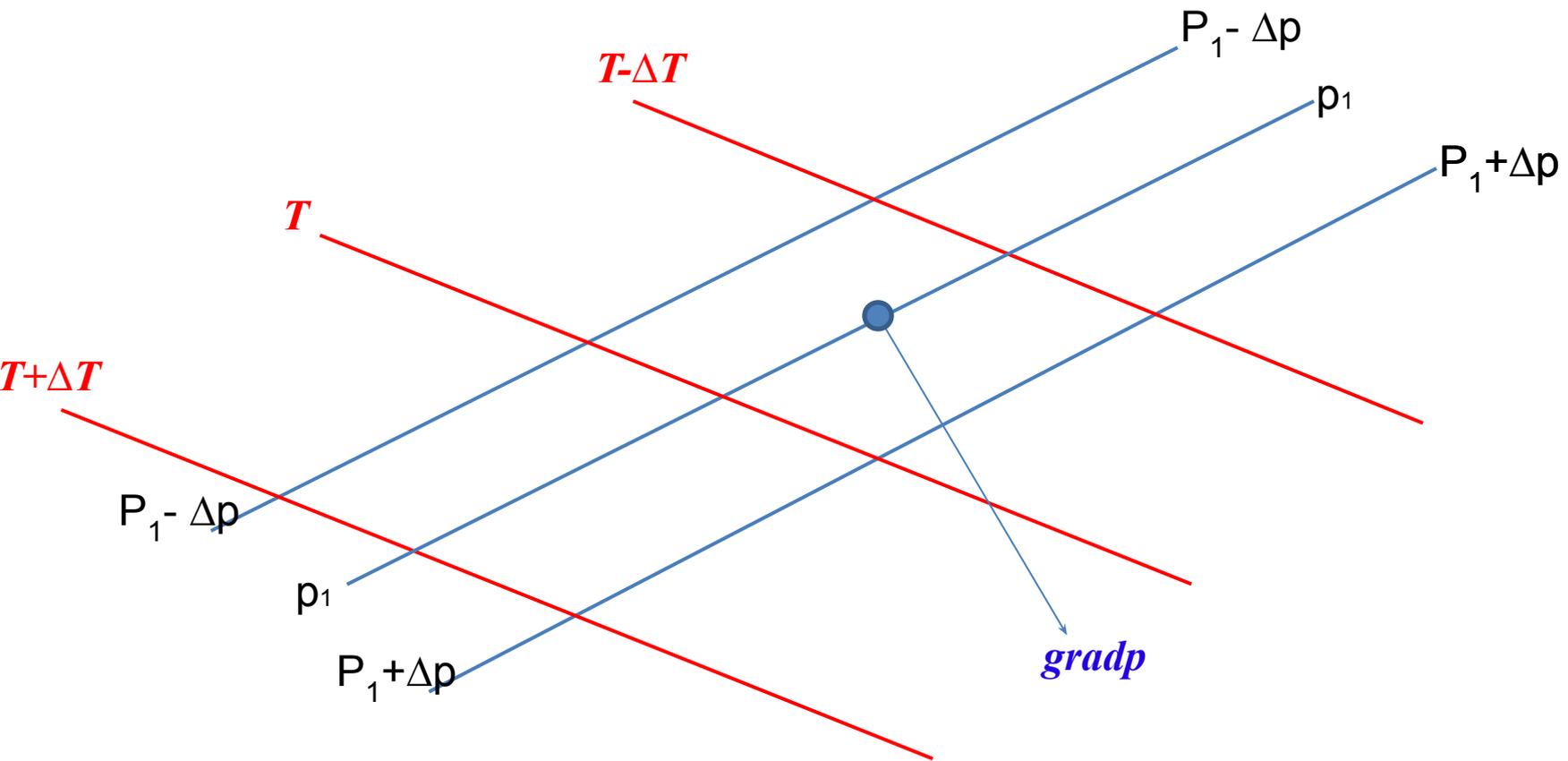
$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = \frac{1}{2\omega_z \rho} \cdot \frac{\partial T}{\partial m} \cdot \frac{\partial p}{\partial n} \cdot \sin \beta$$

β — угол, отсчитываемый от вектора градиента температуры к вектору градиента давления
(положительный при отсчёте против часовой стрелки)

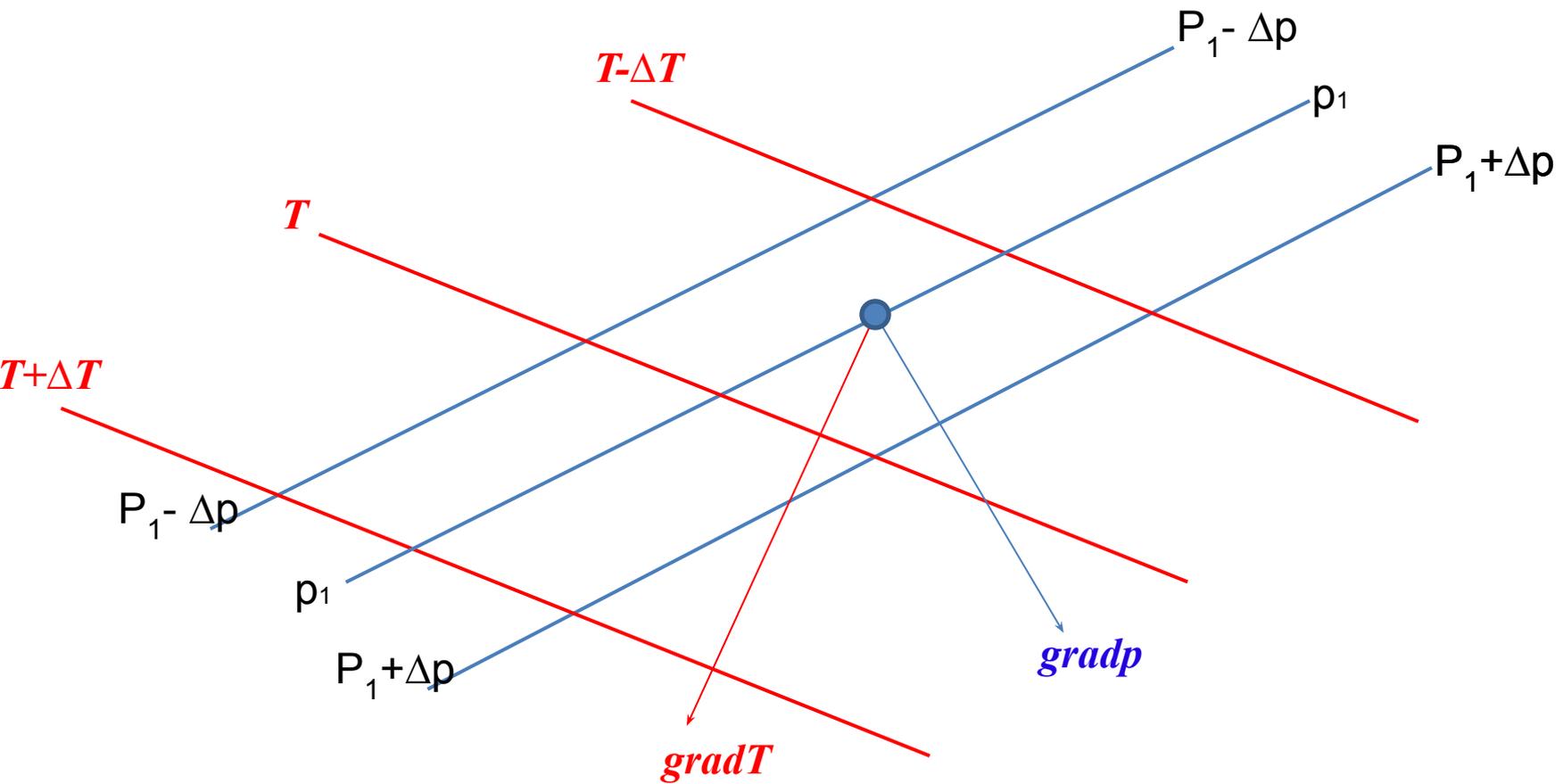
Геострофическая адвекция температуры



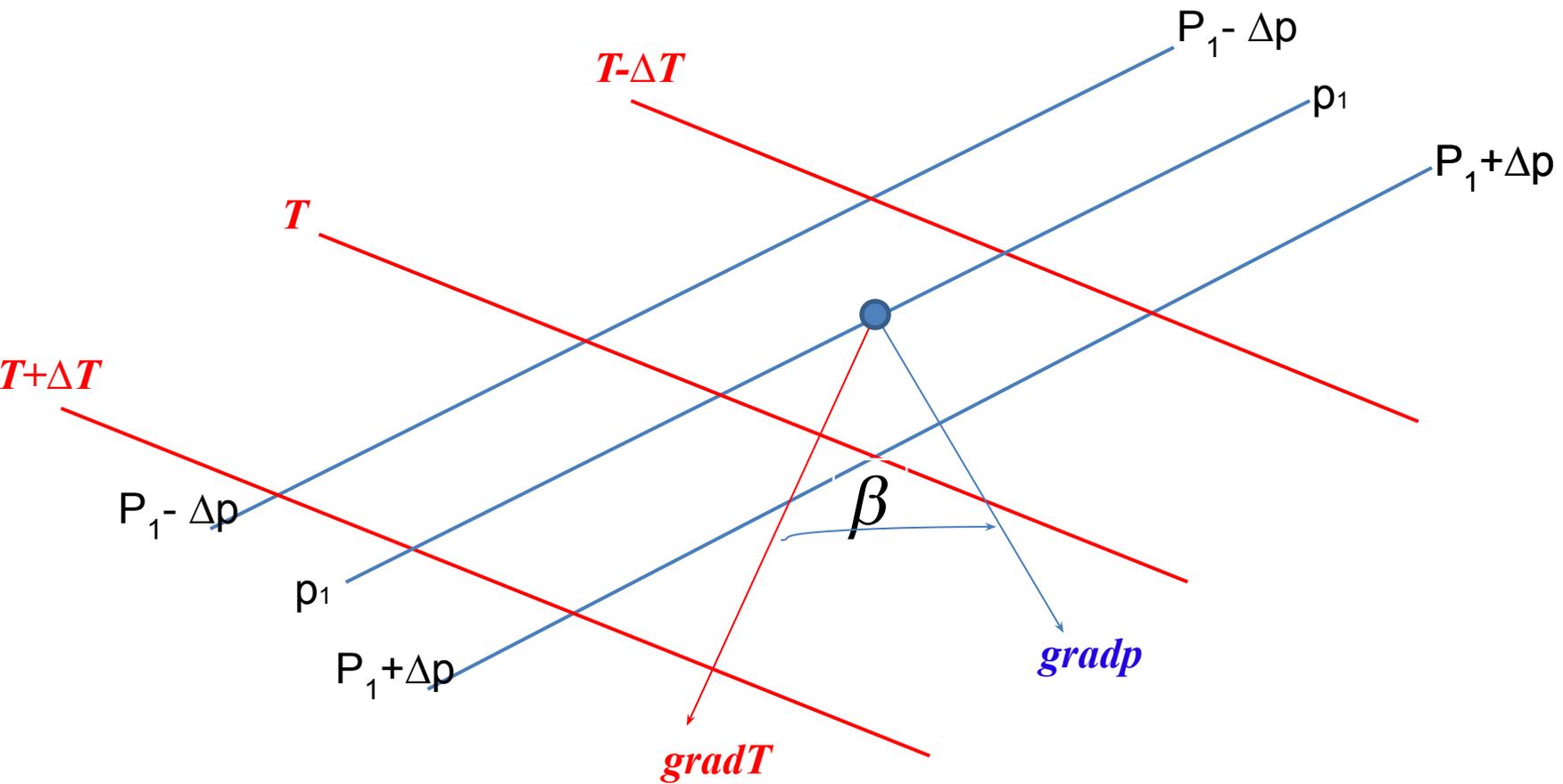
Геострофическая адвекция температуры



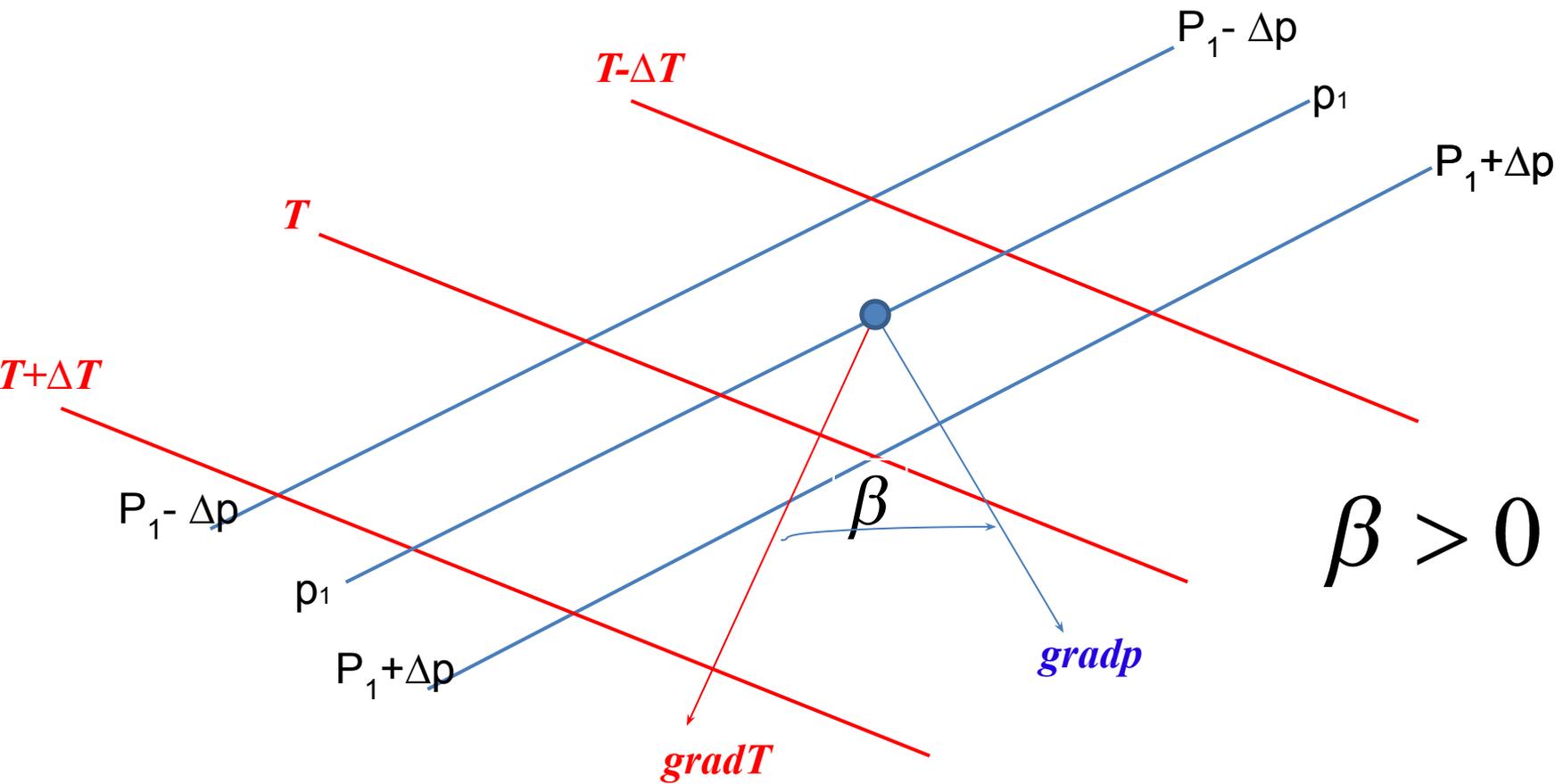
Геострофическая адвекция температуры



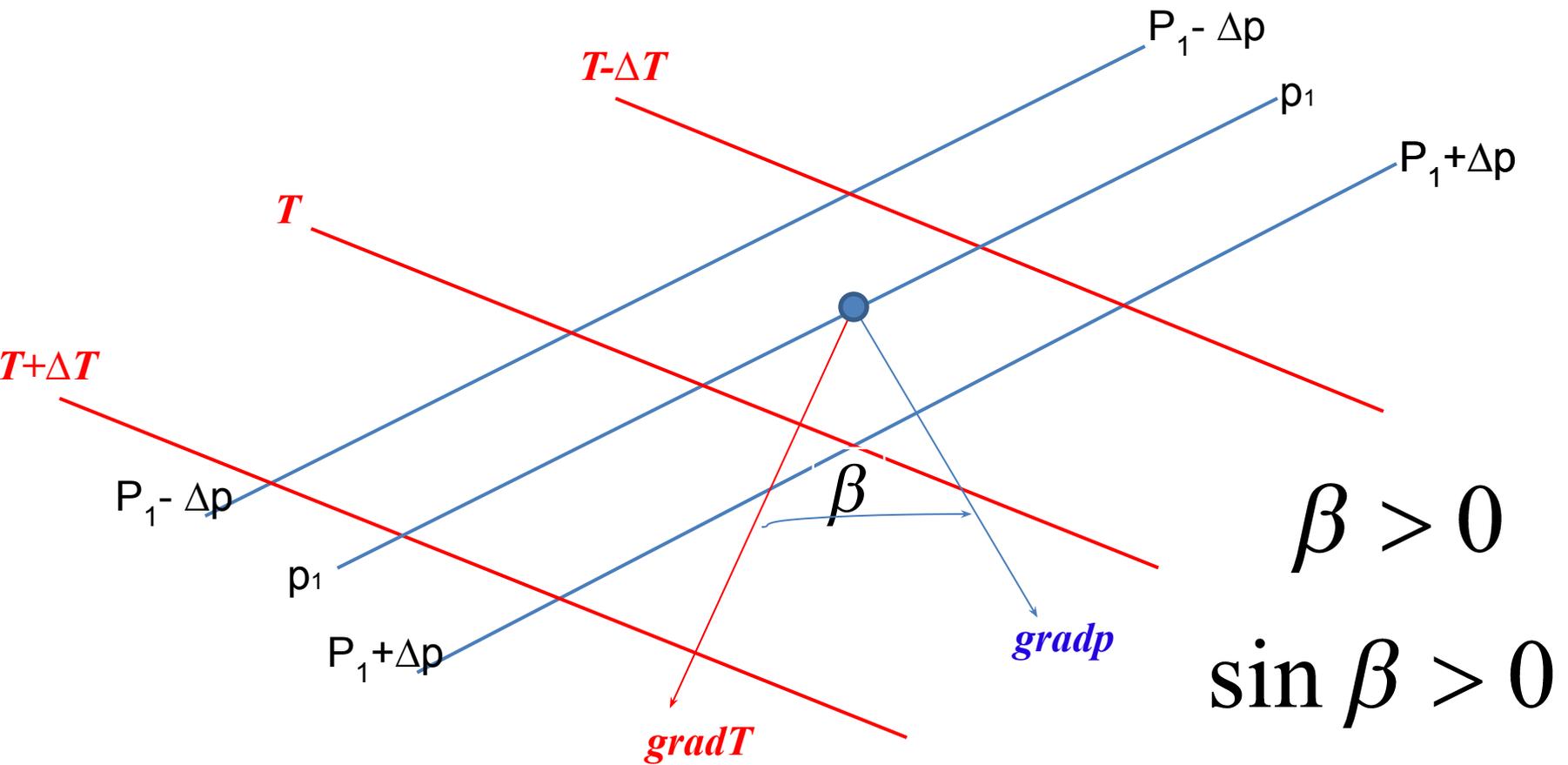
Геострофическая адвекция температуры



Геострофическая адвекция температуры

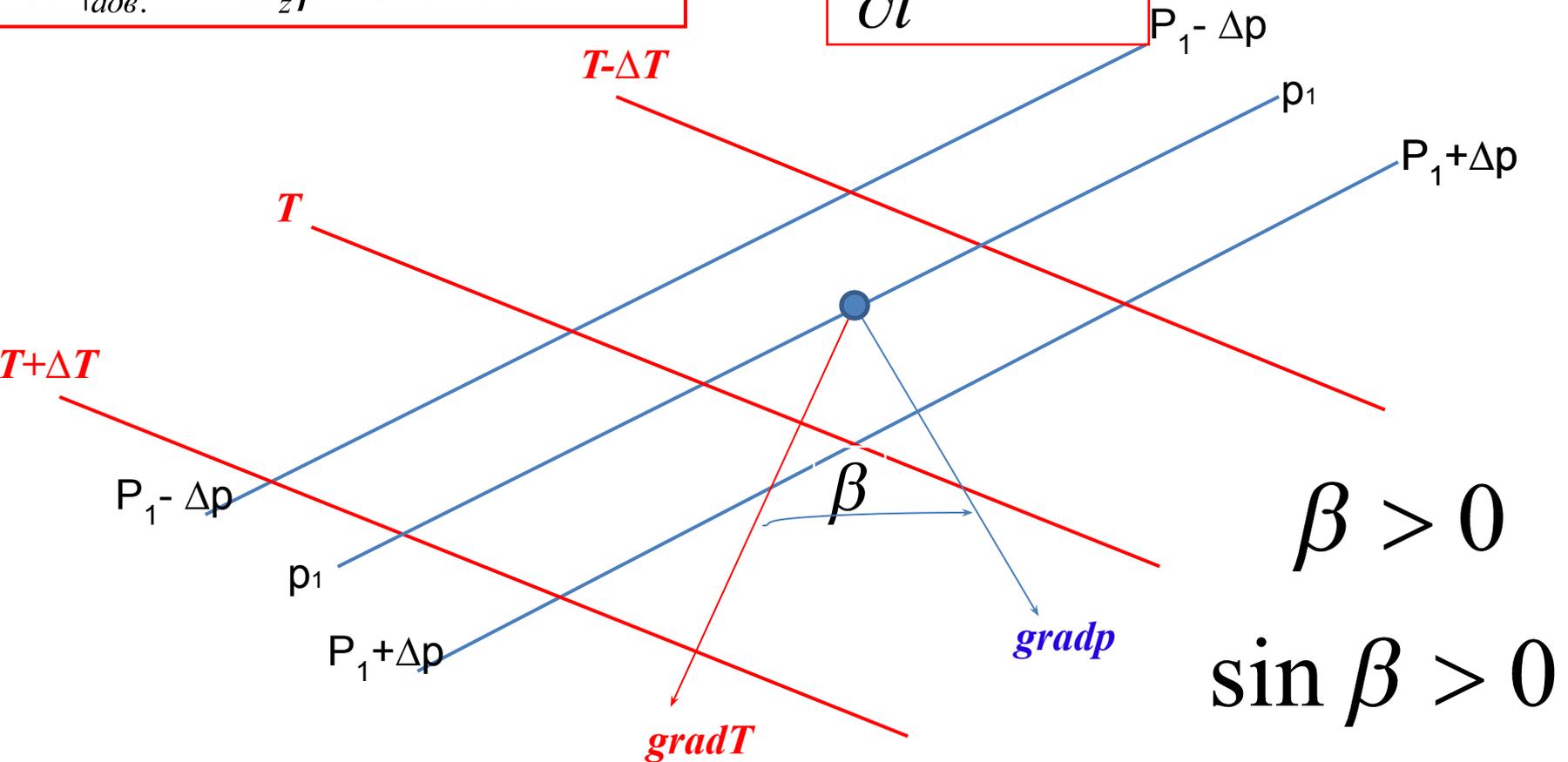


Геострофическая адвекция температуры

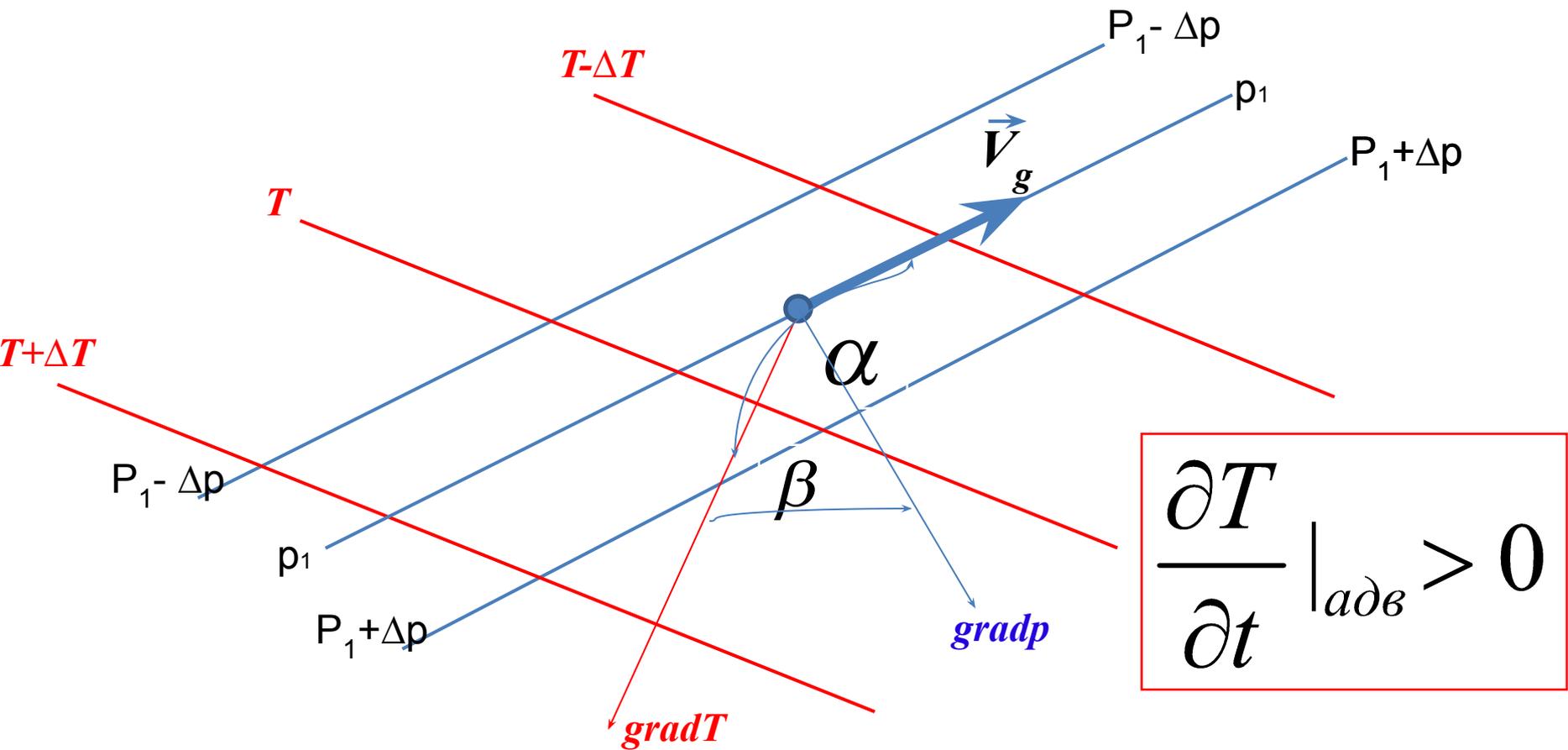


Геострофическая адвекция температуры

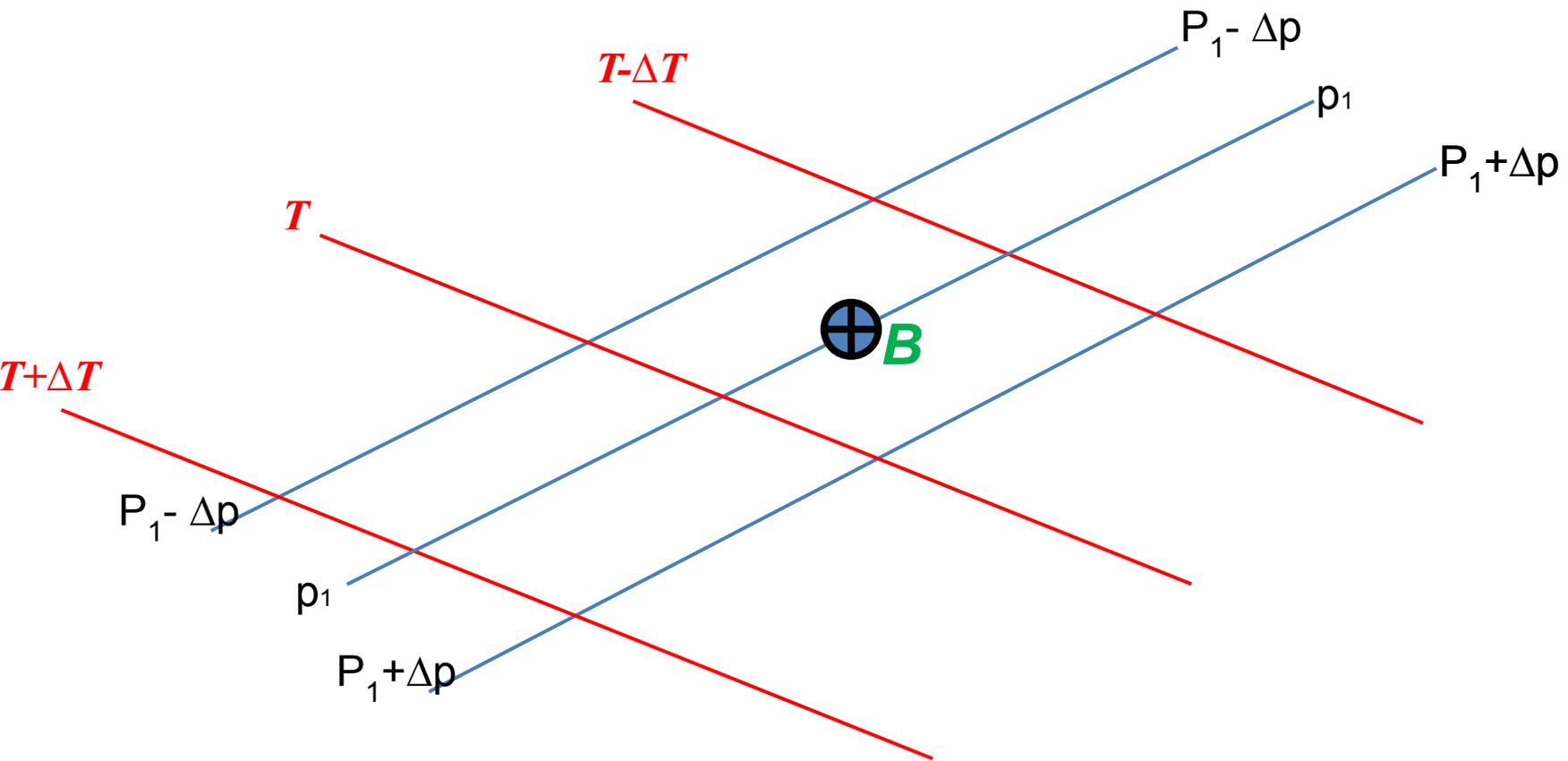
$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = \frac{1}{2\omega_z \rho} \cdot \frac{\partial T}{\partial m} \cdot \frac{\partial p}{\partial n} \cdot \sin \beta \rightarrow \left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv} > 0$$



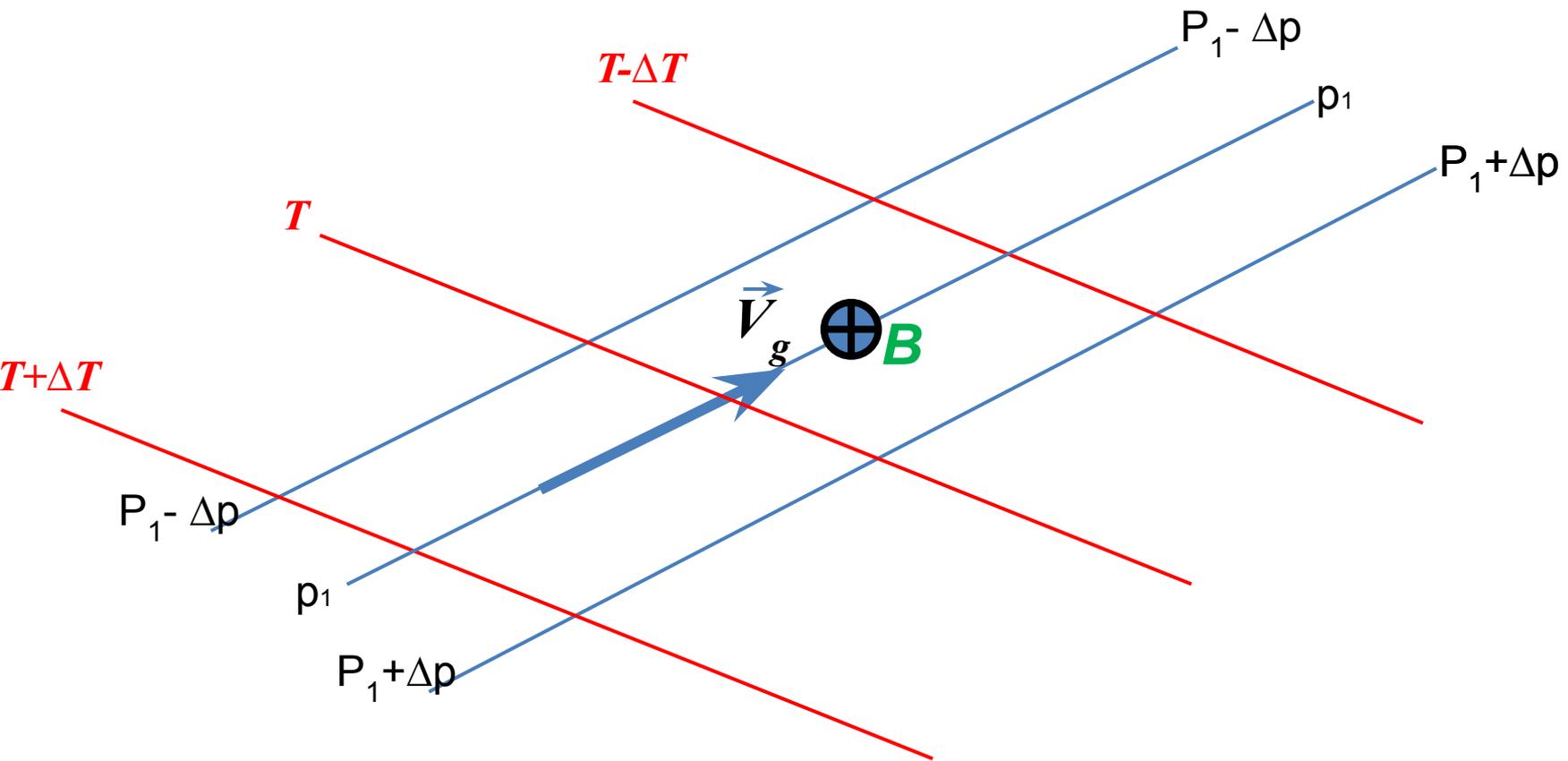
Геострофическая адвекция температуры



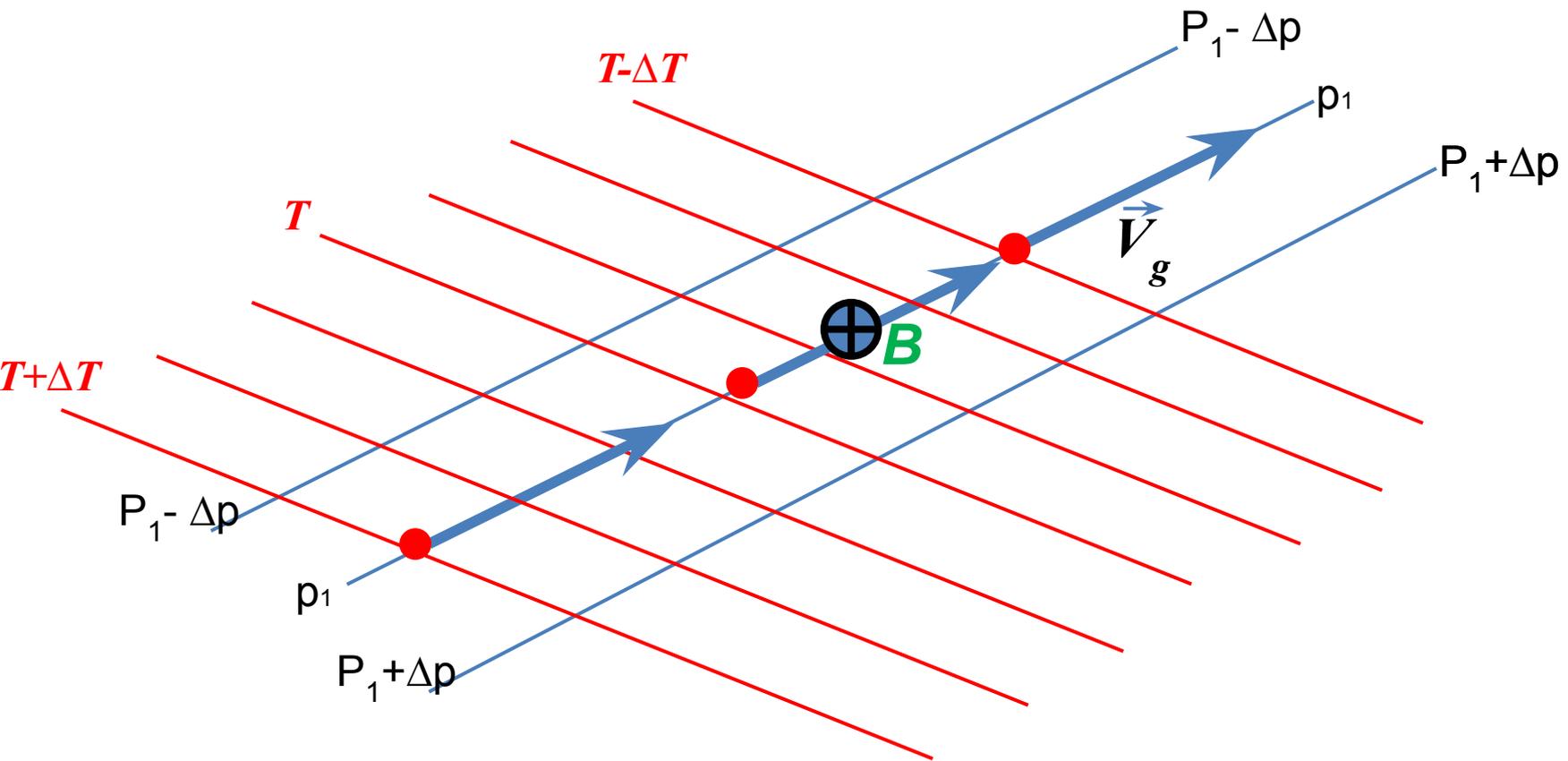
Геострофическая адвекция температуры



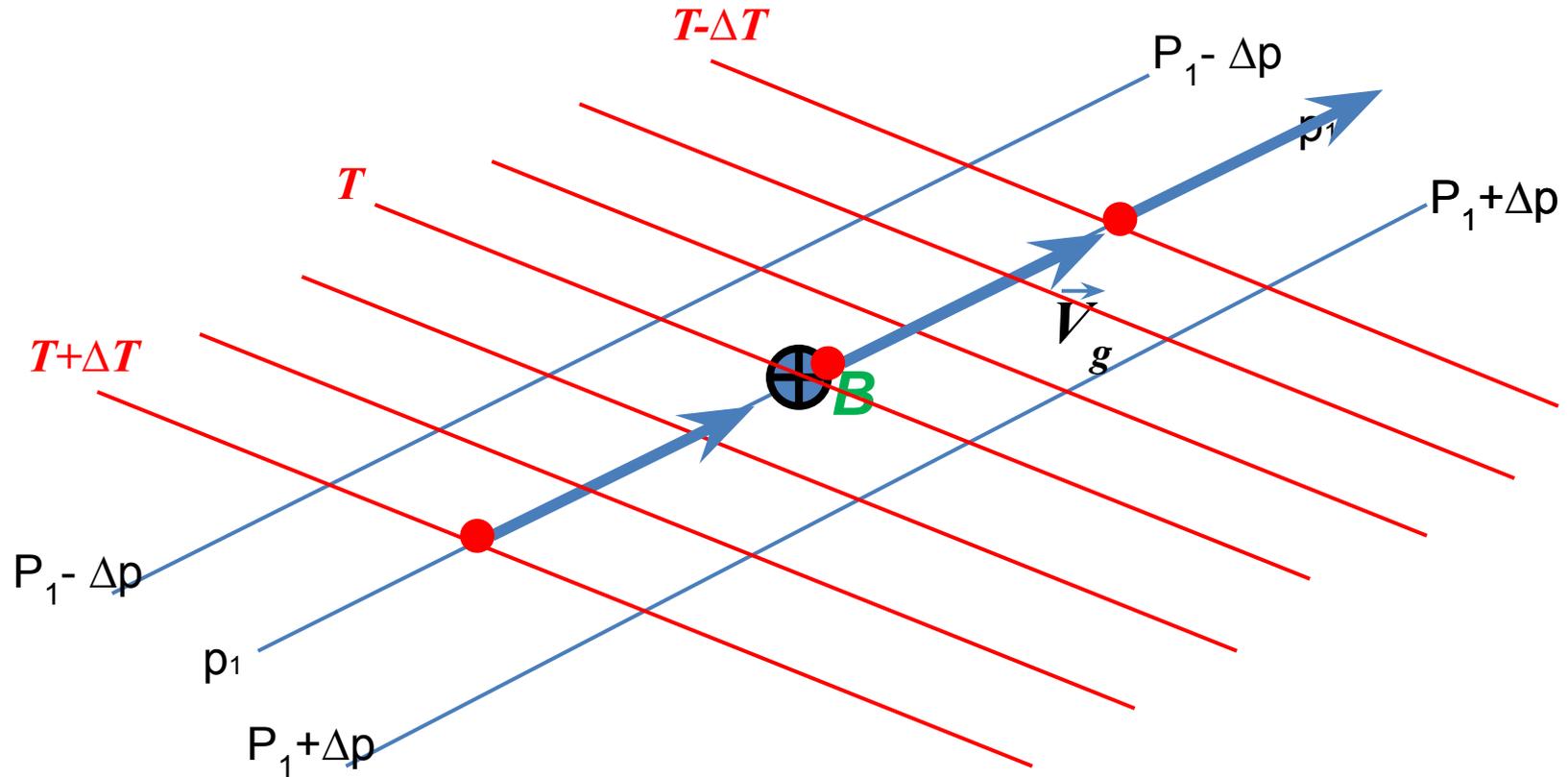
Геострофическая адвекция температуры



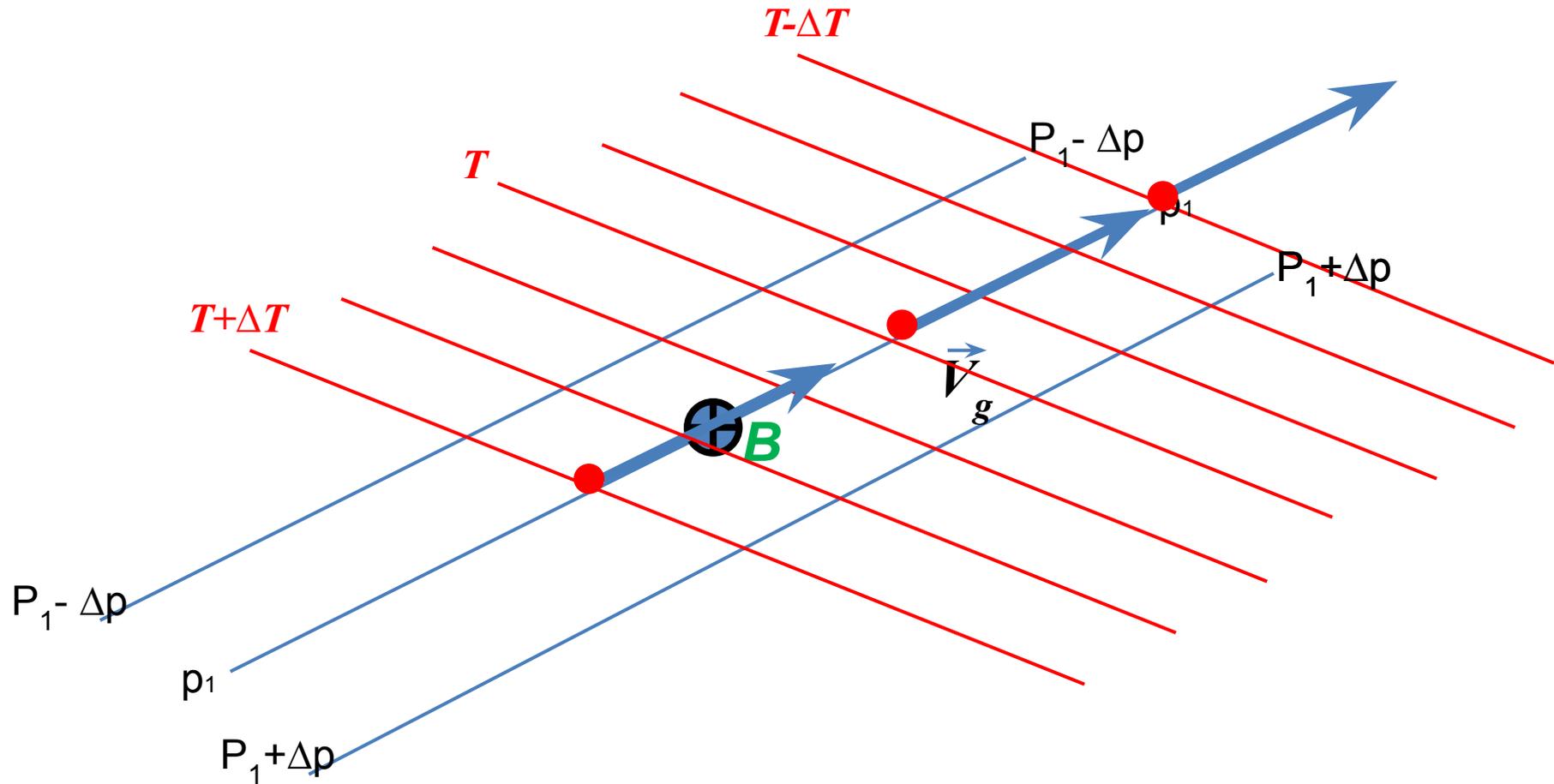
Геострофическая адвекция температуры



Геострофическая адвекция температуры

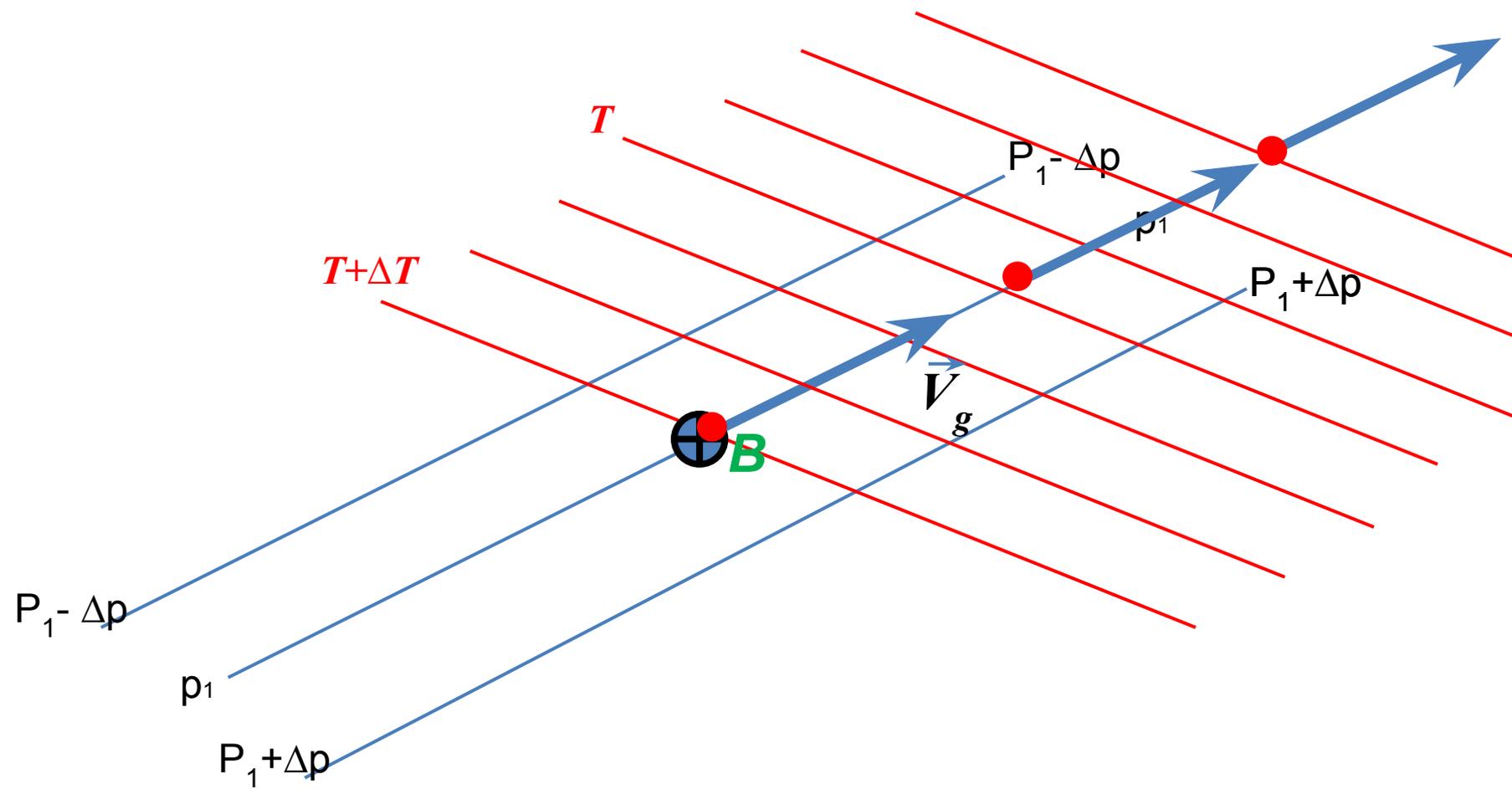


Геострофическая адвекция температуры



Геострофическая адвекция температуры

$T-\Delta T$



Связь геострофической адвекции температуры с изменением ветра по высоте

$$\overline{V} \equiv \overline{V}_g,$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = - \left(u_g \frac{\partial T}{\partial x} + v_g \frac{\partial T}{\partial y} \right)$$

$$\frac{\partial u_g}{\partial z} = - \frac{g}{l \cdot T} \frac{\partial T}{\partial y}$$

→

$$\frac{\partial T}{\partial y} = - \frac{l \cdot T}{g} \frac{\partial u_g}{\partial z},$$

$$\frac{\partial v_g}{\partial z} = \frac{g}{l \cdot T} \frac{\partial T}{\partial x}$$

→

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{l \cdot T}{g} \frac{\partial v_g}{\partial z}$$

Связь геострофической адвекции температуры с изменением ветра по высоте

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = - \left(u_g \frac{\partial T}{\partial x} + v_g \frac{\partial T}{\partial y} \right), \quad u_g = V_g \cdot \cos \alpha,$$
$$v_g = V_g \cdot \sin \alpha,$$

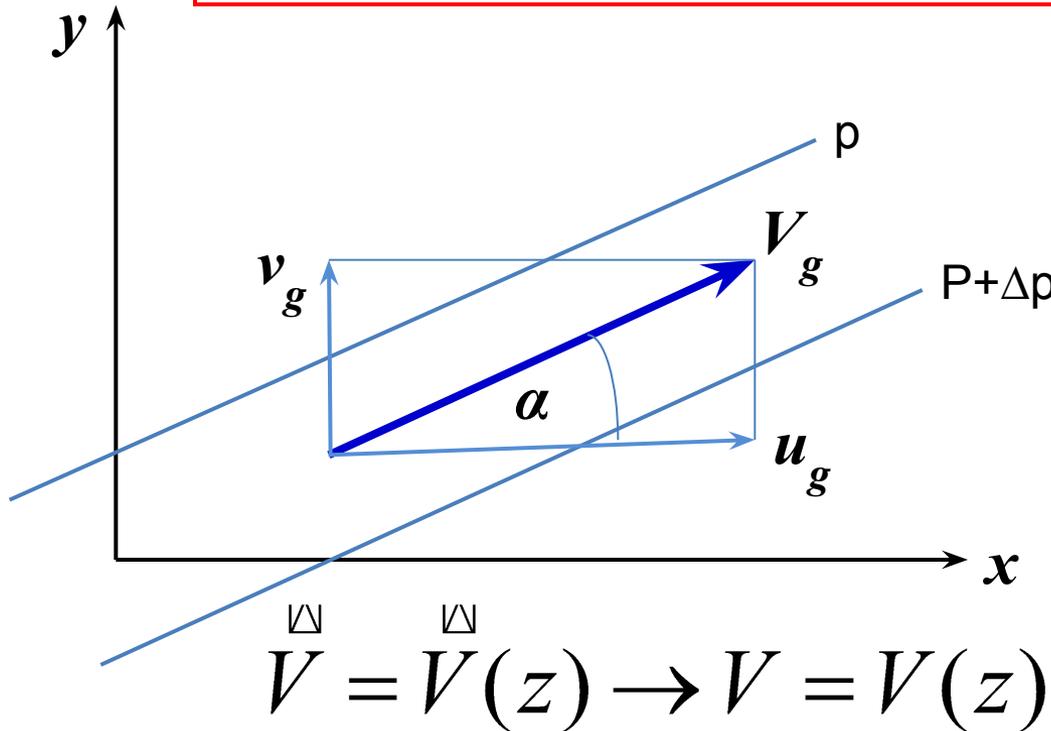
$$\frac{\partial T}{\partial y} = - \frac{l \cdot T}{g} \frac{\partial u_g}{\partial z},$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{l \cdot T}{g} \frac{\partial v_g}{\partial z}$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = - \frac{l \cdot T}{g} \left(u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} - v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} \right)$$

Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -\frac{l \cdot T}{g} \left(u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} - v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} \right)$$

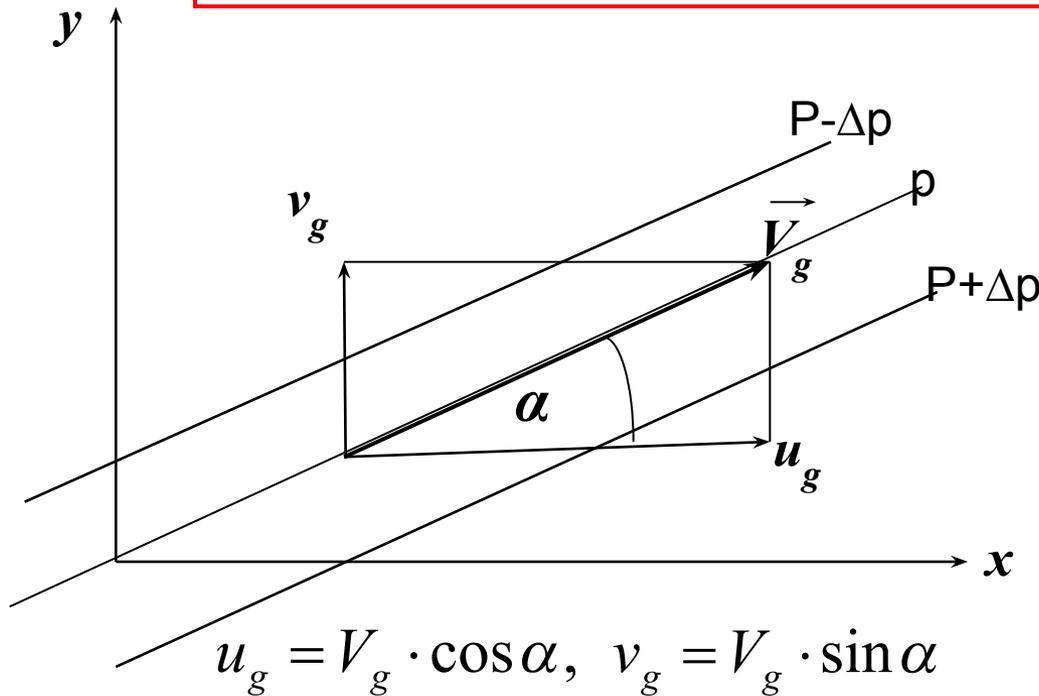


$$u_g = V_g \cdot \cos \alpha,$$

$$v_g = V_g \cdot \sin \alpha,$$

Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

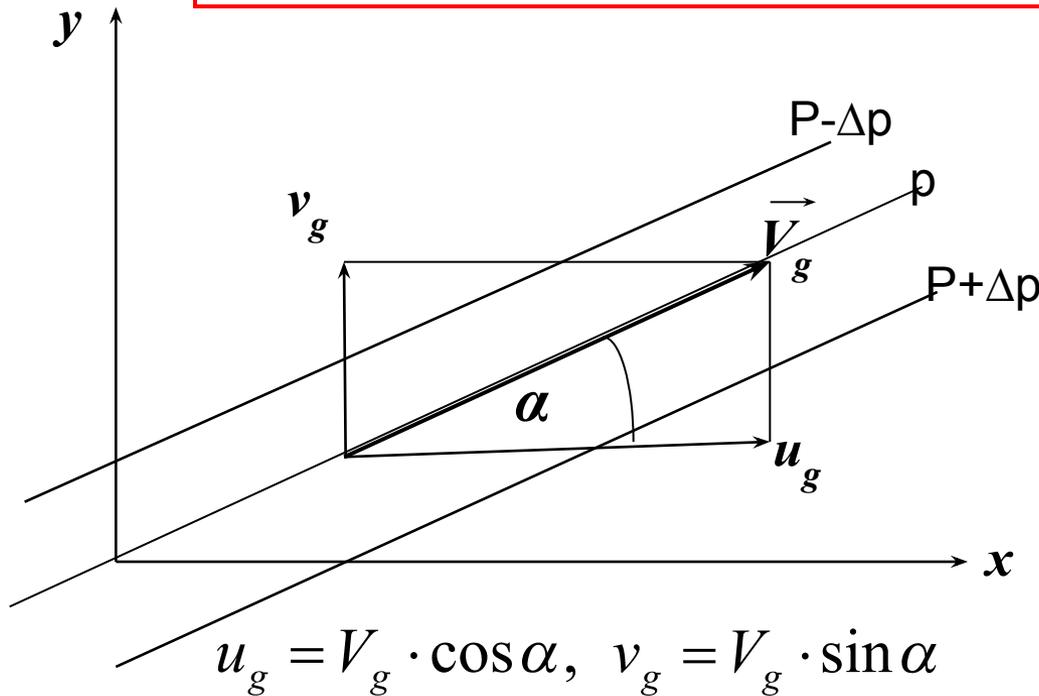
$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = - \frac{l \cdot T}{g} \left(u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} - v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} \right)$$



$$\overset{\square}{V} = \overset{\square}{V}(z) \rightarrow V = V(z), \quad \alpha = \alpha(z)$$

Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -\frac{l \cdot T}{g} \left(u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} - v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} \right)$$



$$\overset{\square}{V} = \overset{\square}{V}(z) \rightarrow V = V(z), \quad \alpha = \alpha(z)$$

Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

$$u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} = V_g \cdot \cos \alpha \cdot \left(\frac{\partial V_g}{\partial z} \sin \alpha + V_g \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z} \right) =$$
$$= V_g \cdot \frac{\partial V_g}{\partial z} \cos \alpha \cdot \sin \alpha + V_g^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z},$$

$$v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} = V_g \cdot \frac{\partial V_g}{\partial z} \sin \alpha \cdot \cos \alpha - V_g^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z}$$

Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

$$u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} = V_g \cdot \frac{\partial V_g}{\partial z} \cos \alpha \cdot \sin \alpha + V_g^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z},$$

$$-v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} = -V_g \cdot \frac{\partial V_g}{\partial z} \sin \alpha \cdot \cos \alpha + V_g^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z},$$

Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

$$u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} = \underbrace{V_g \cdot \frac{\partial V_g}{\partial z} \cos \alpha \cdot \sin \alpha}_{A} + V_g^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z},$$

$$-v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} = -V_g \cdot \frac{\partial V_g}{\partial z} \sin \alpha \cdot \cos \alpha + V_g^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z},$$

Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

$$u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} = \underbrace{V_g \cdot \frac{\partial V_g}{\partial z} \cos \alpha \cdot \sin \alpha}_{A} + V_g^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z},$$

$$-v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} = \underbrace{-V_g \cdot \frac{\partial V_g}{\partial z} \sin \alpha \cdot \cos \alpha}_{B} + V_g^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z},$$

Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

$$u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} = \underbrace{V_g \cdot \frac{\partial V_g}{\partial z} \cos \alpha \cdot \sin \alpha}_A + \underbrace{V_g^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z}}$$

$$-v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} = \underbrace{-V_g \cdot \frac{\partial V_g}{\partial z} \sin \alpha \cdot \cos \alpha}_B + \underbrace{V_g^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z}}$$

Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

$$u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} = \underbrace{V_g \cdot \frac{\partial V_g}{\partial z} \cos \alpha \cdot \sin \alpha}_A + \underbrace{V_g^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z}}_B,$$

$$-v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} = \underbrace{-V_g \cdot \frac{\partial V_g}{\partial z} \sin \alpha \cdot \cos \alpha}_B + \underbrace{V_g^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z}}_B,$$

$$u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} - v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} = V_g^2 \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z},$$

Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

$$u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} - v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} = V_g^2 \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z},$$

Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

$$u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} - v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} = V_g^2 \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z},$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -\frac{l \cdot T}{g} \left(u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} - v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} \right)$$

Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

$$u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} - v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} = V_g^2 \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z},$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -\frac{l \cdot T}{g} \left(u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} - v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} \right)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -\frac{l \cdot T}{g} \cdot V_g^2 \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z}$$

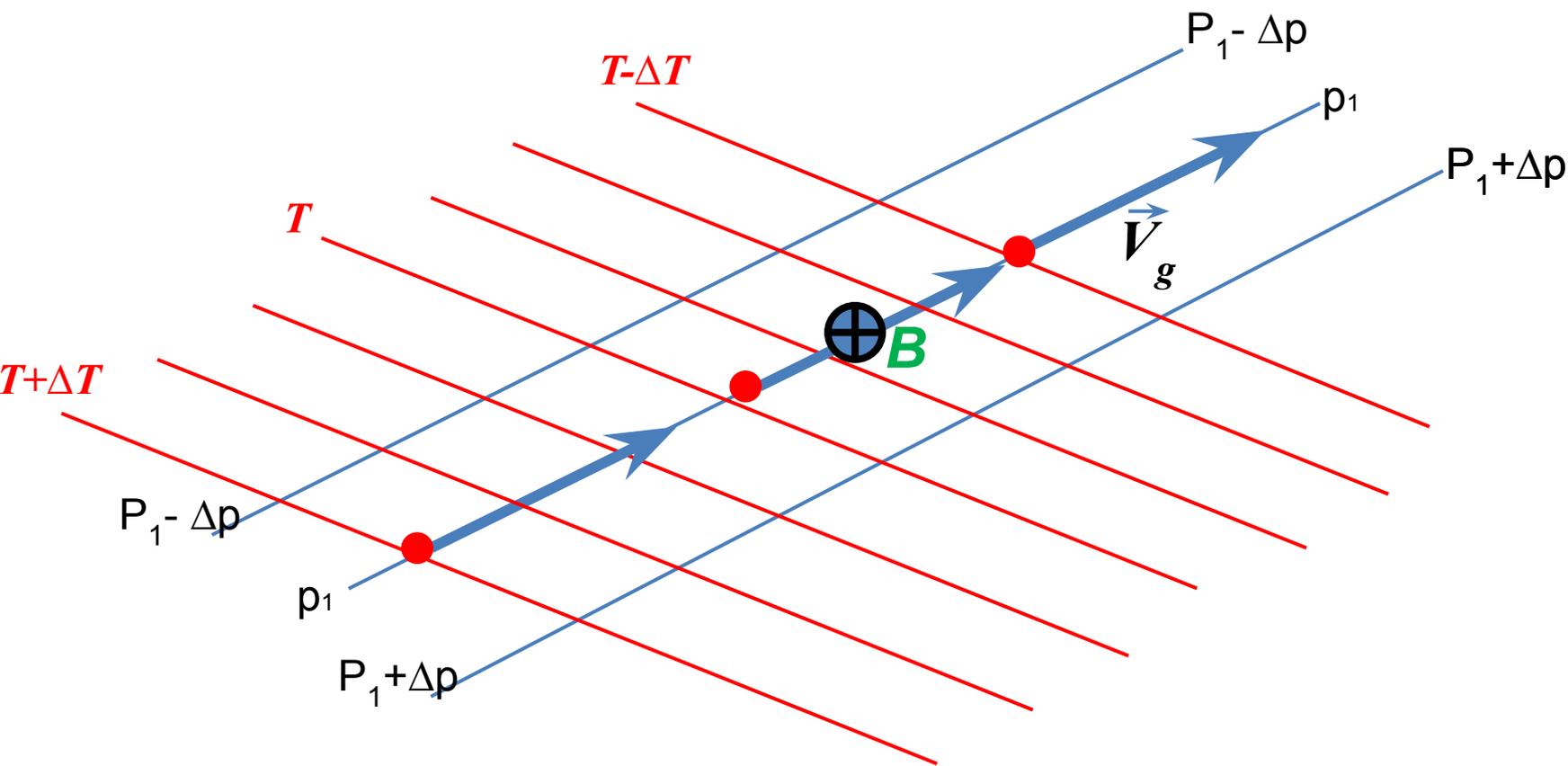
Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = - \frac{l \cdot T}{g} \cdot V_g^2 \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial z}$$

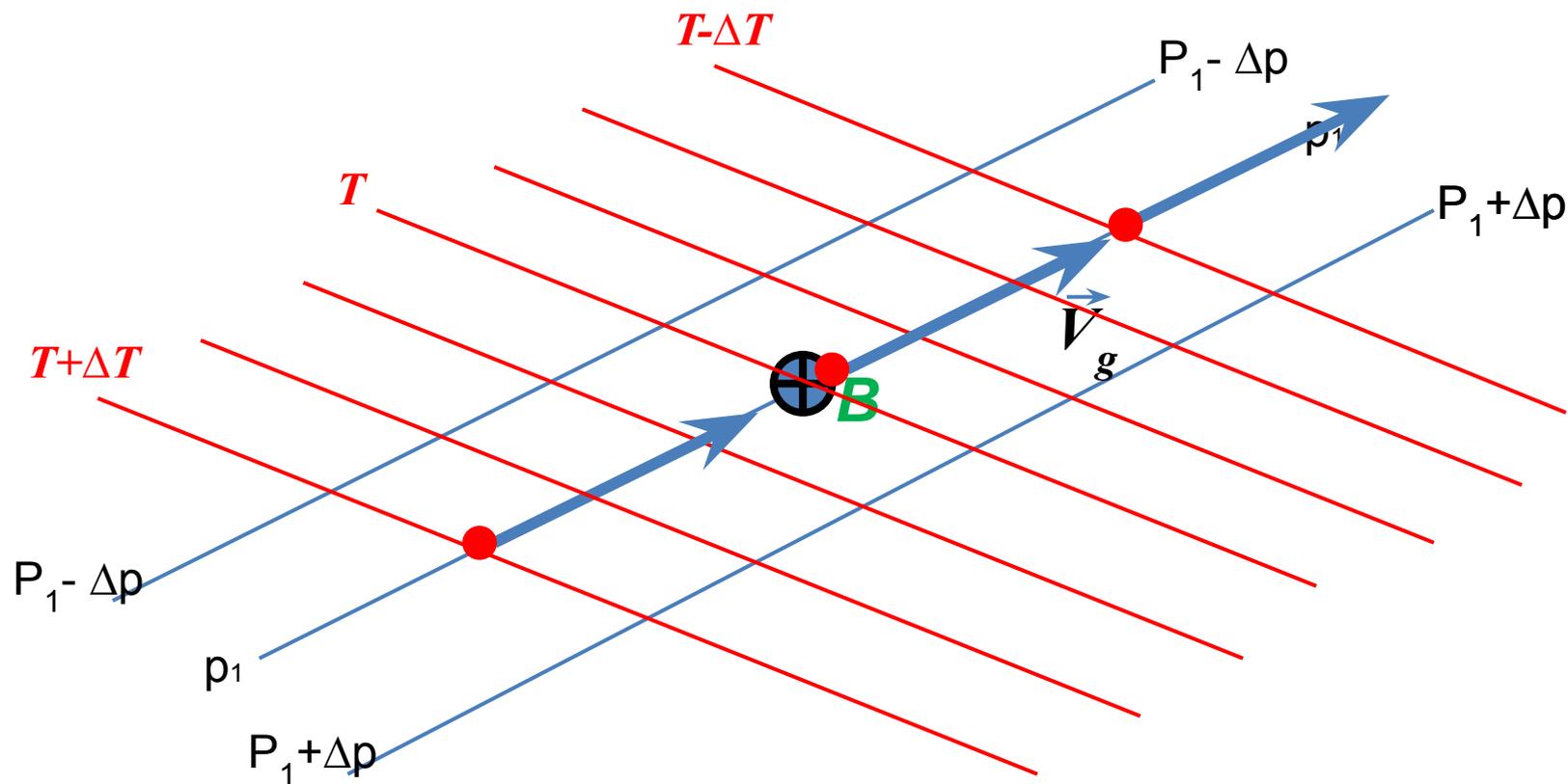
$$\frac{\partial \alpha}{\partial z} > 0 \rightarrow \left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} < 0 - \text{адвекция холода,}$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial z} < 0 \rightarrow \left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} > 0 - \text{адвекция тепла.}$$

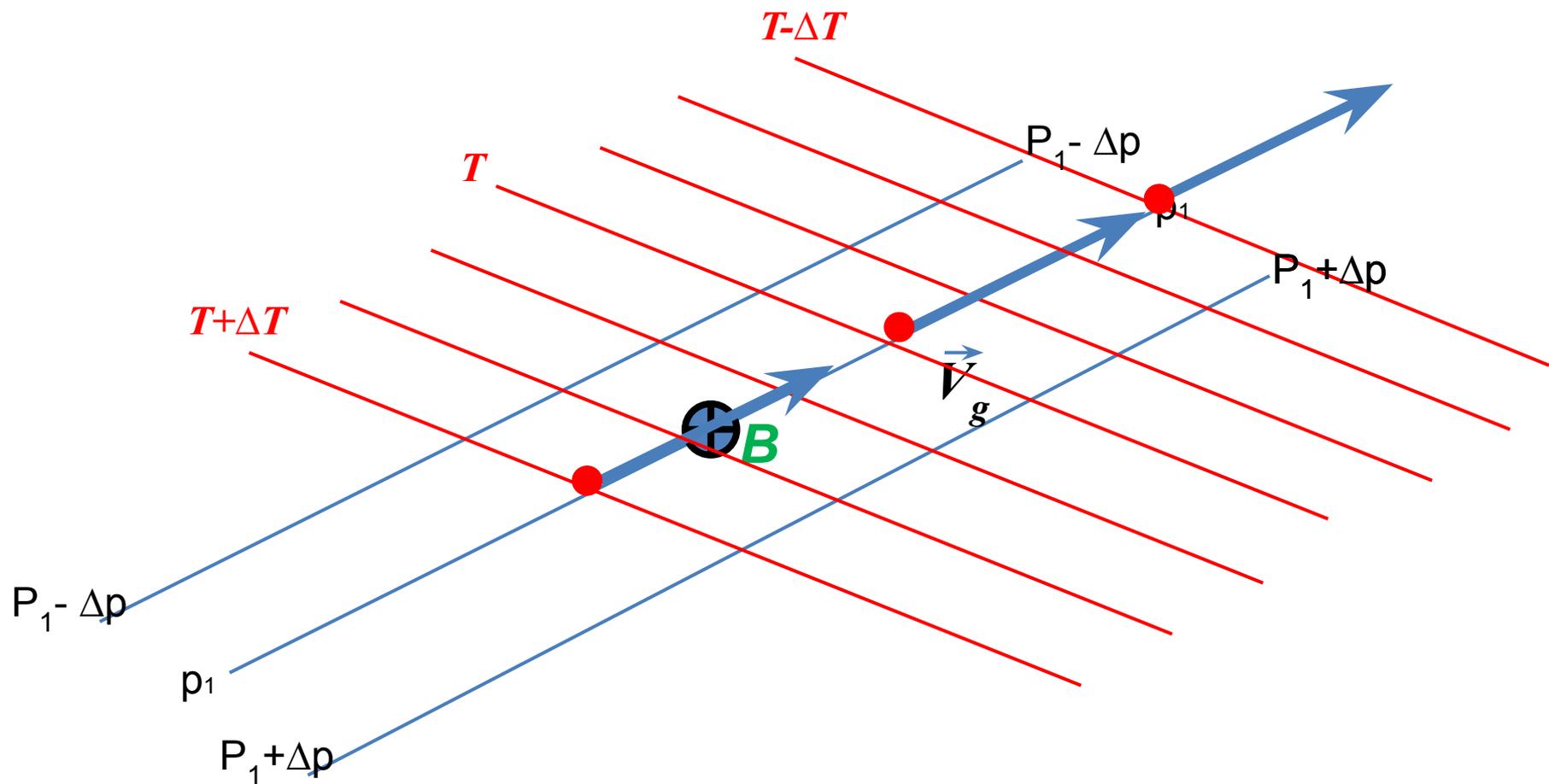
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

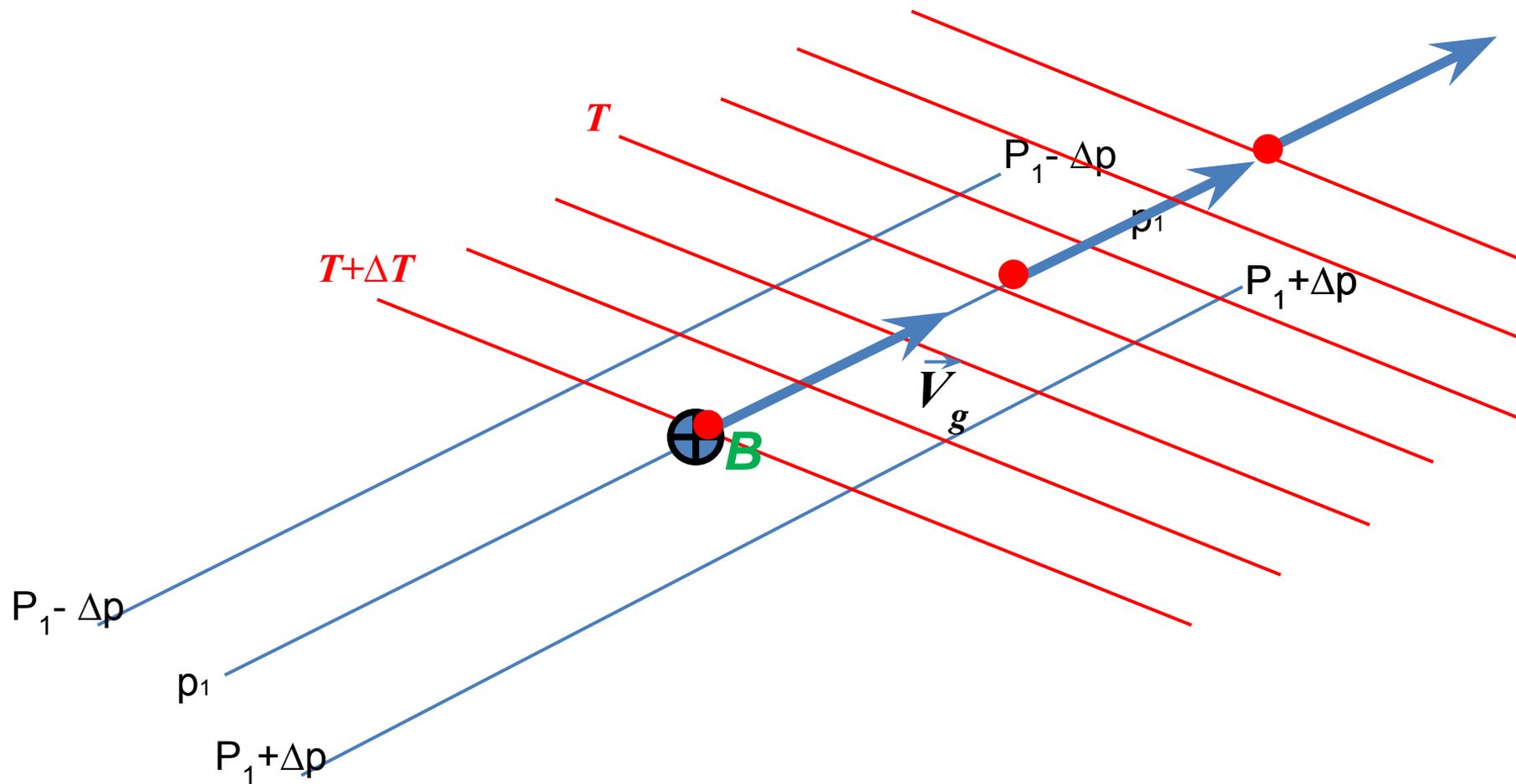


Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

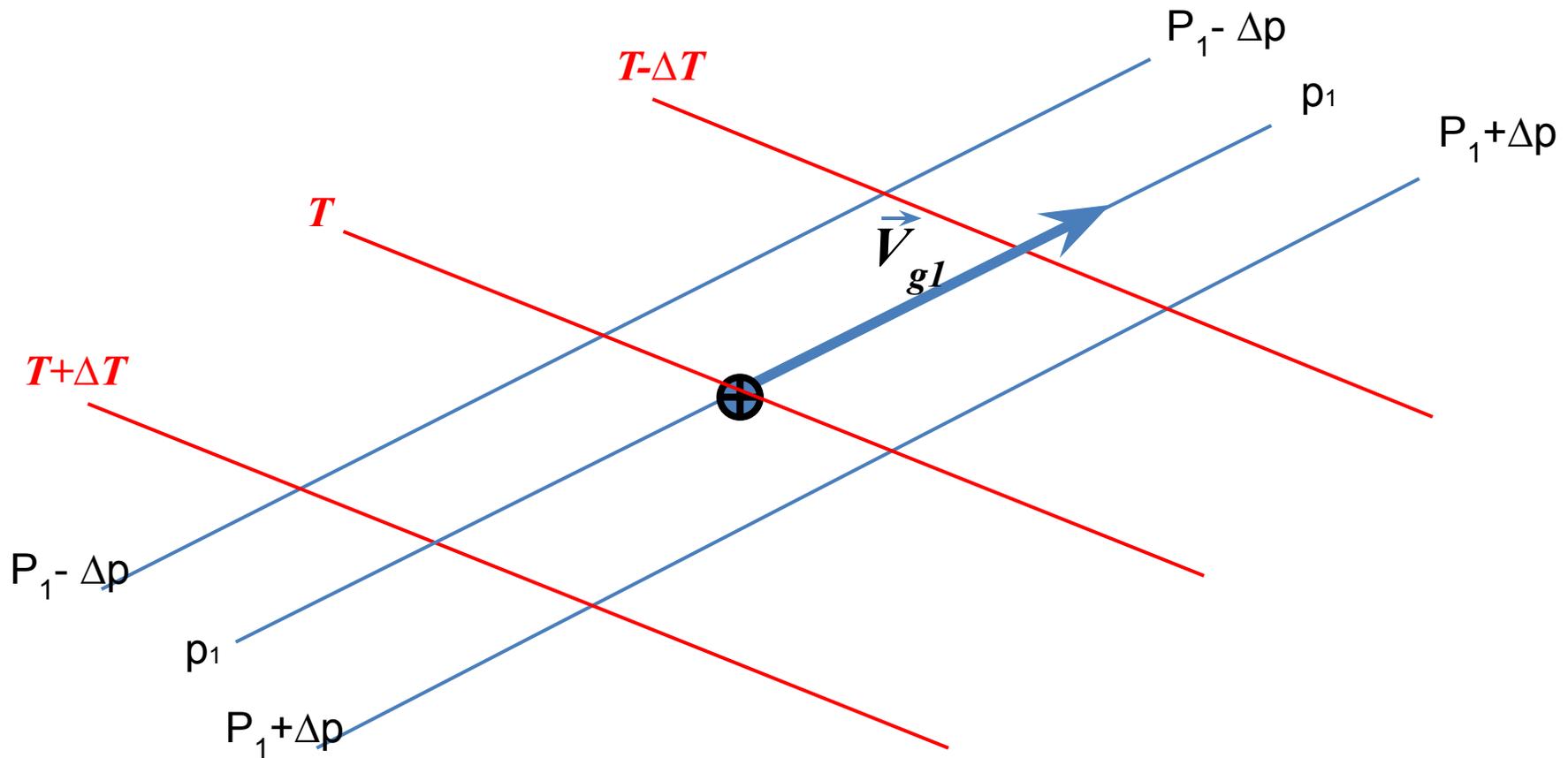


Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

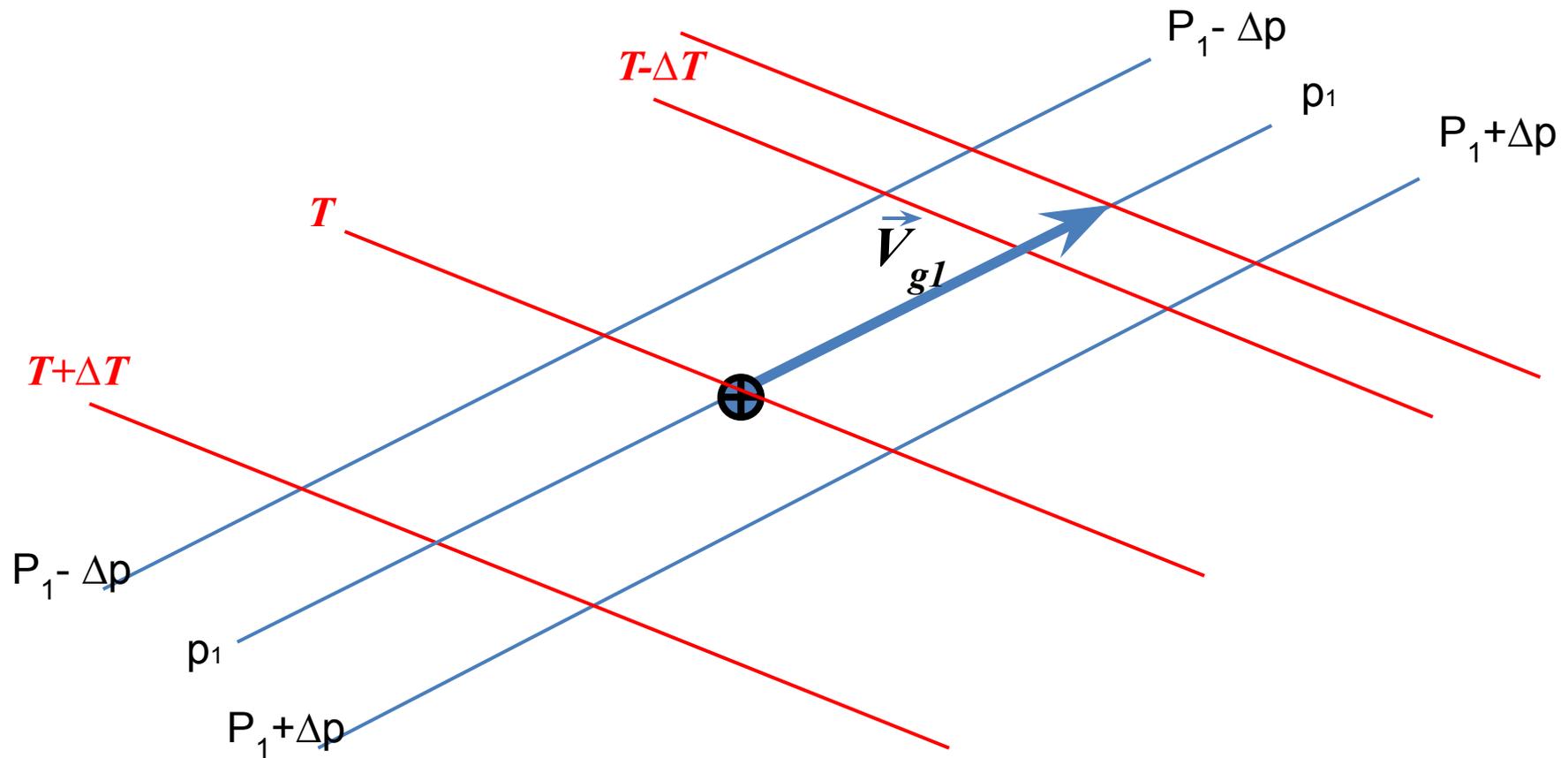
$T-\Delta T$



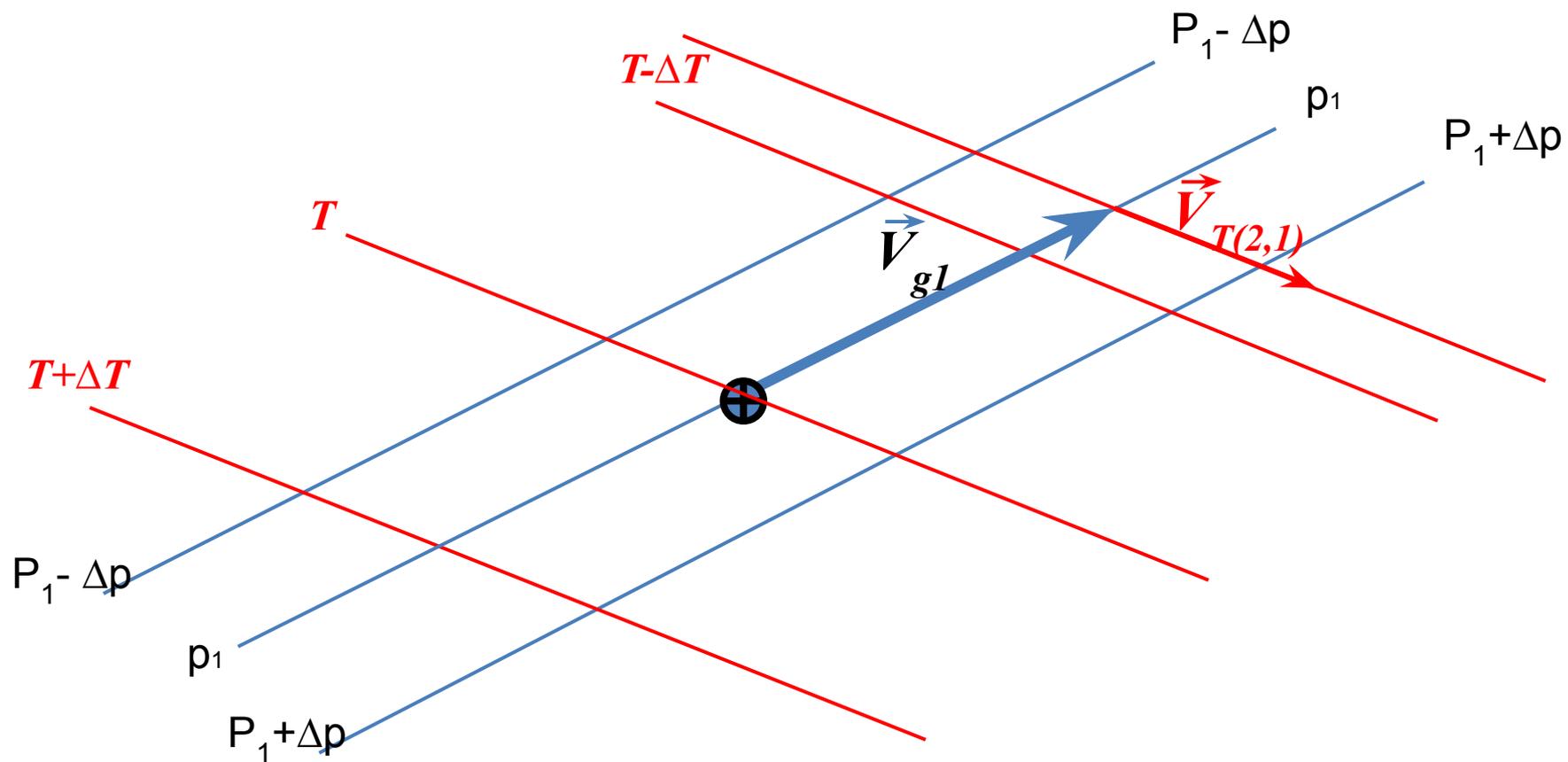
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



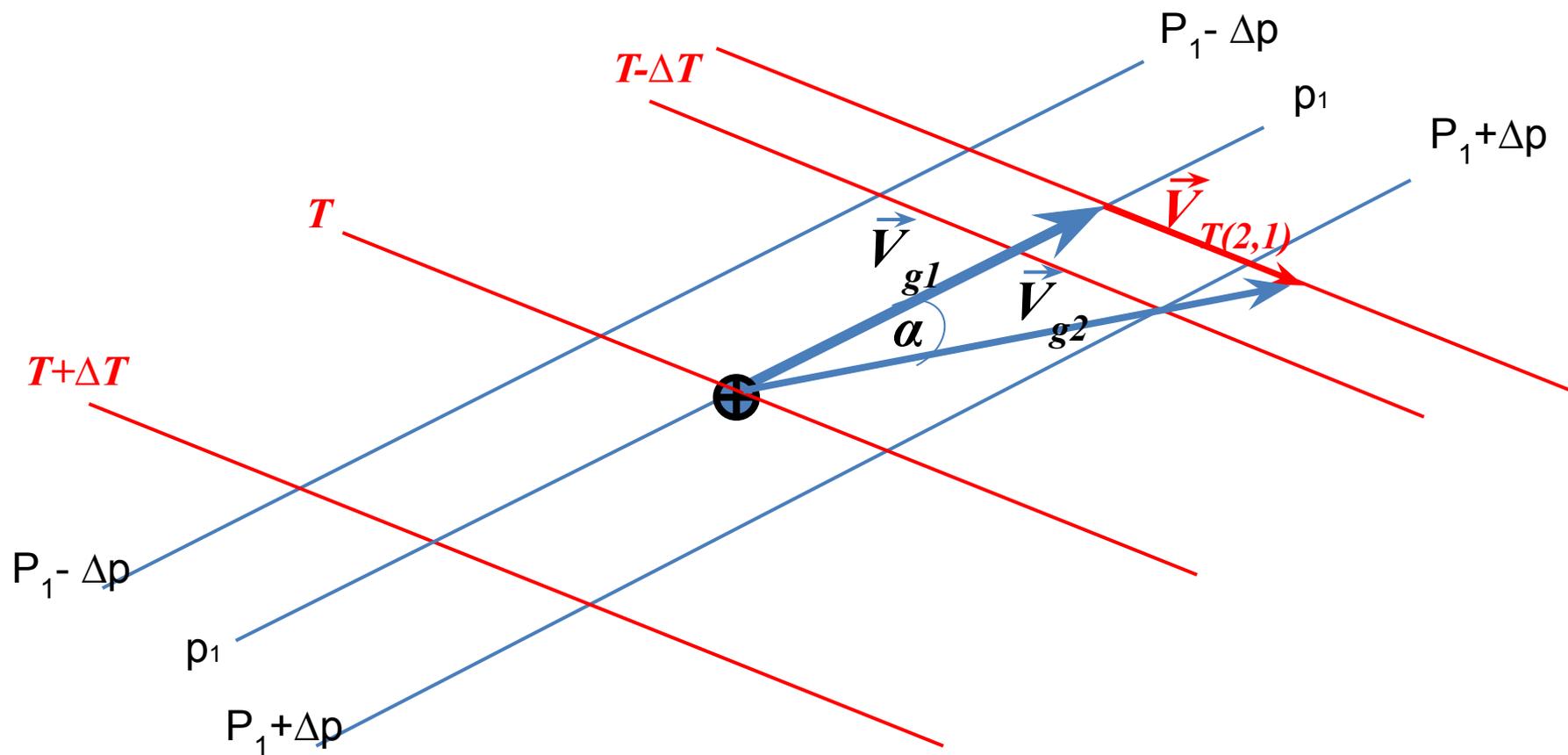
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



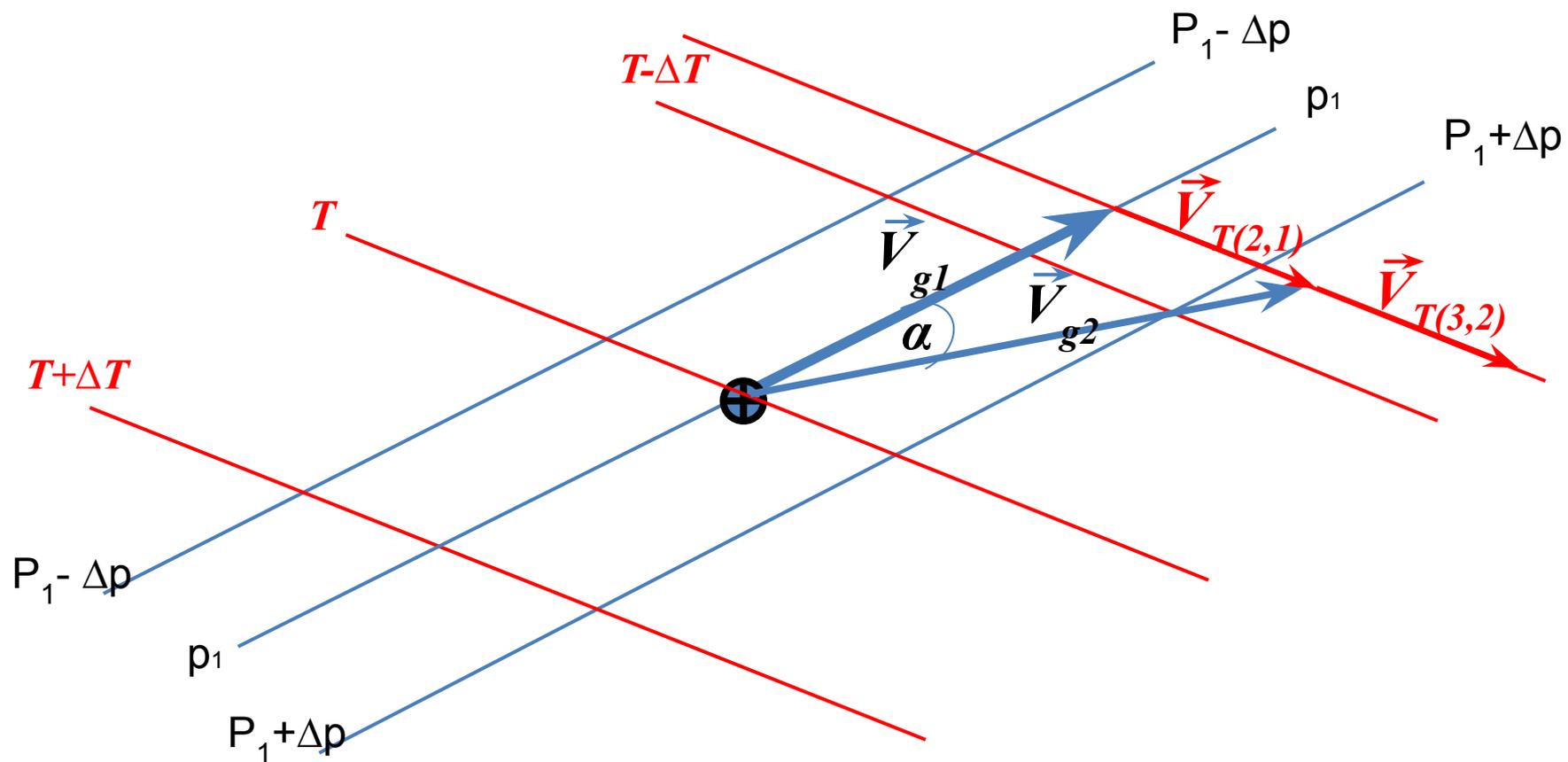
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



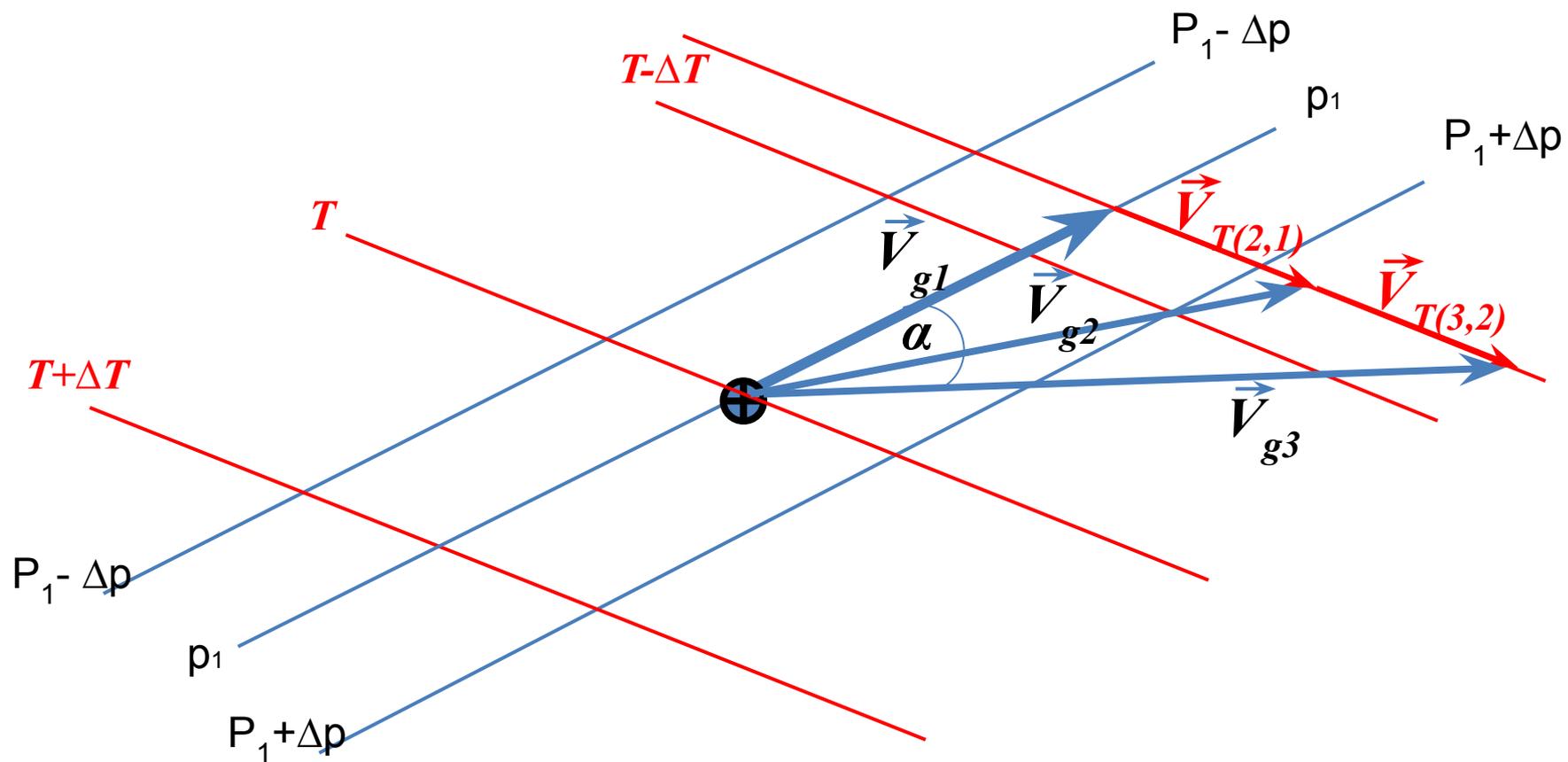
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

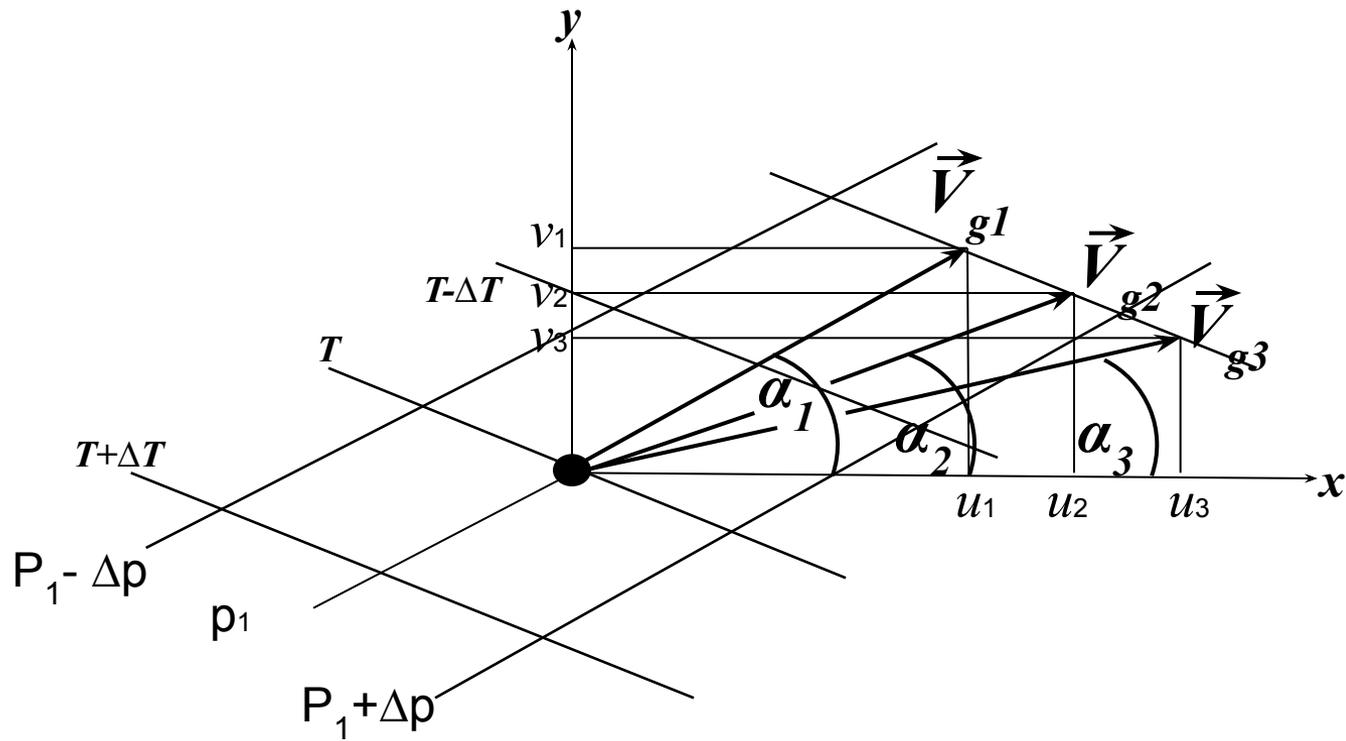


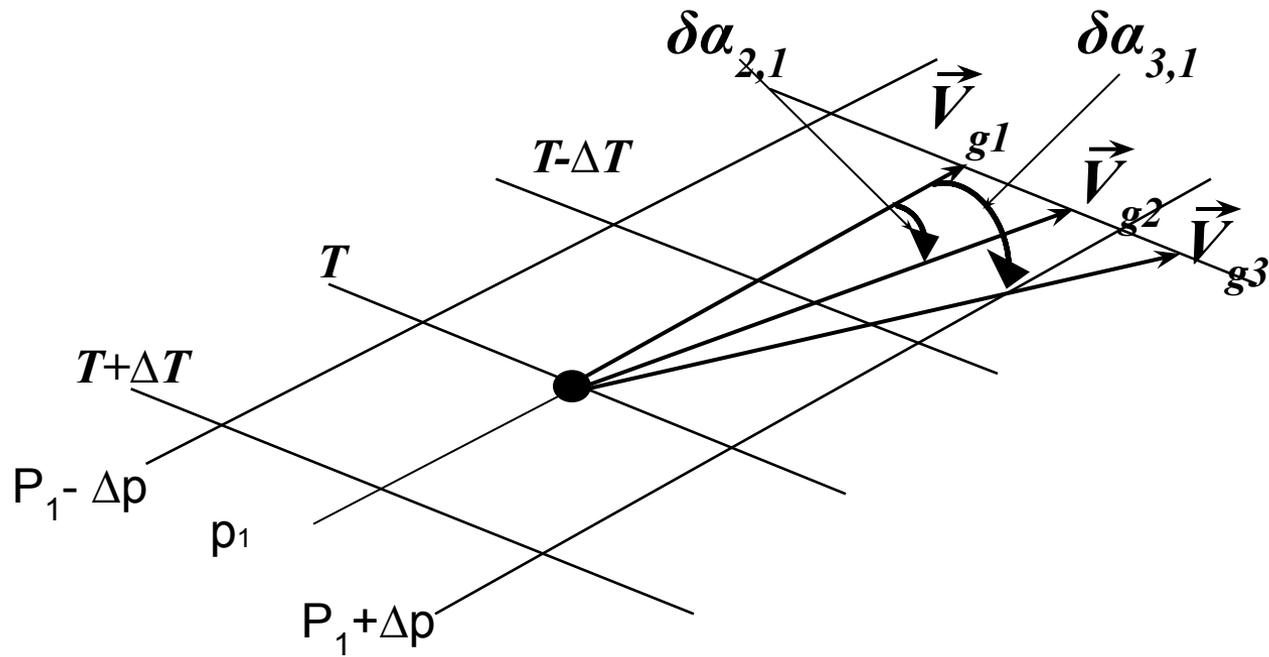
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

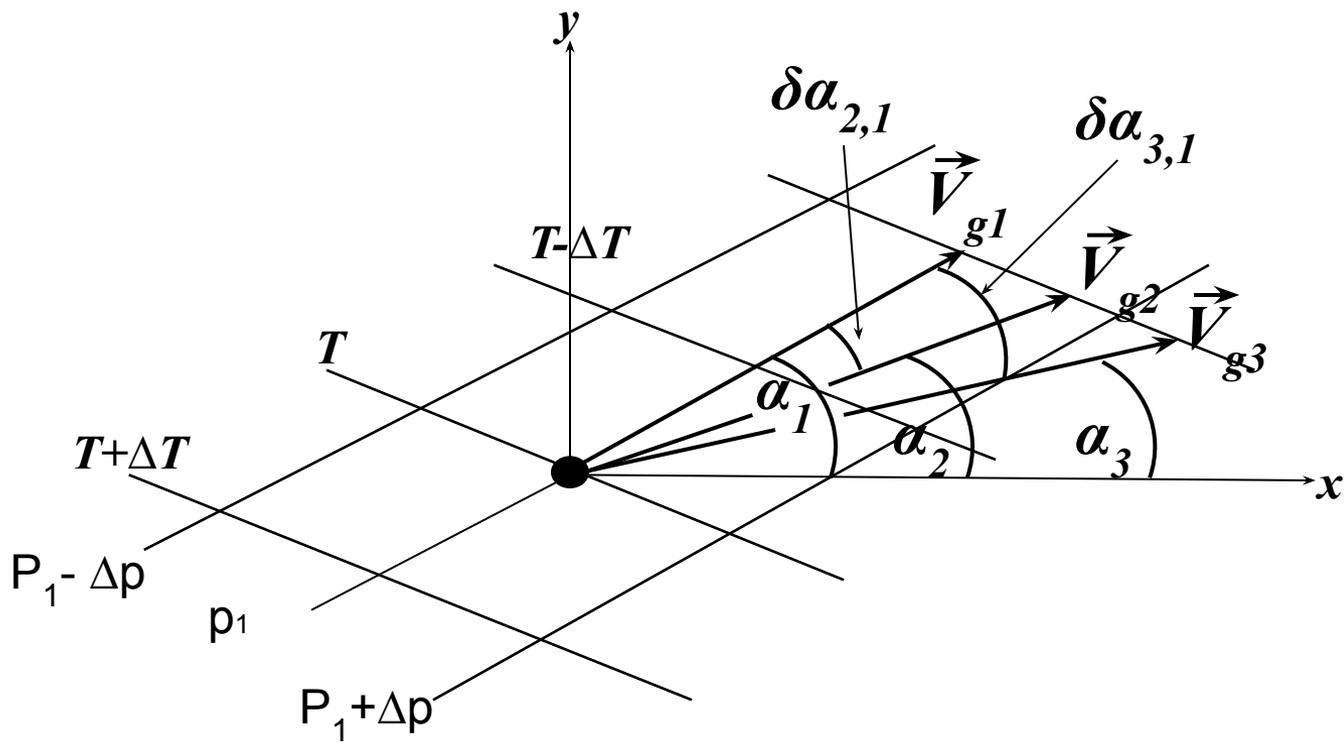


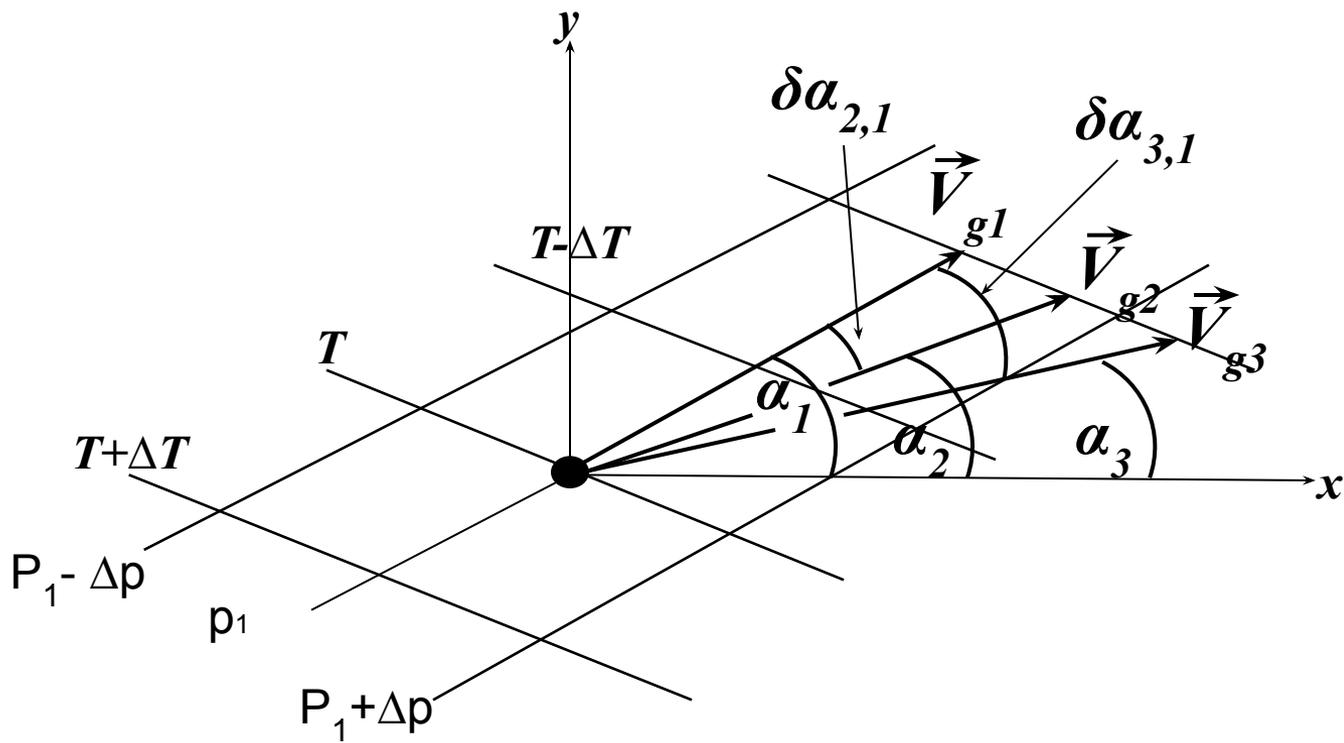
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



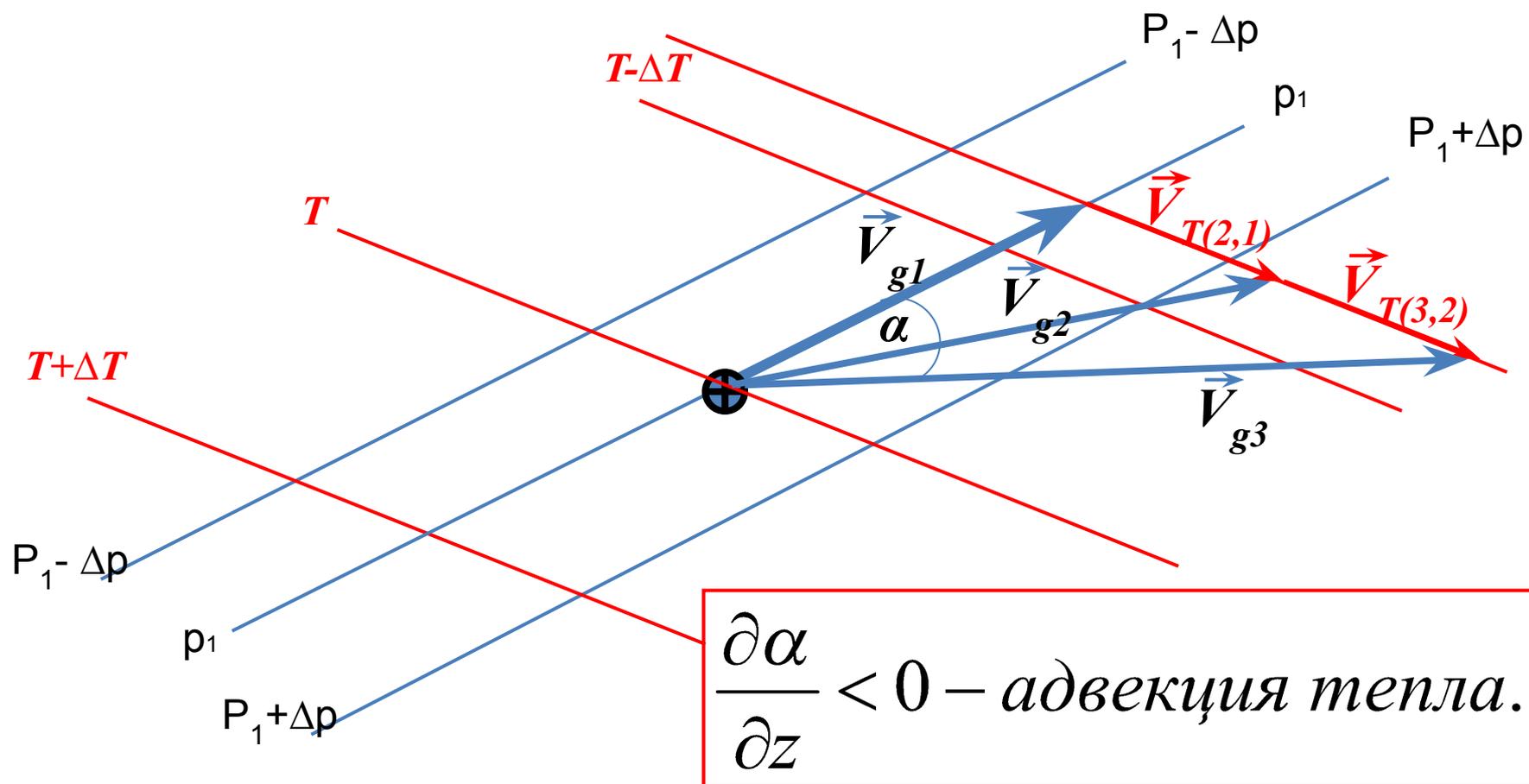








Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



A world map showing temperature contours. The map is color-coded with a gradient from green (cooler) to red (warmer). Contour lines are labeled with values such as 5, 10, and 20. The title is overlaid on the map in a dark red font.

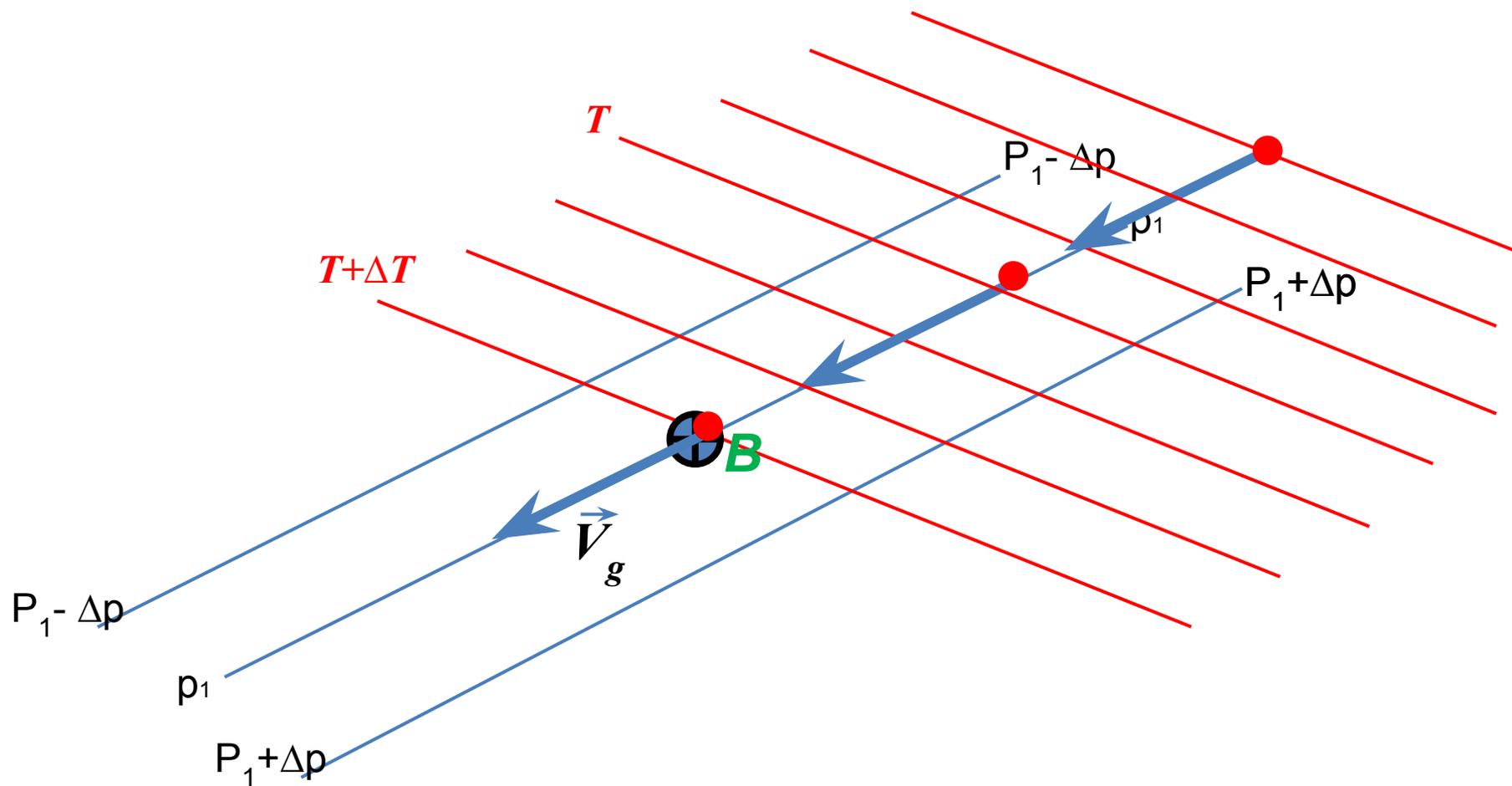
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

Ветер меняет направление с высотой с поворотом вправо (по часовой стрелке) –

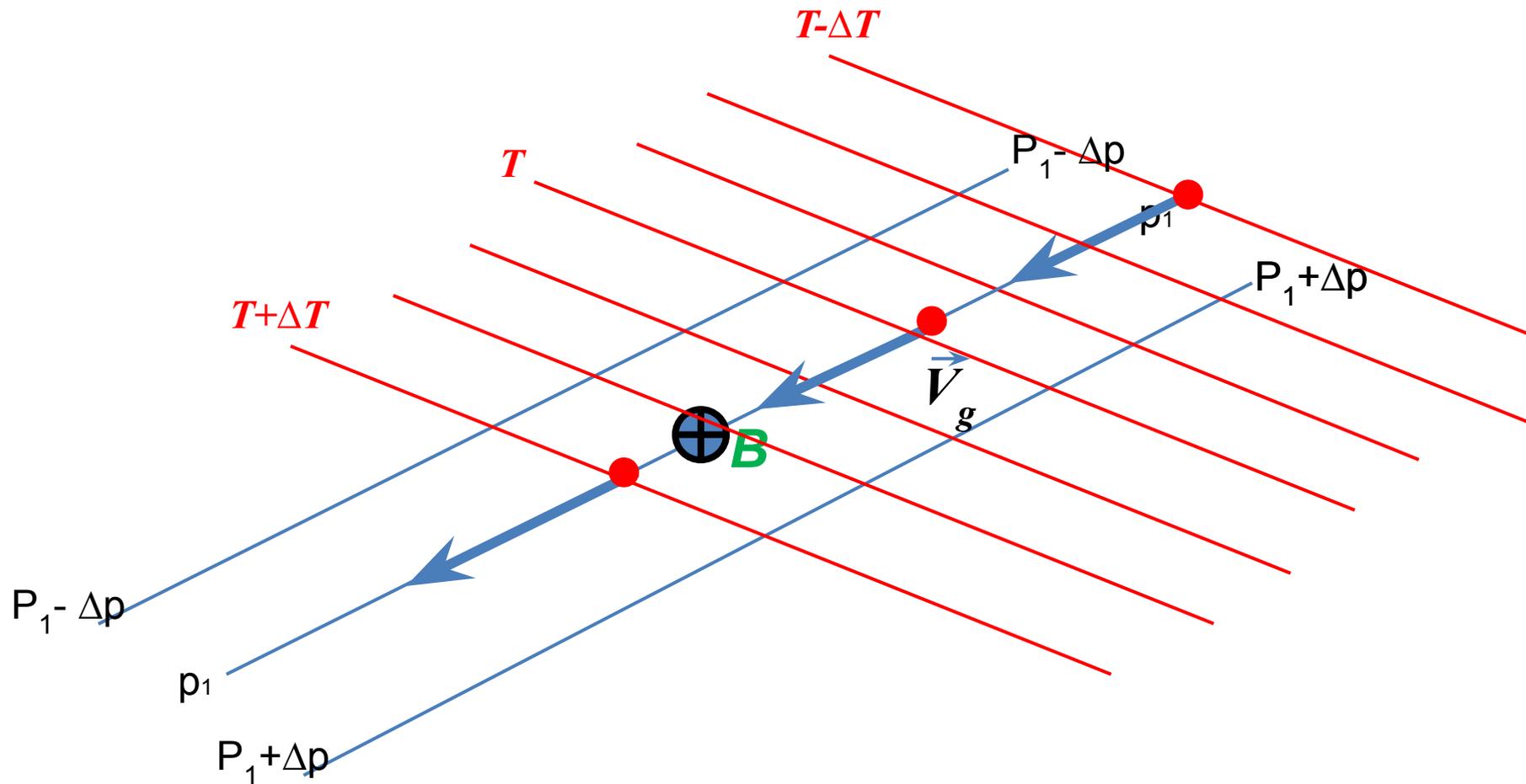
- *адвекция тепла*

Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

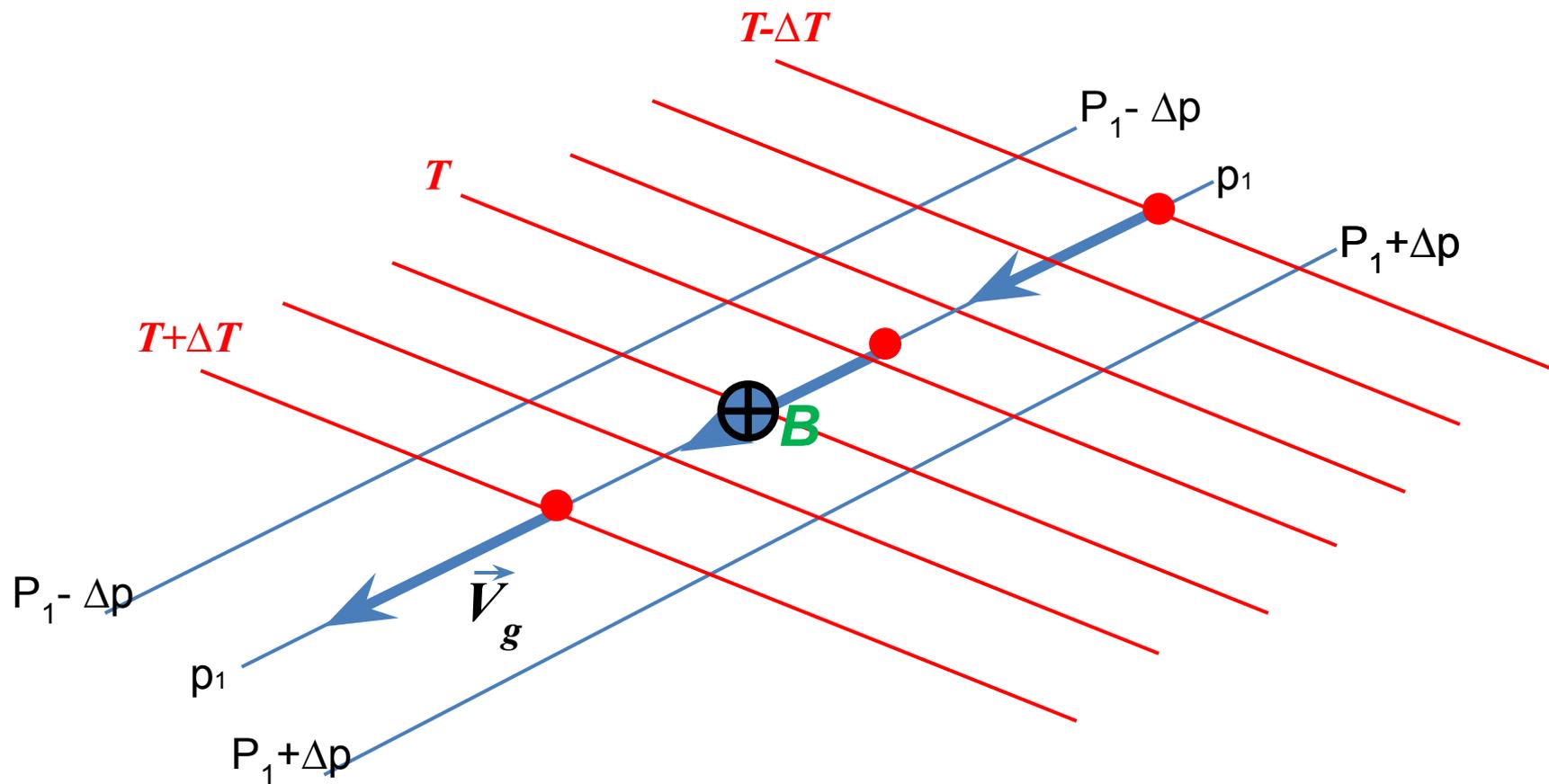
$T-\Delta T$



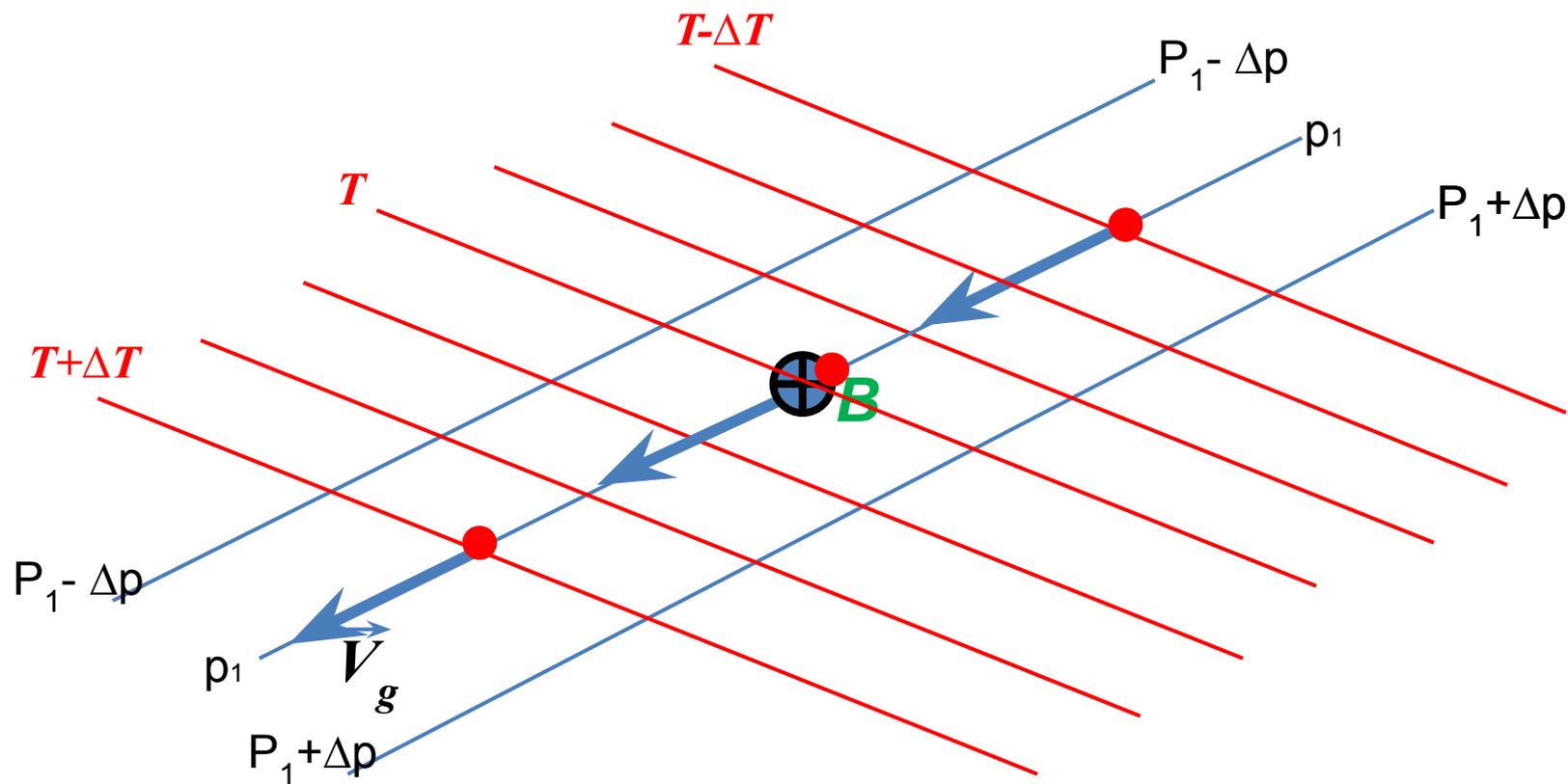
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



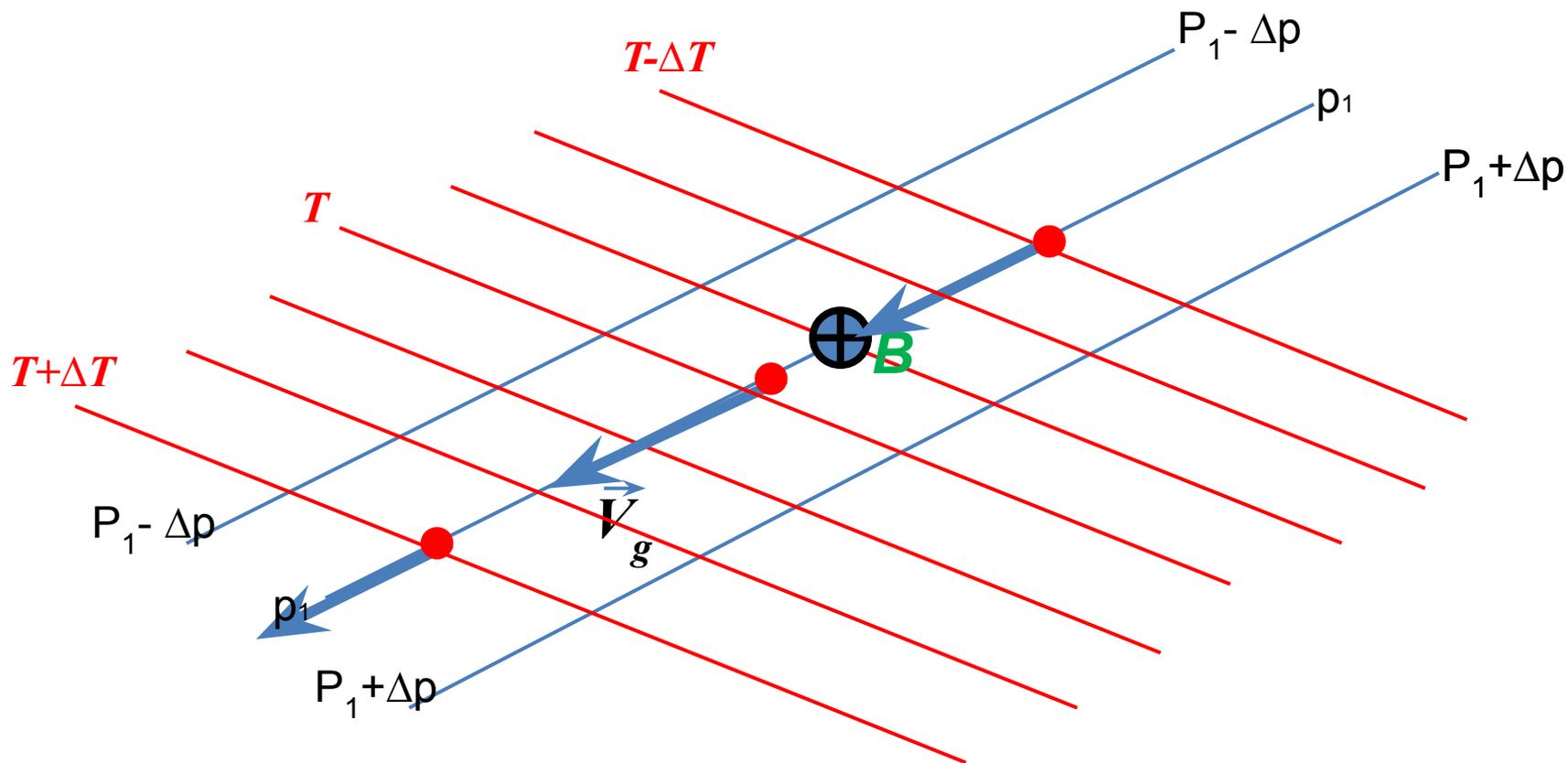
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



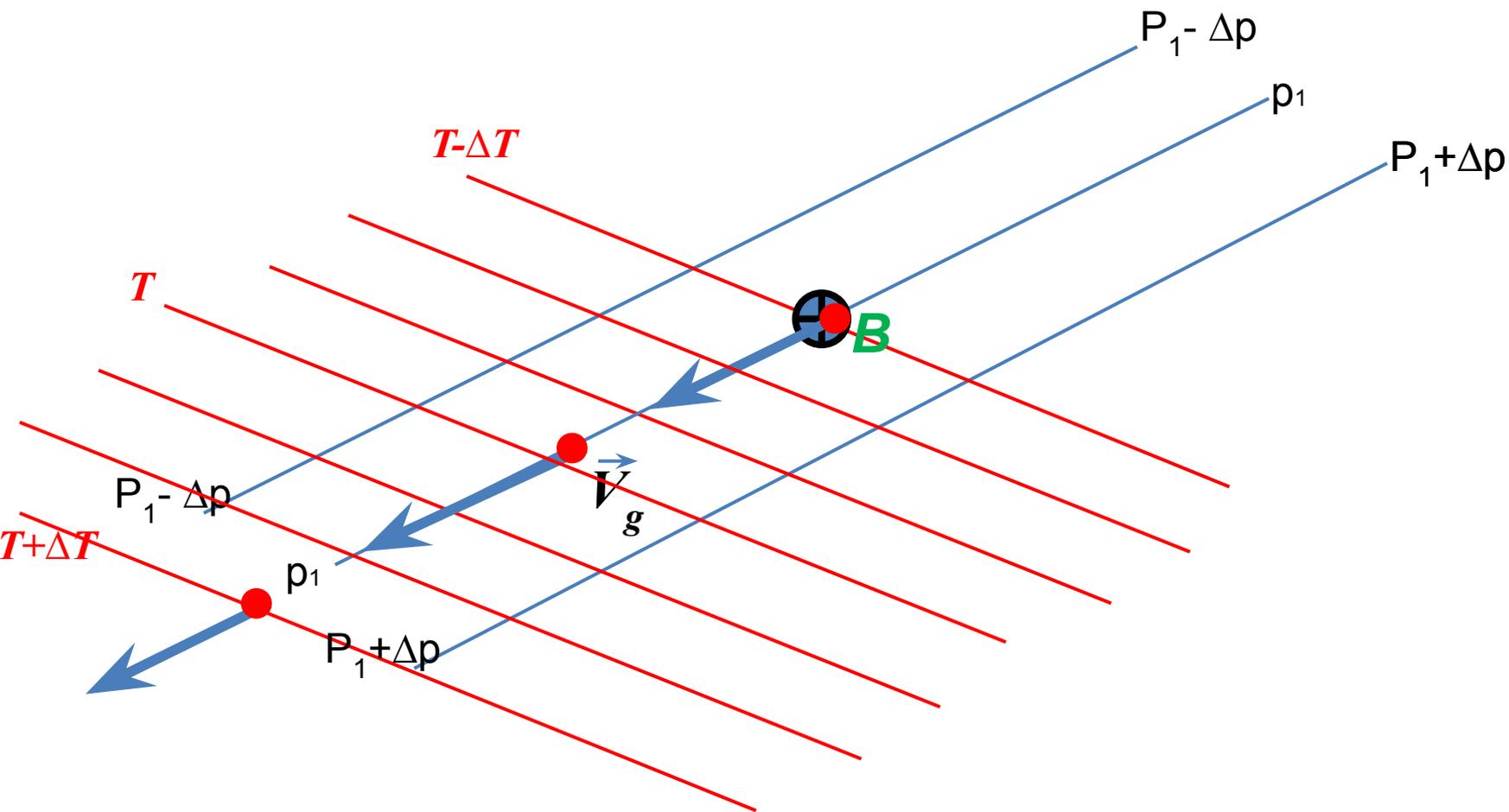
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



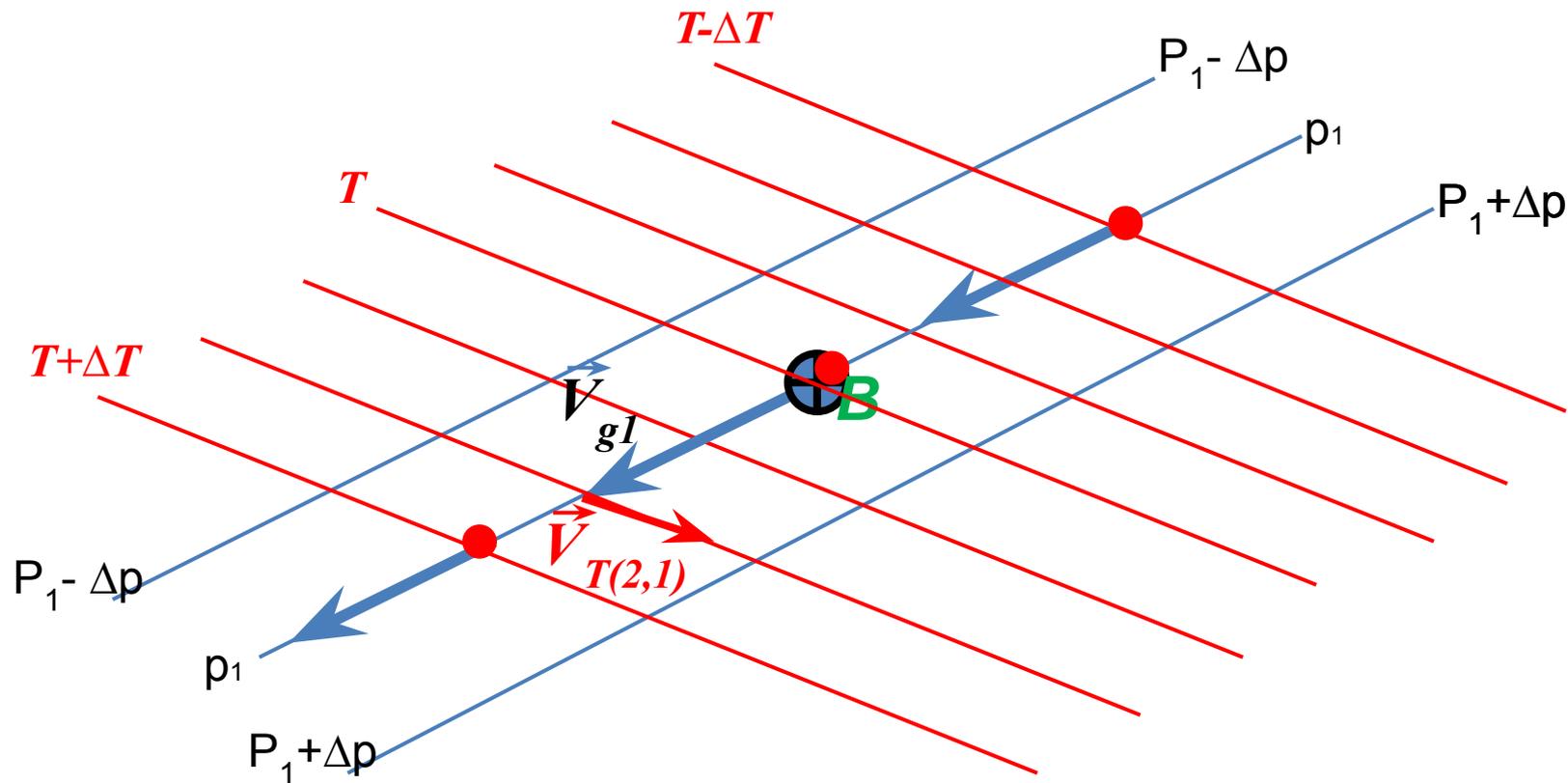
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



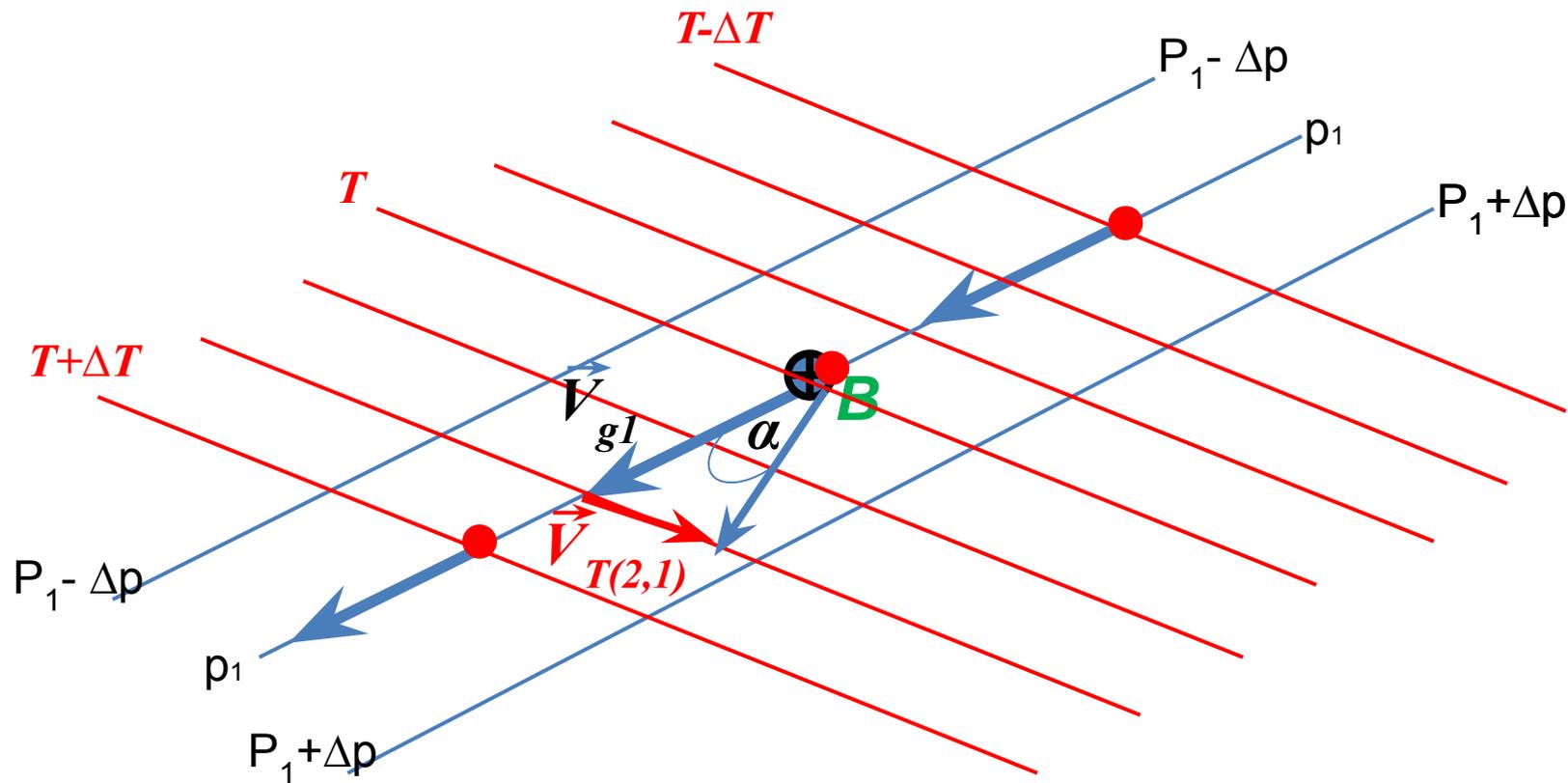
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



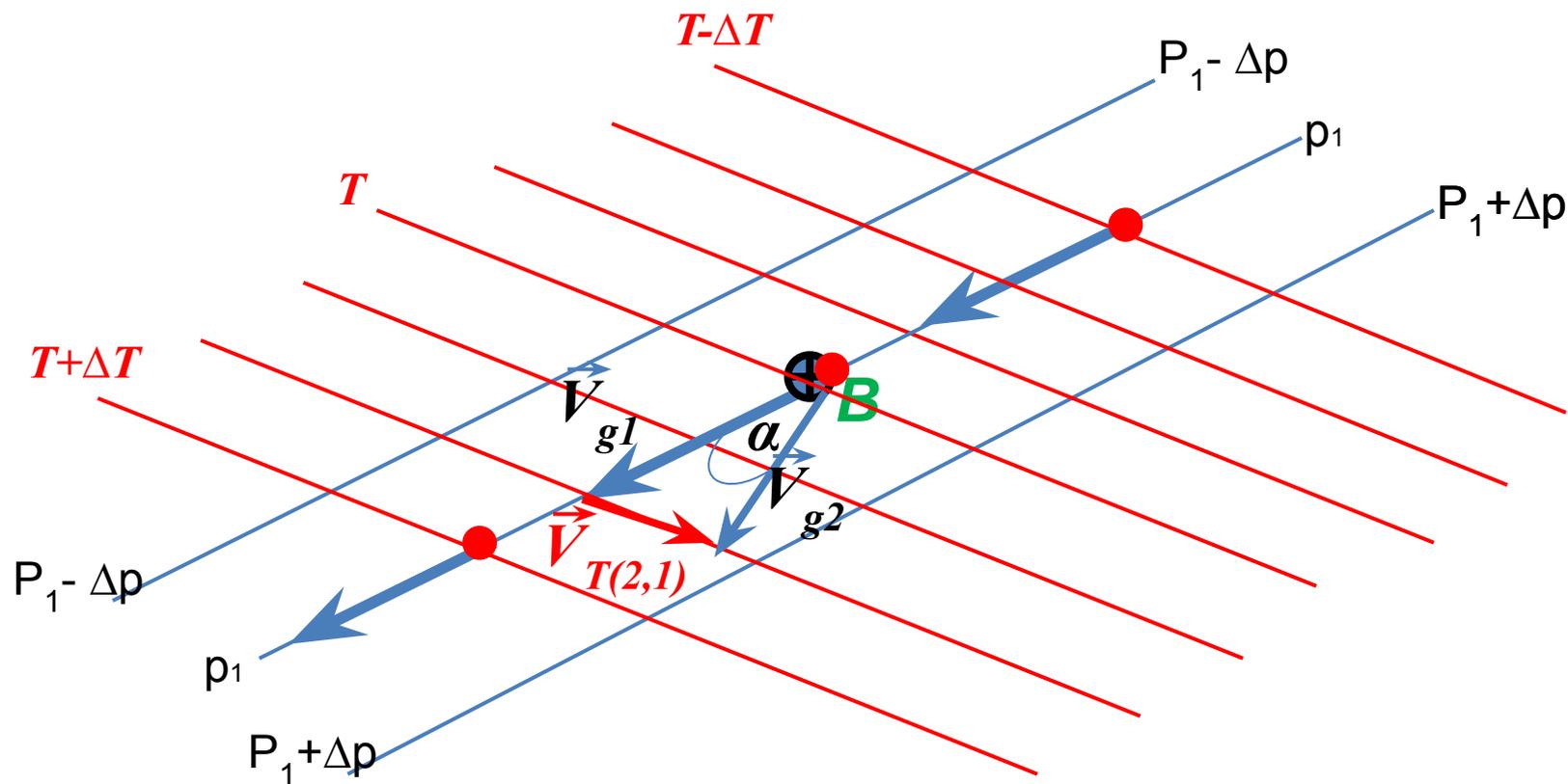
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



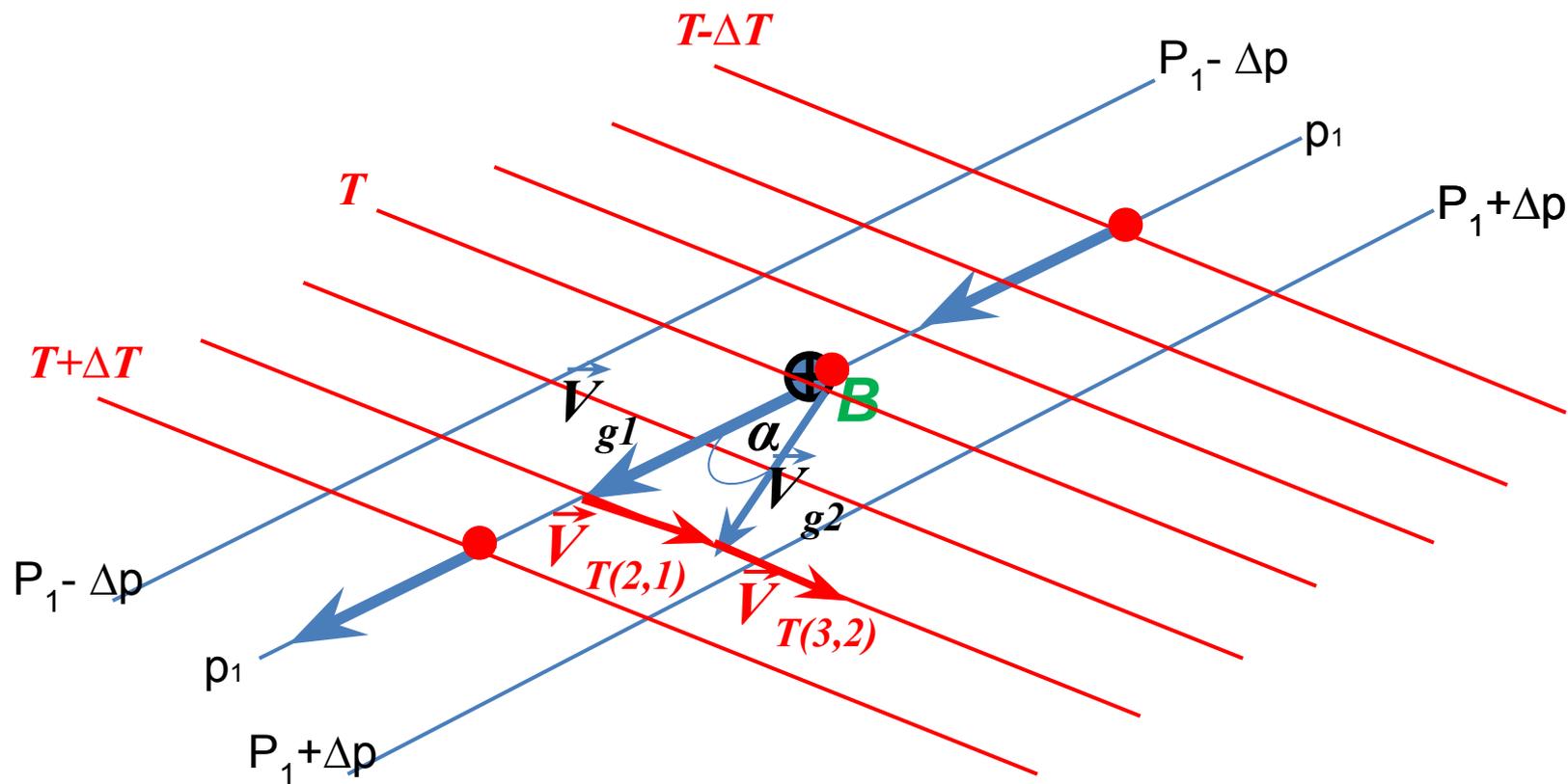
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



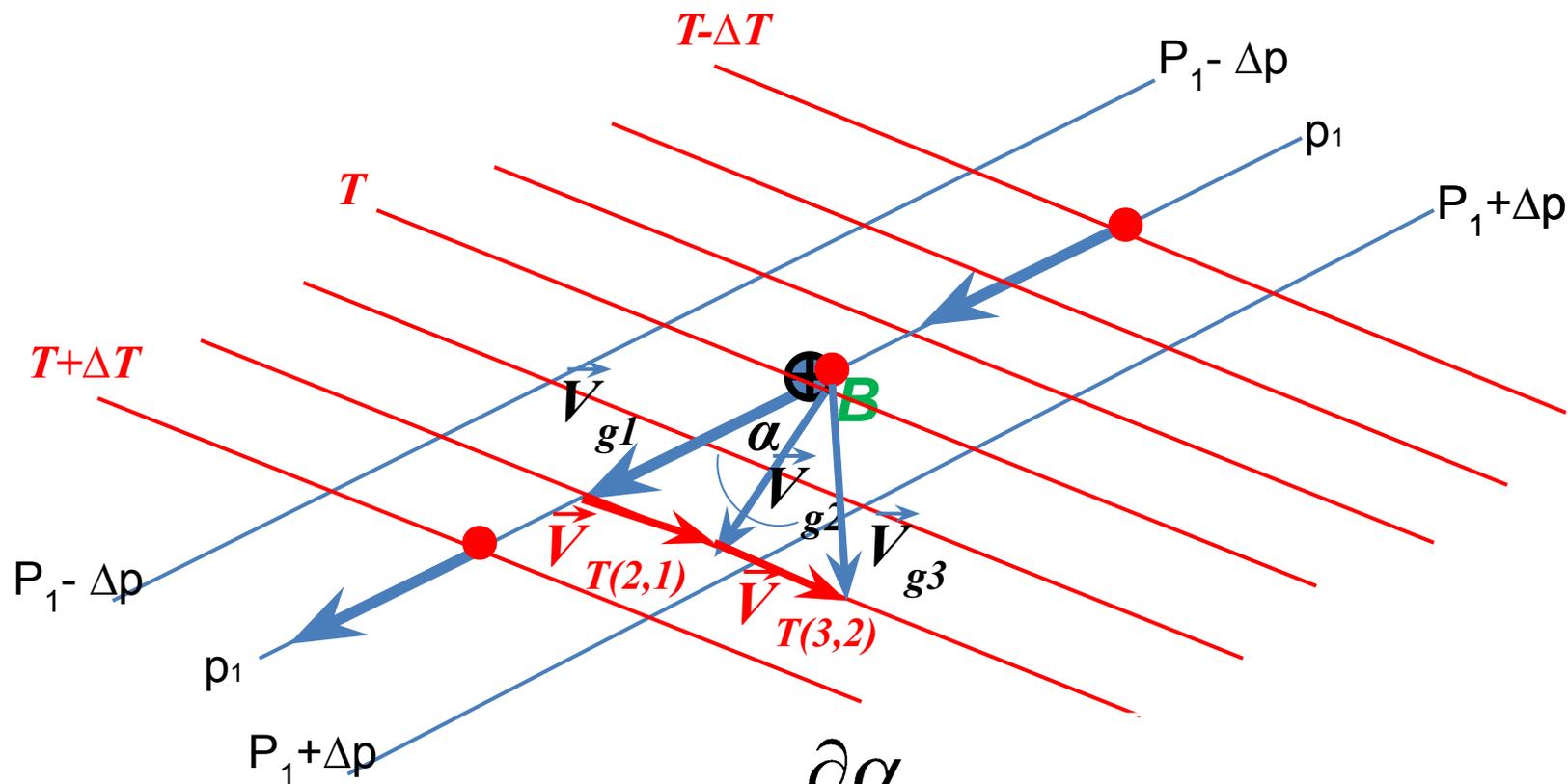
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

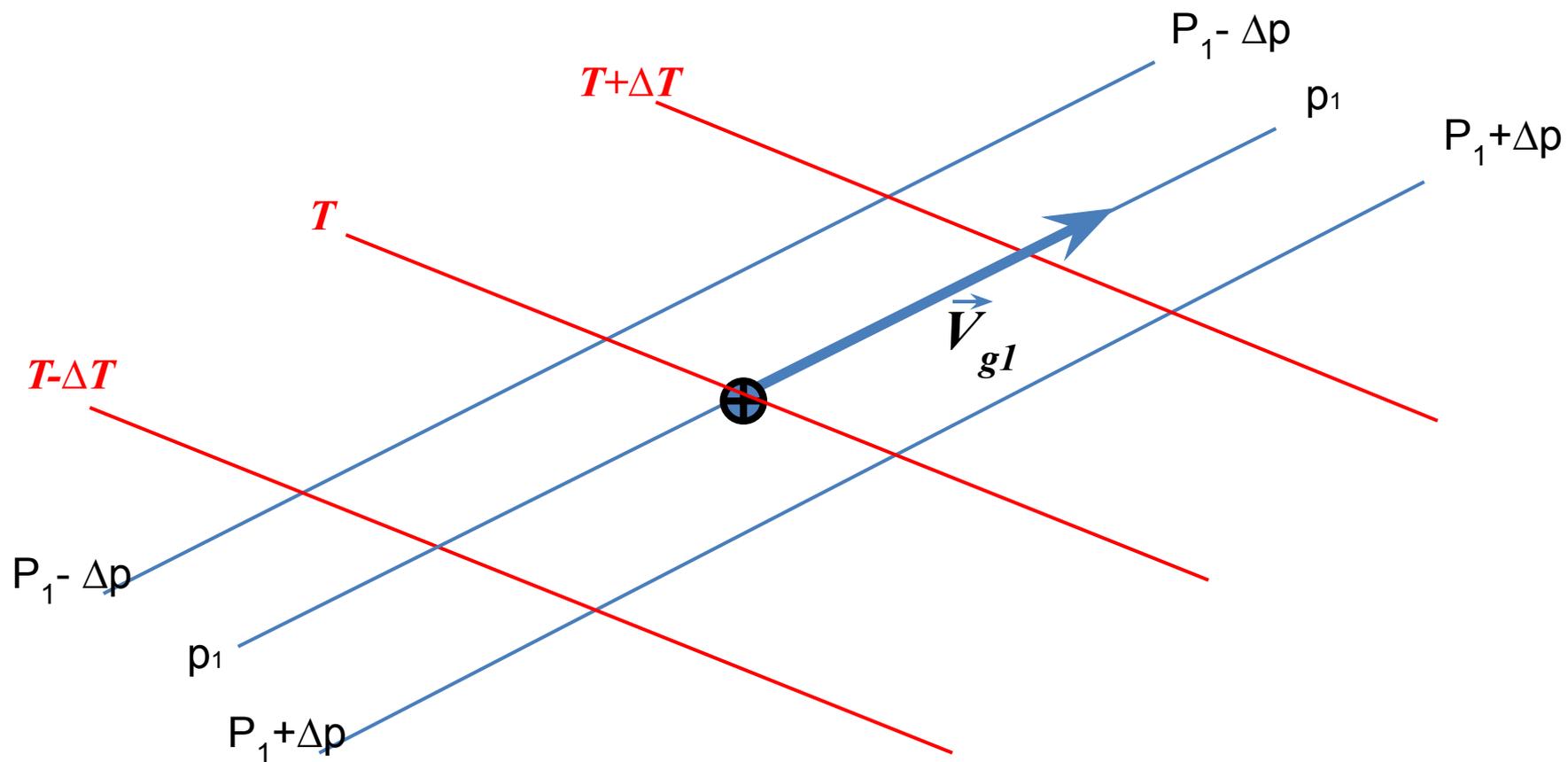


Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

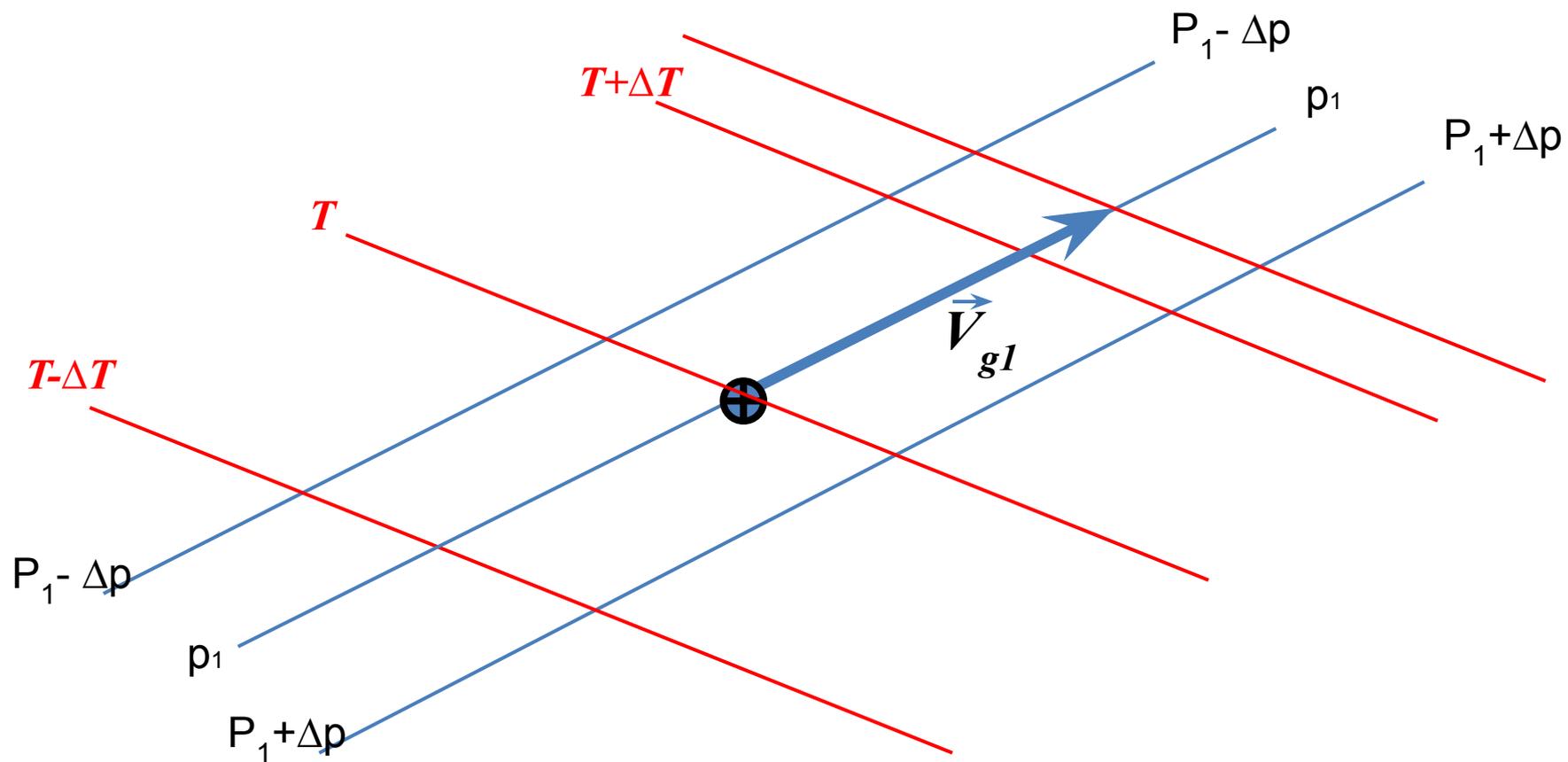


$$\frac{\partial \alpha}{\partial z} > 0 - \text{адвекция холода}$$

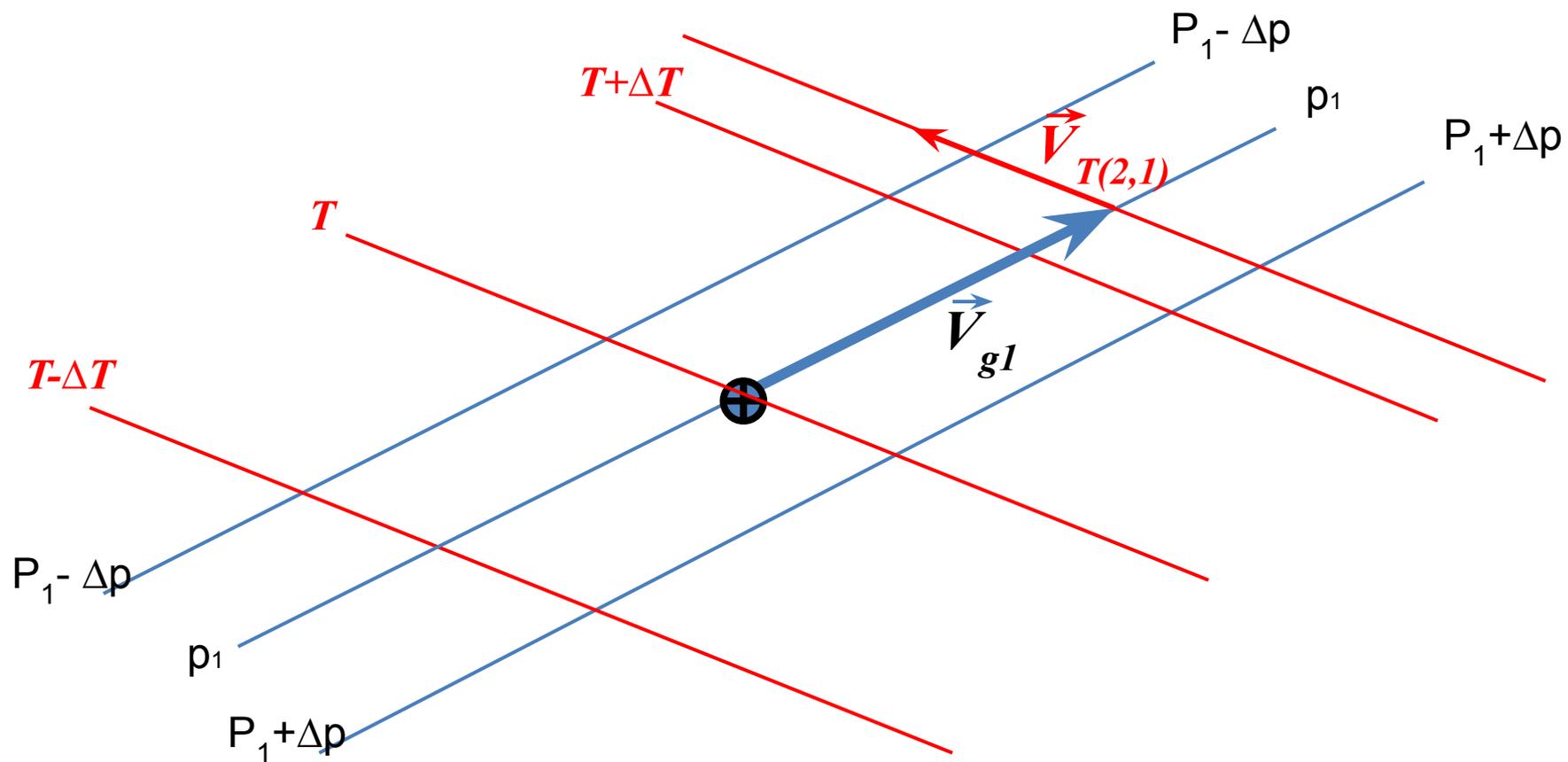
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



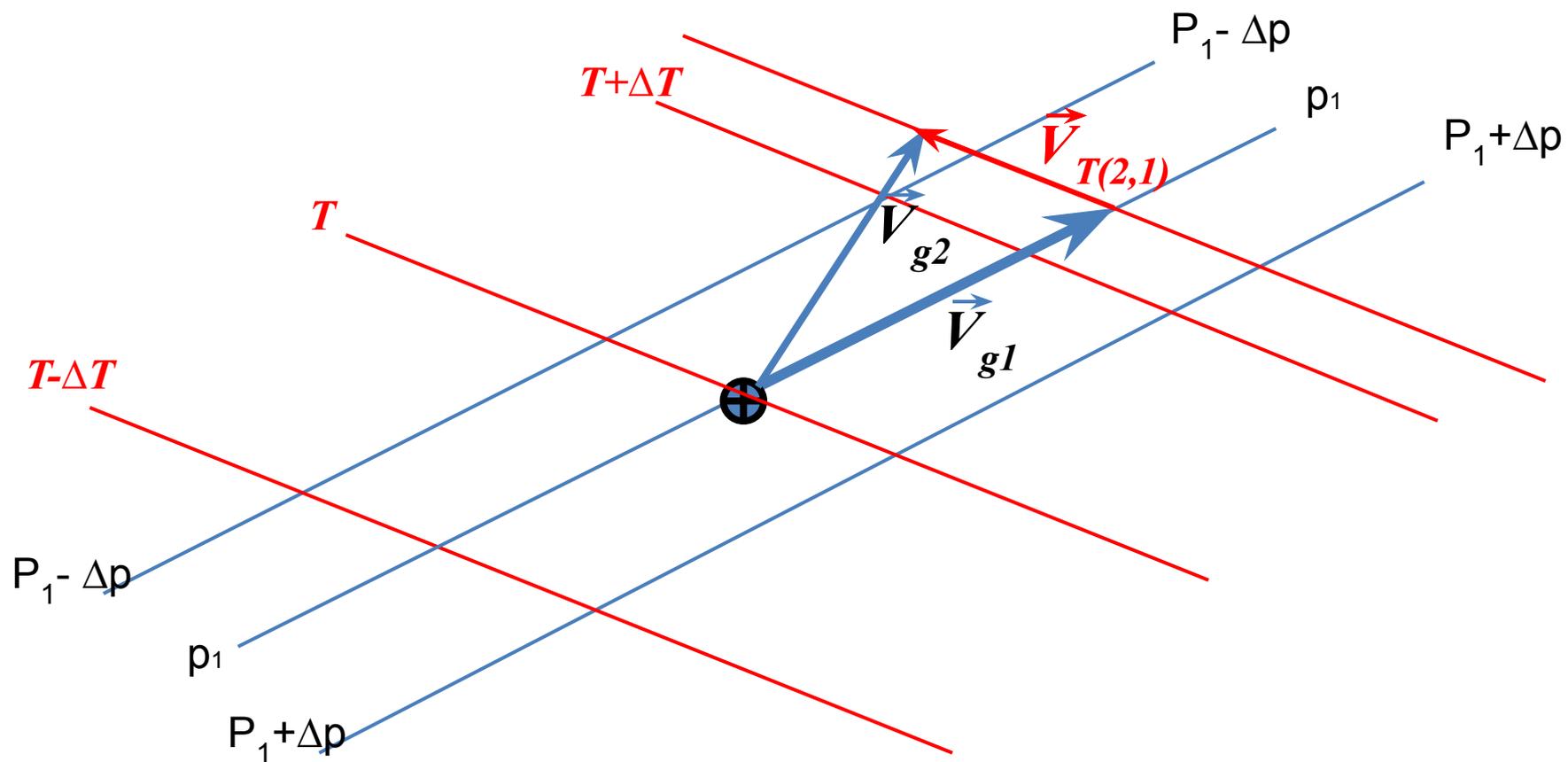
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



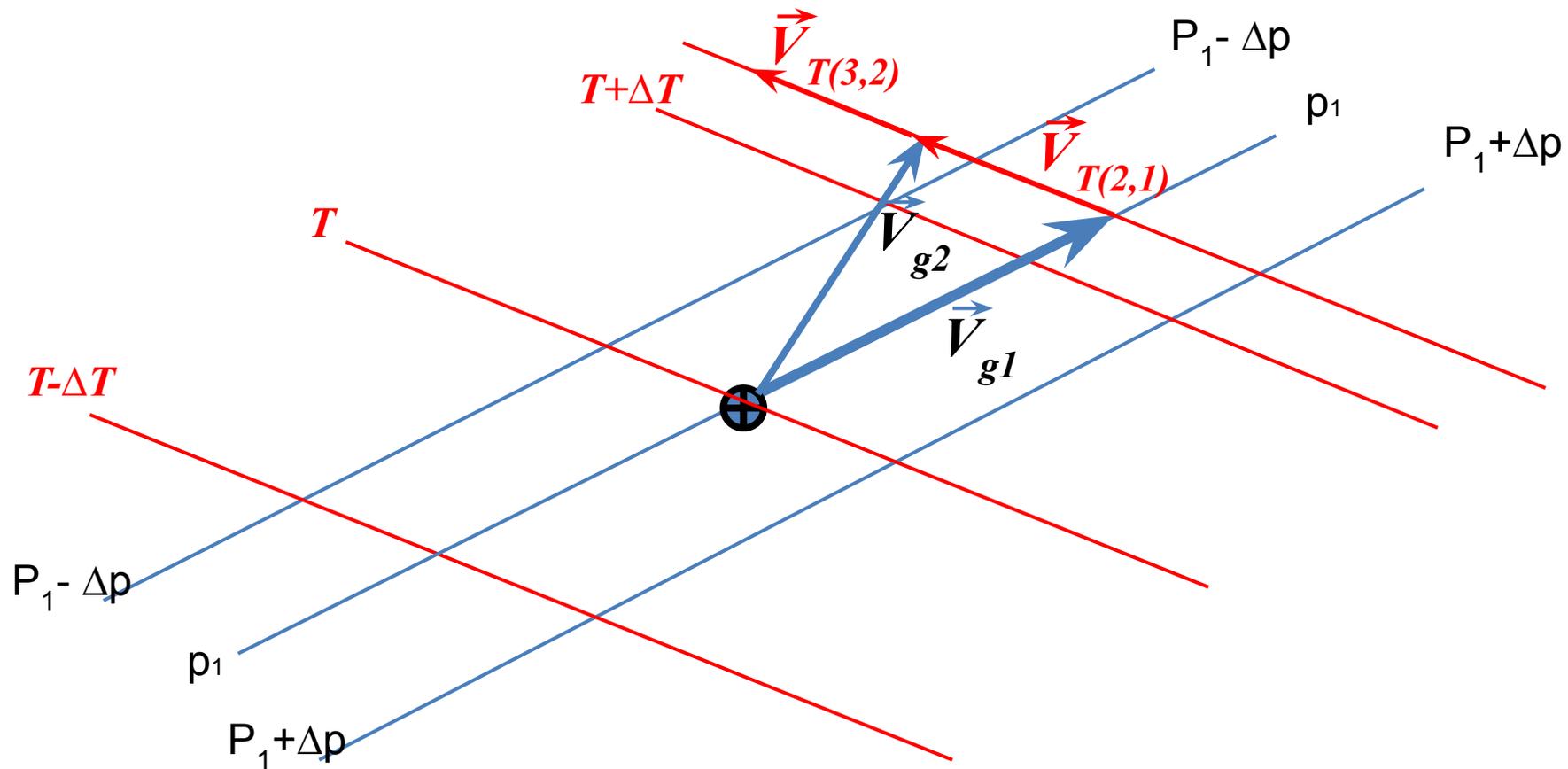
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



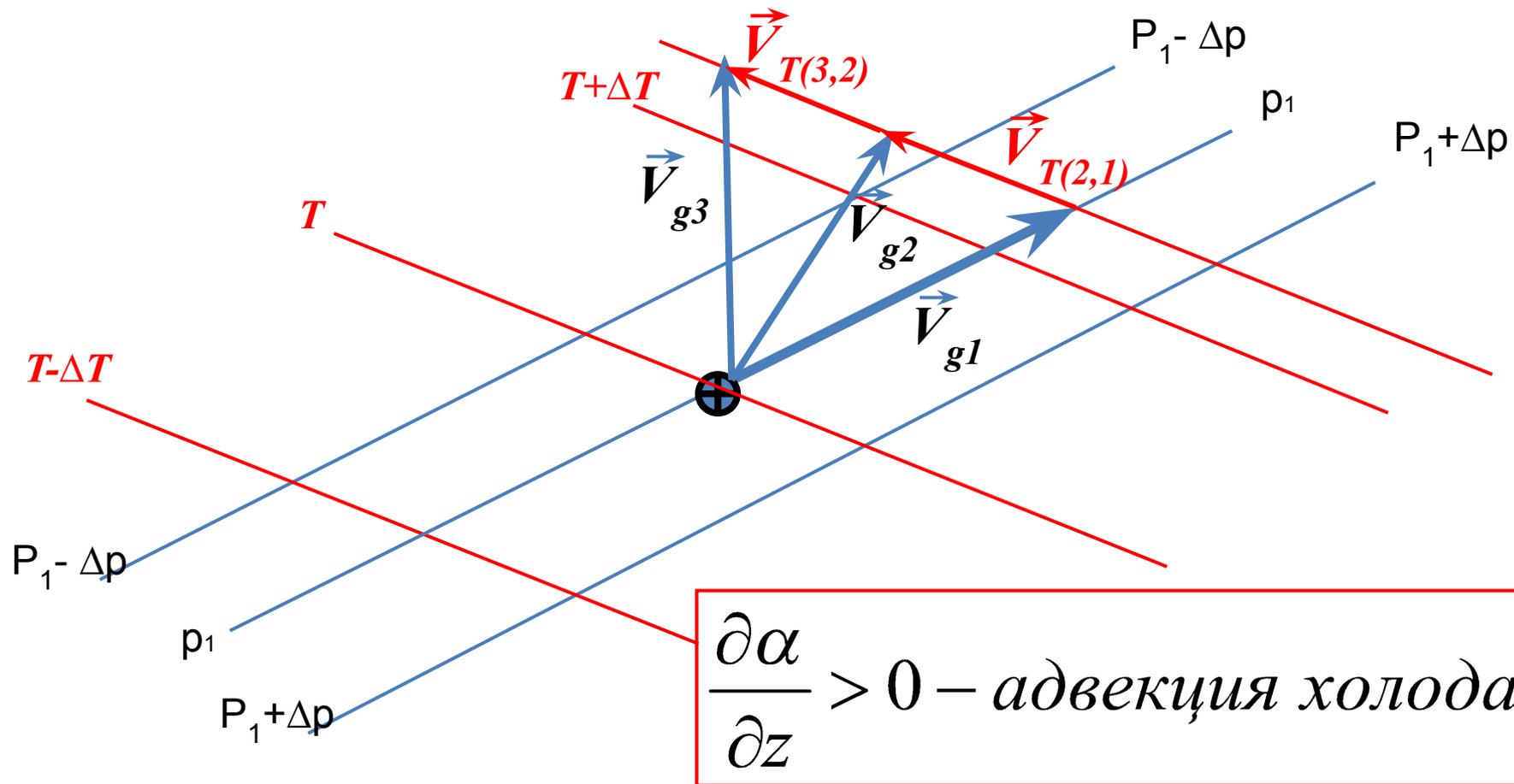
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени





Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

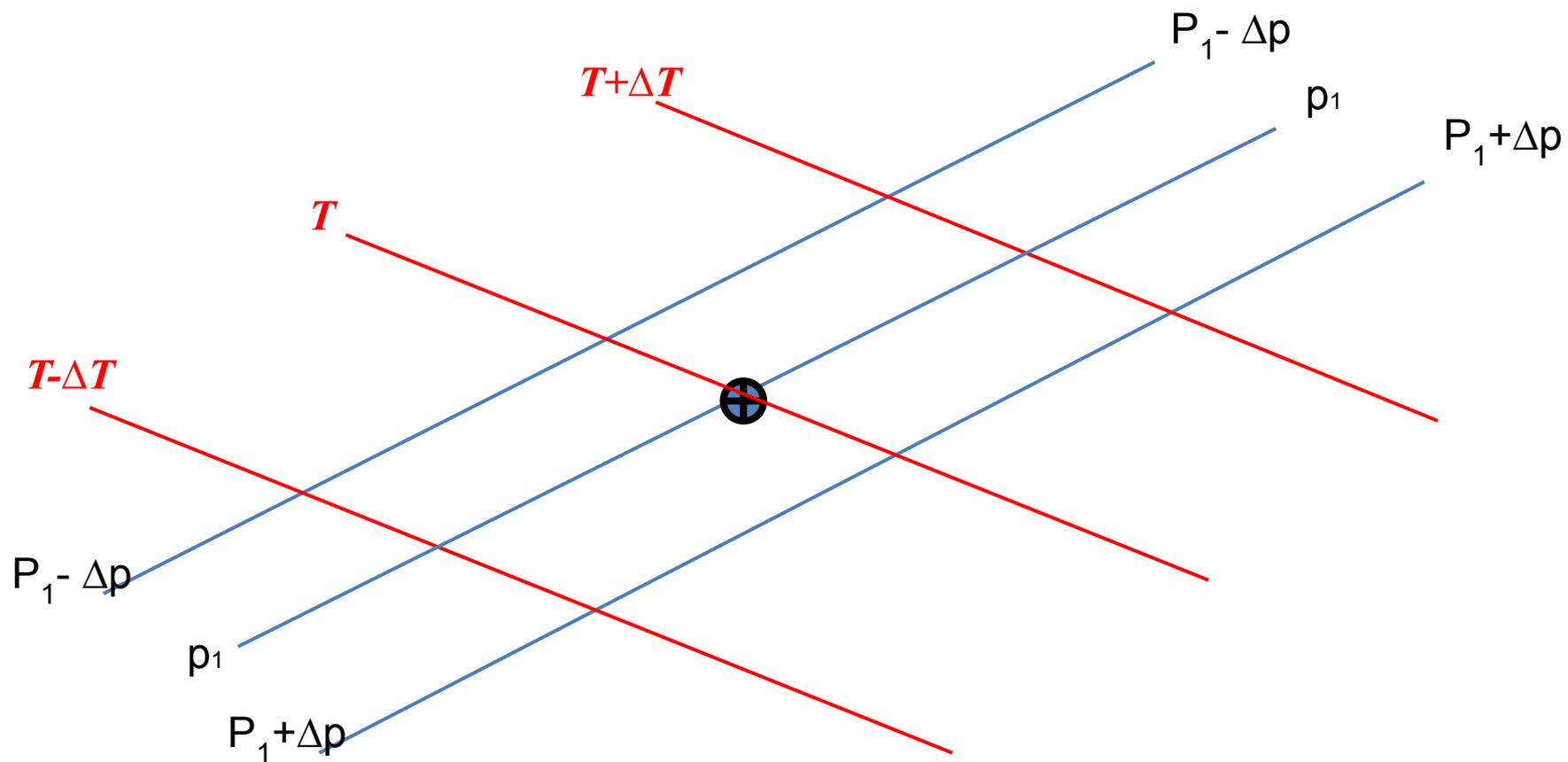
Ветер меняет направление с высотой с поворотом влево (против часовой стрелки) –

- *адвекция холода*

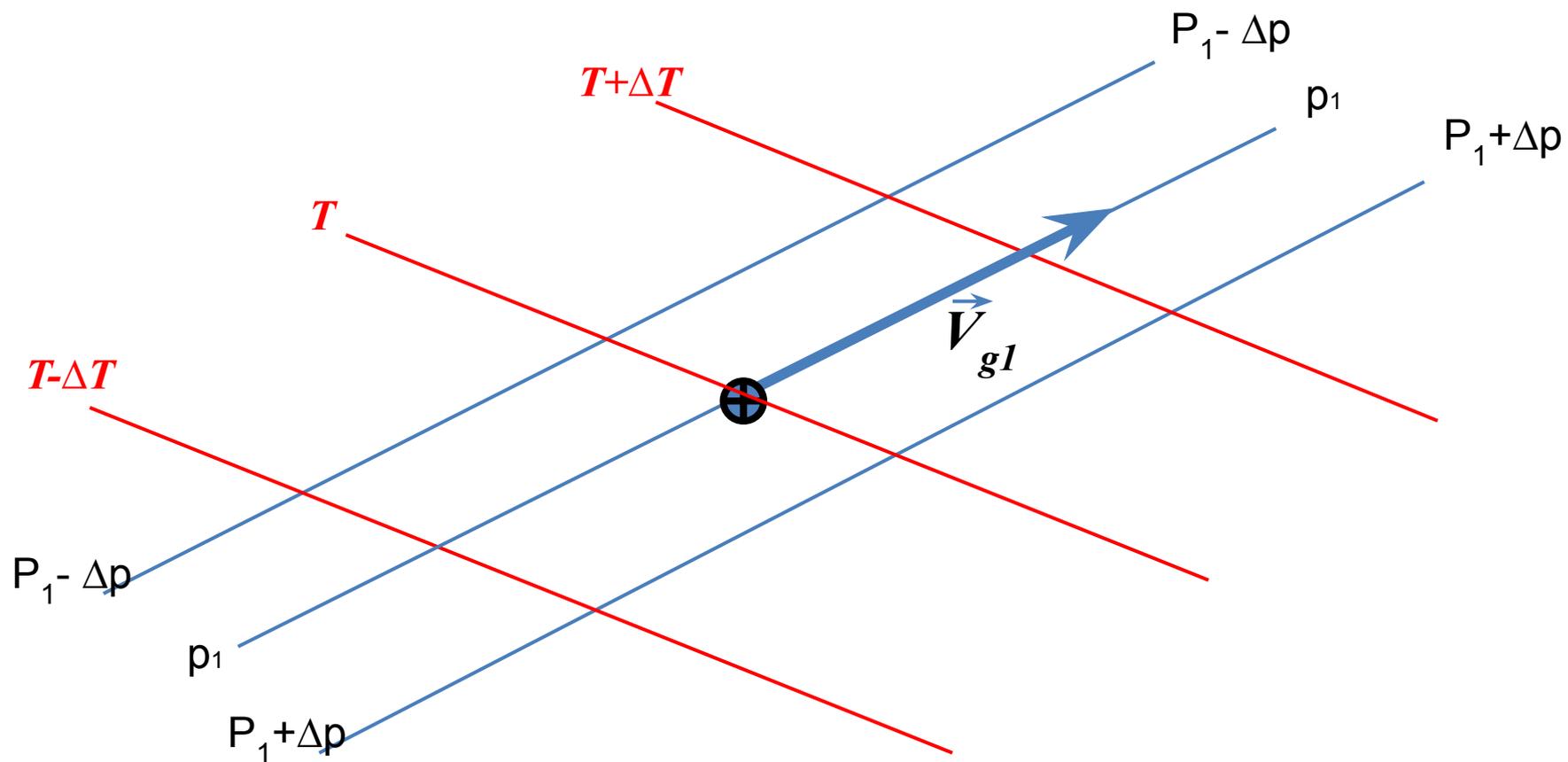
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

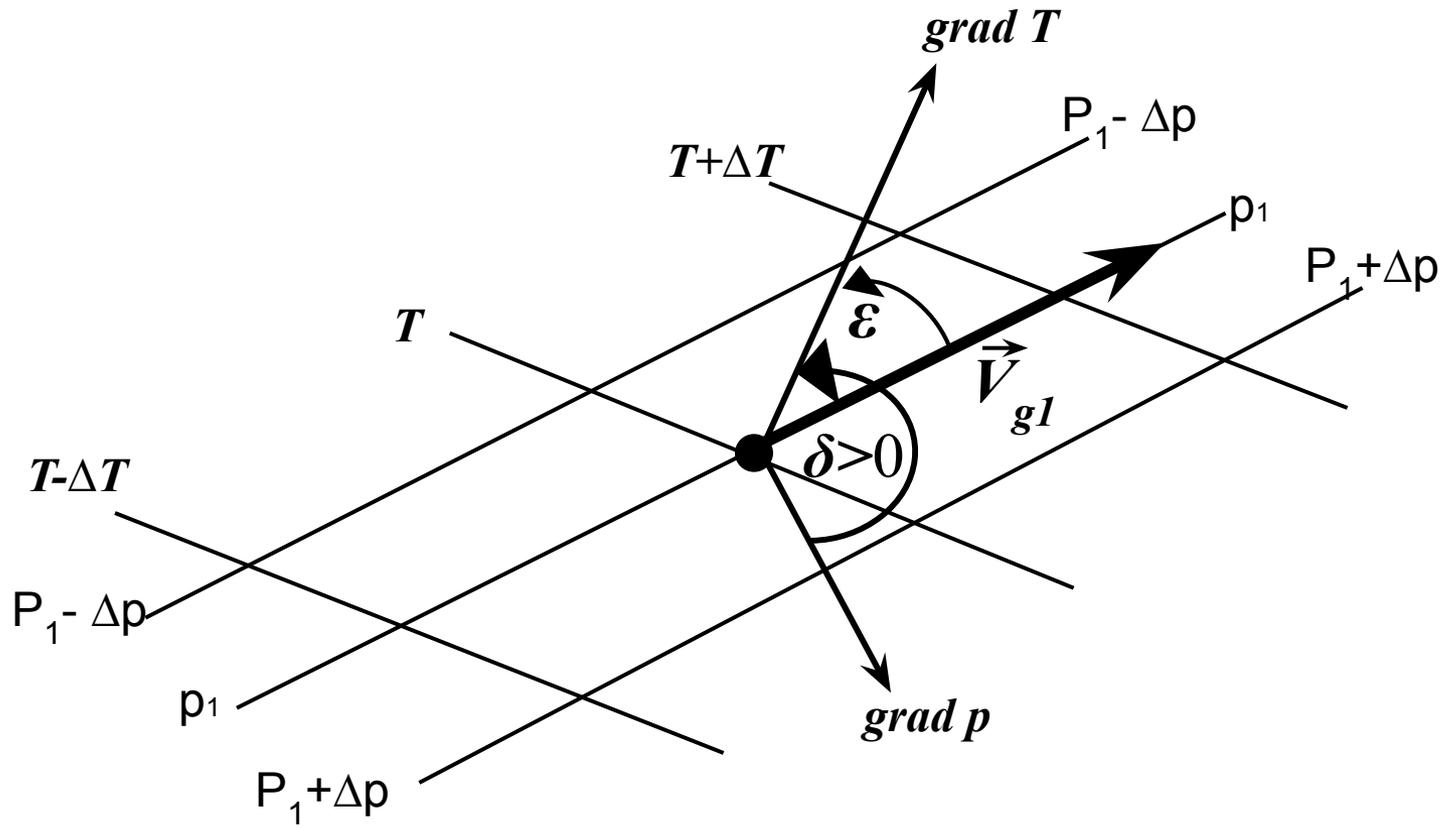
$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -grad_s T \cdot V = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot (V \cdot \cos \alpha) = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$

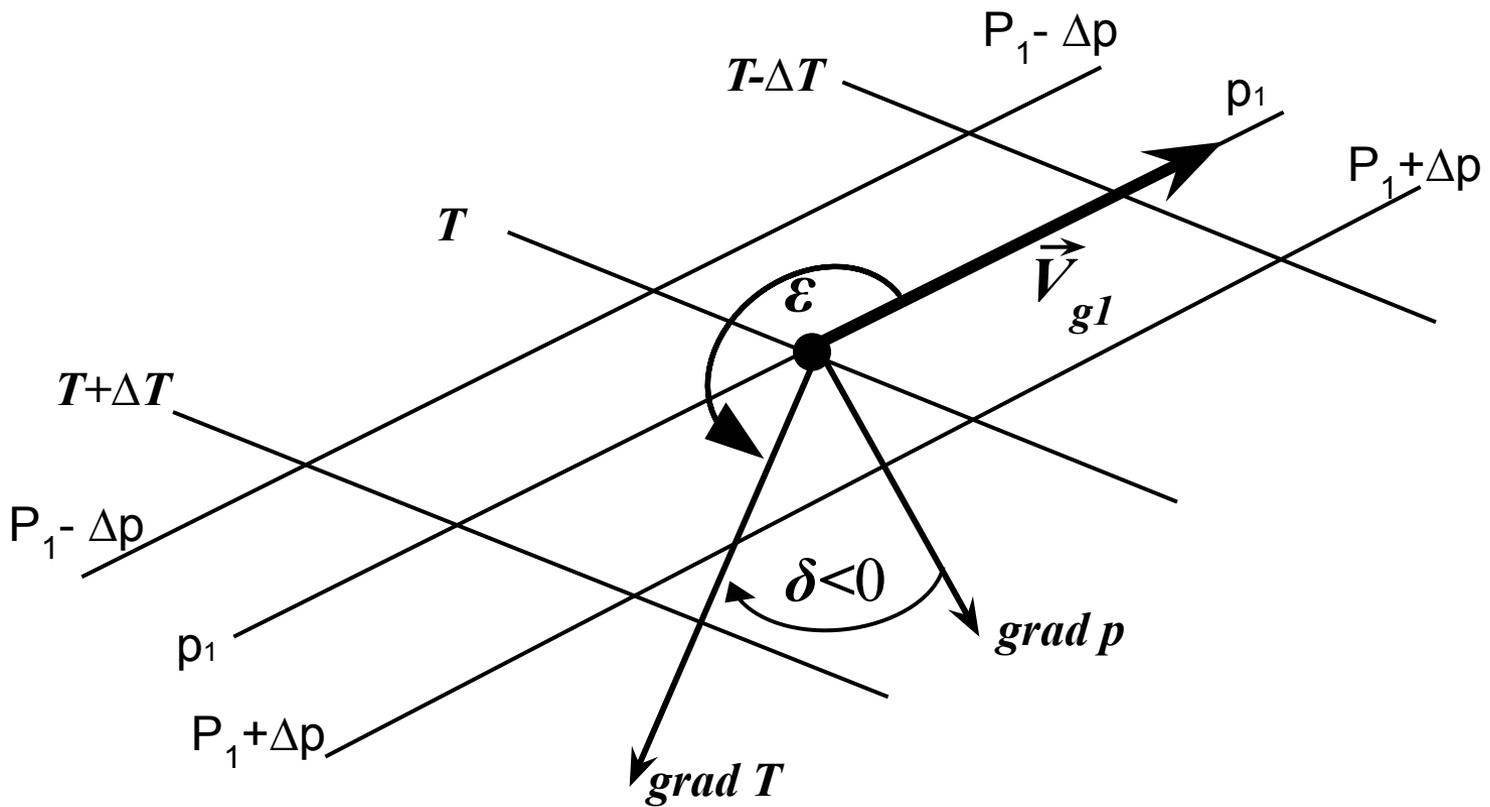
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



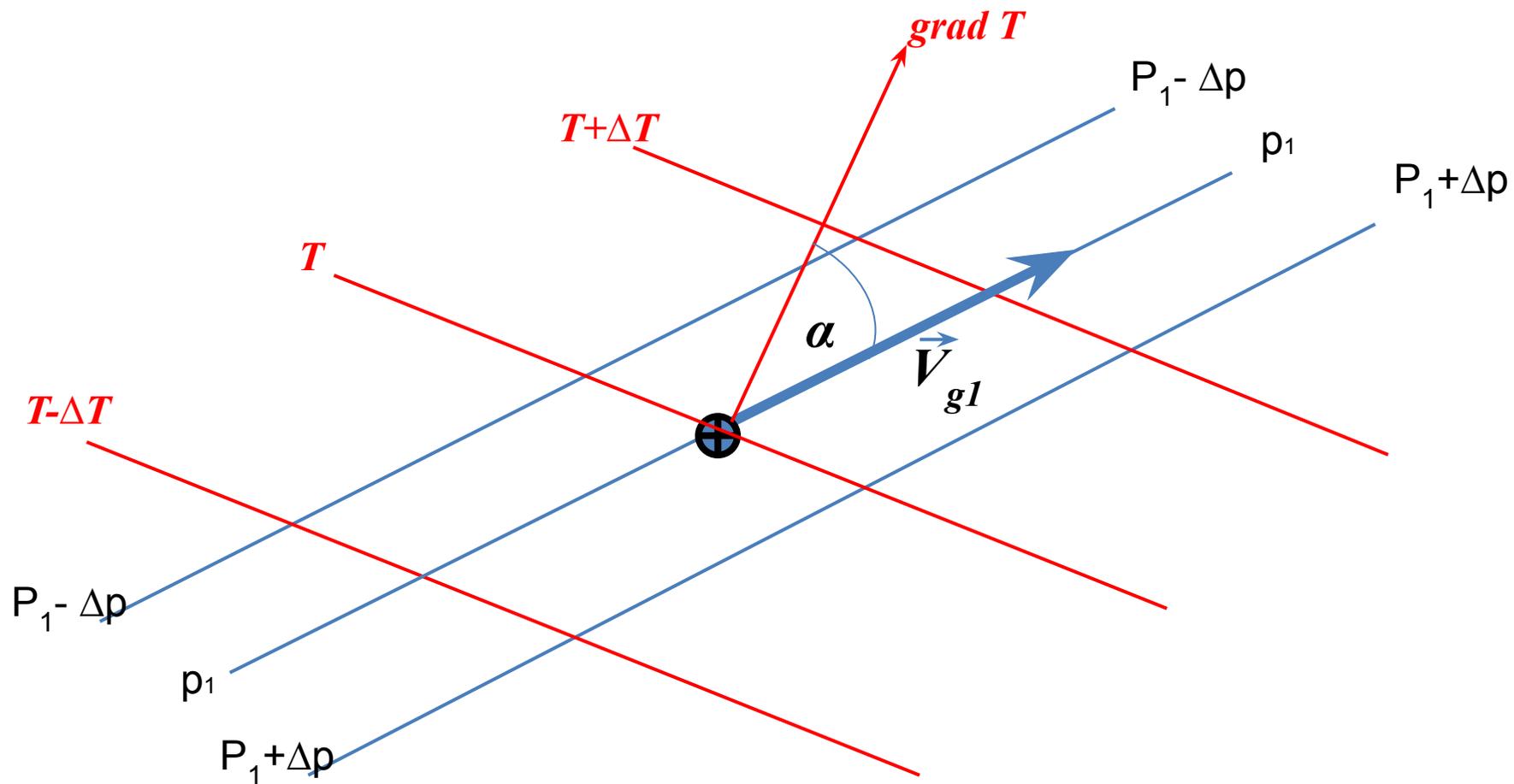
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

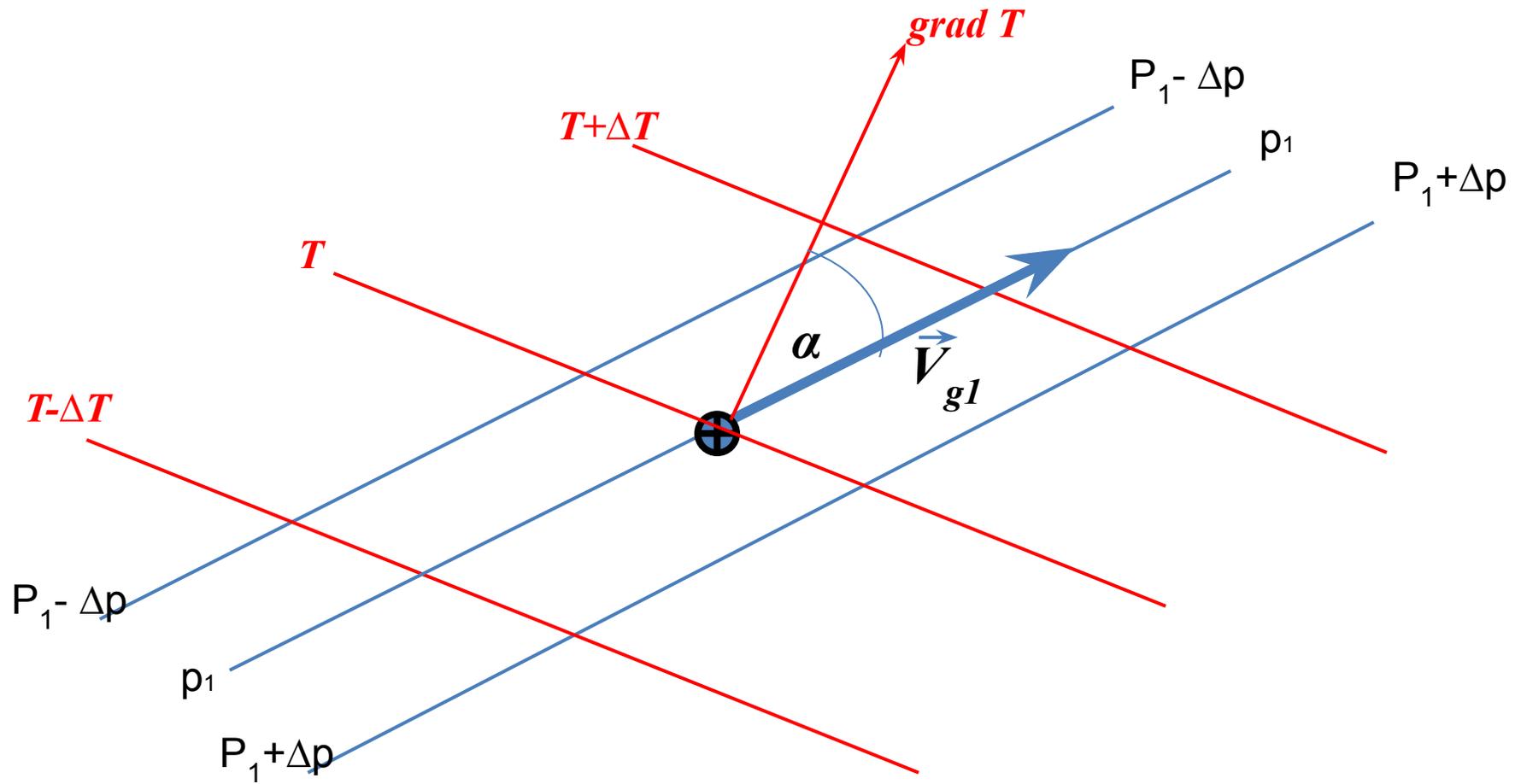




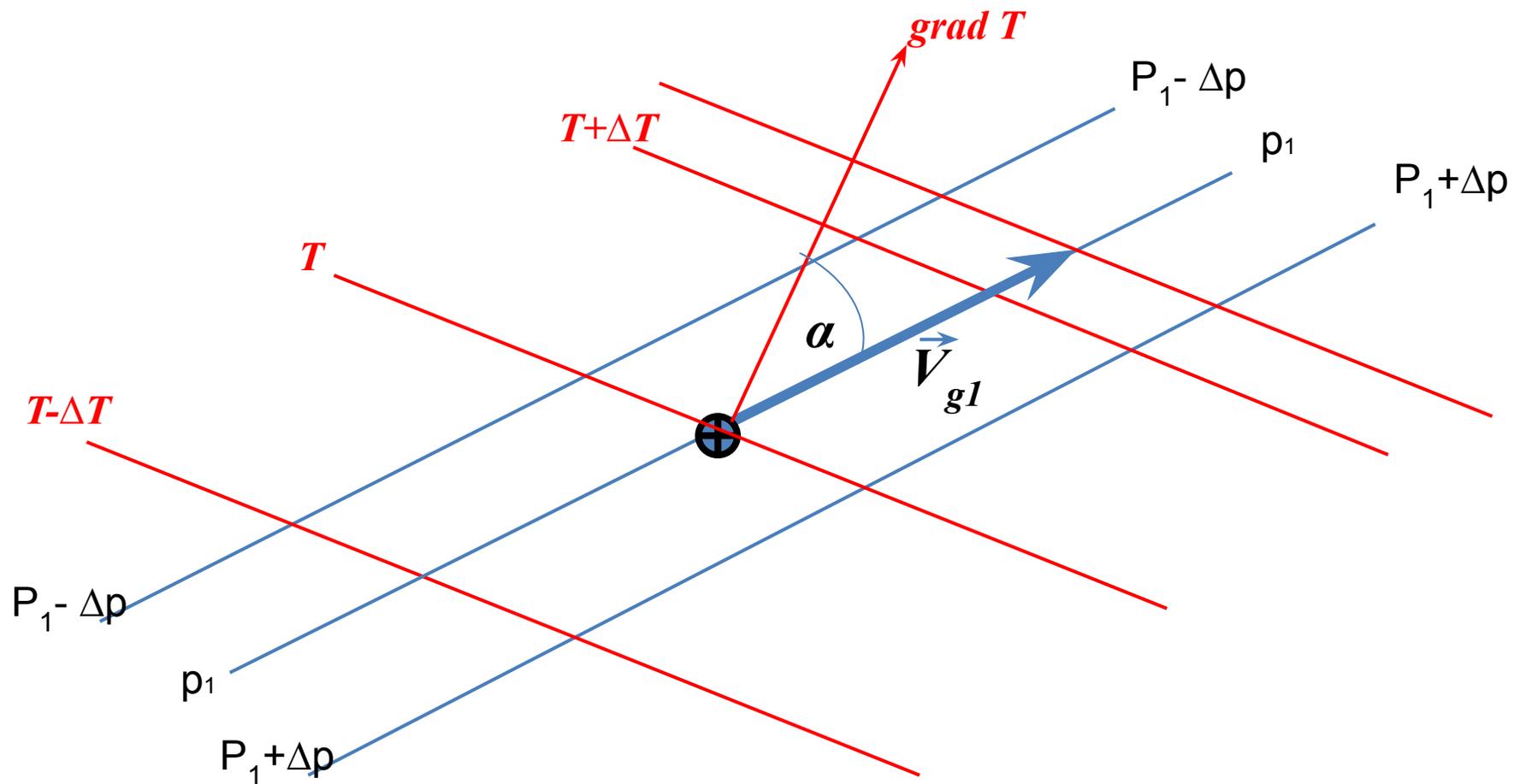


Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

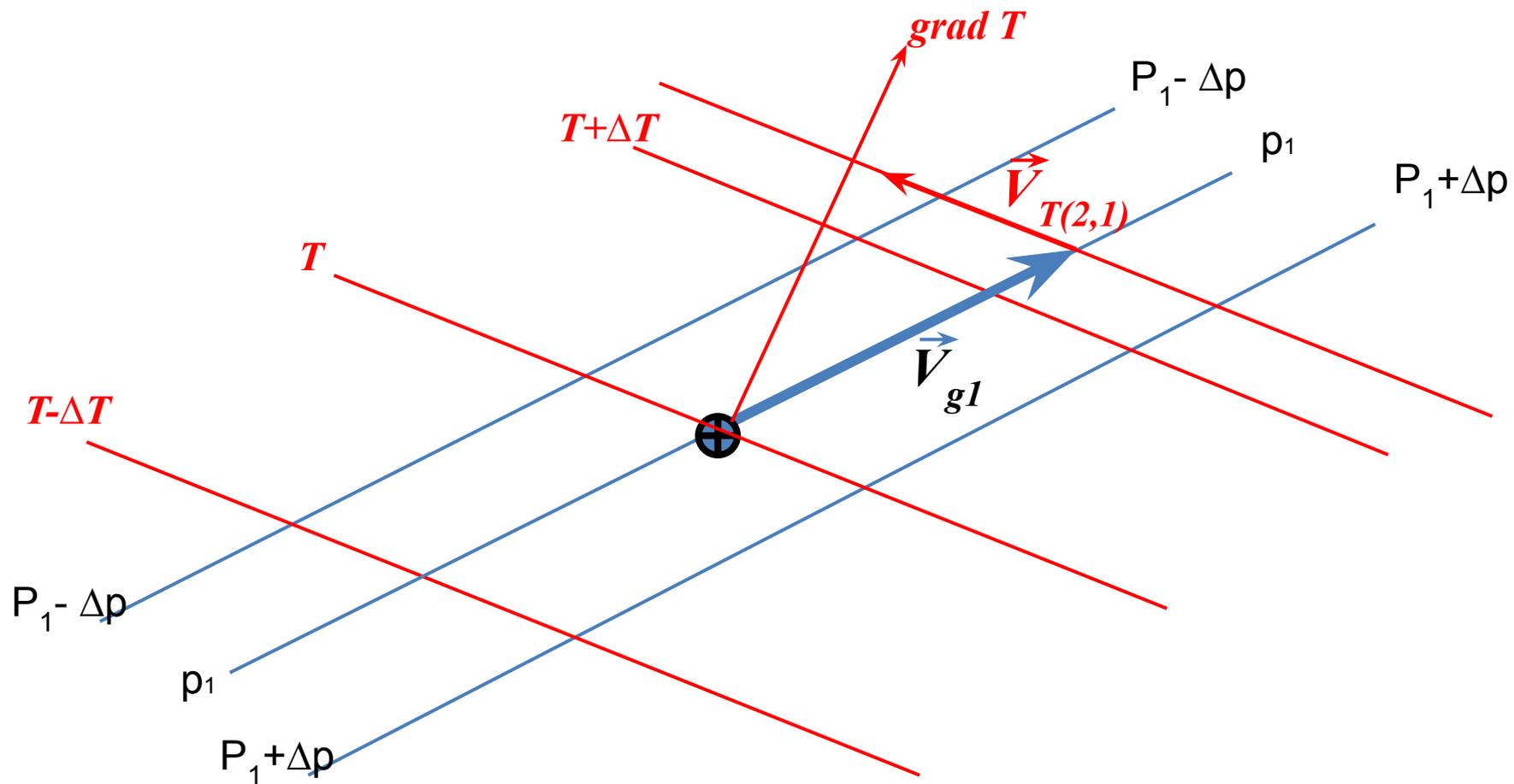




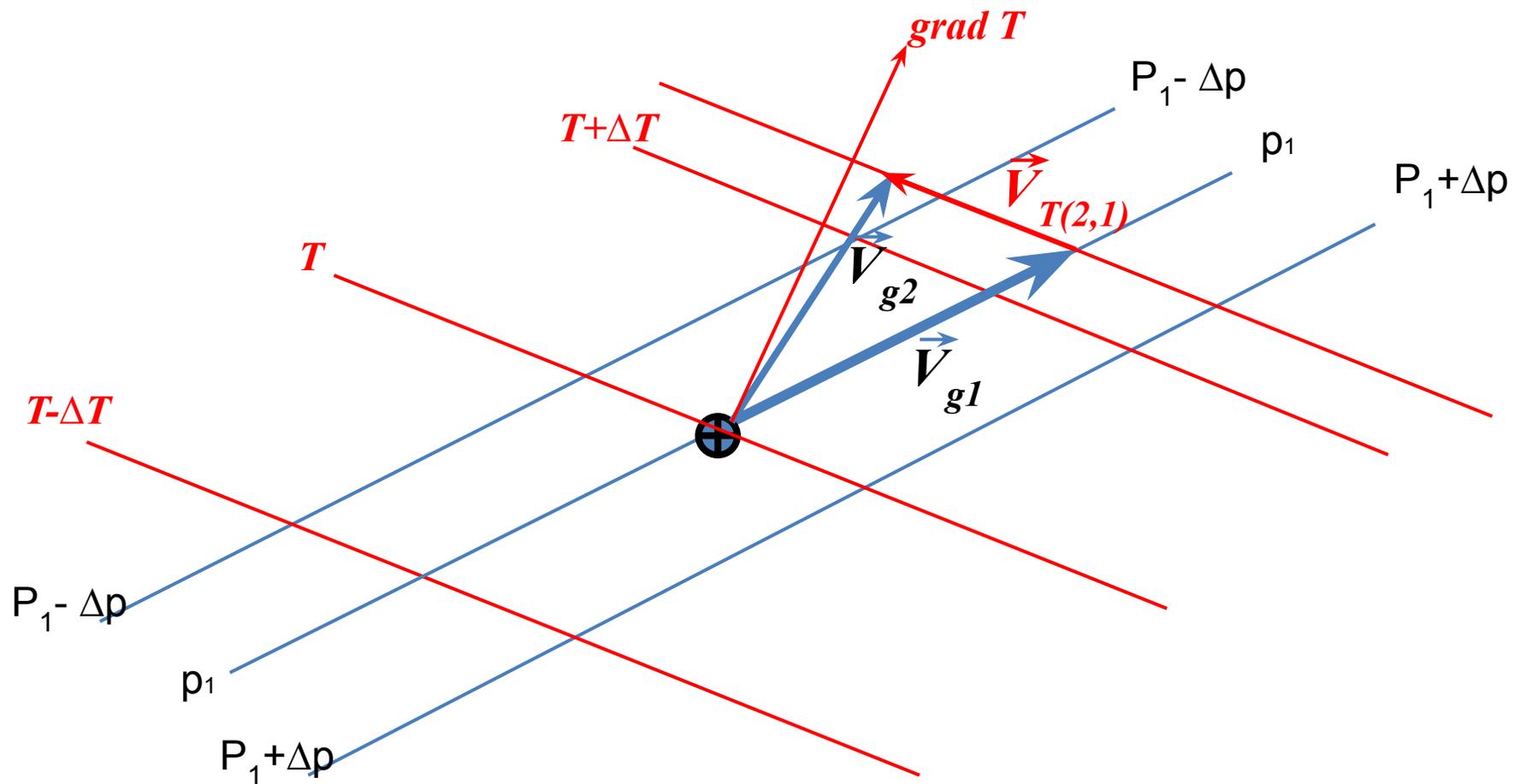
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



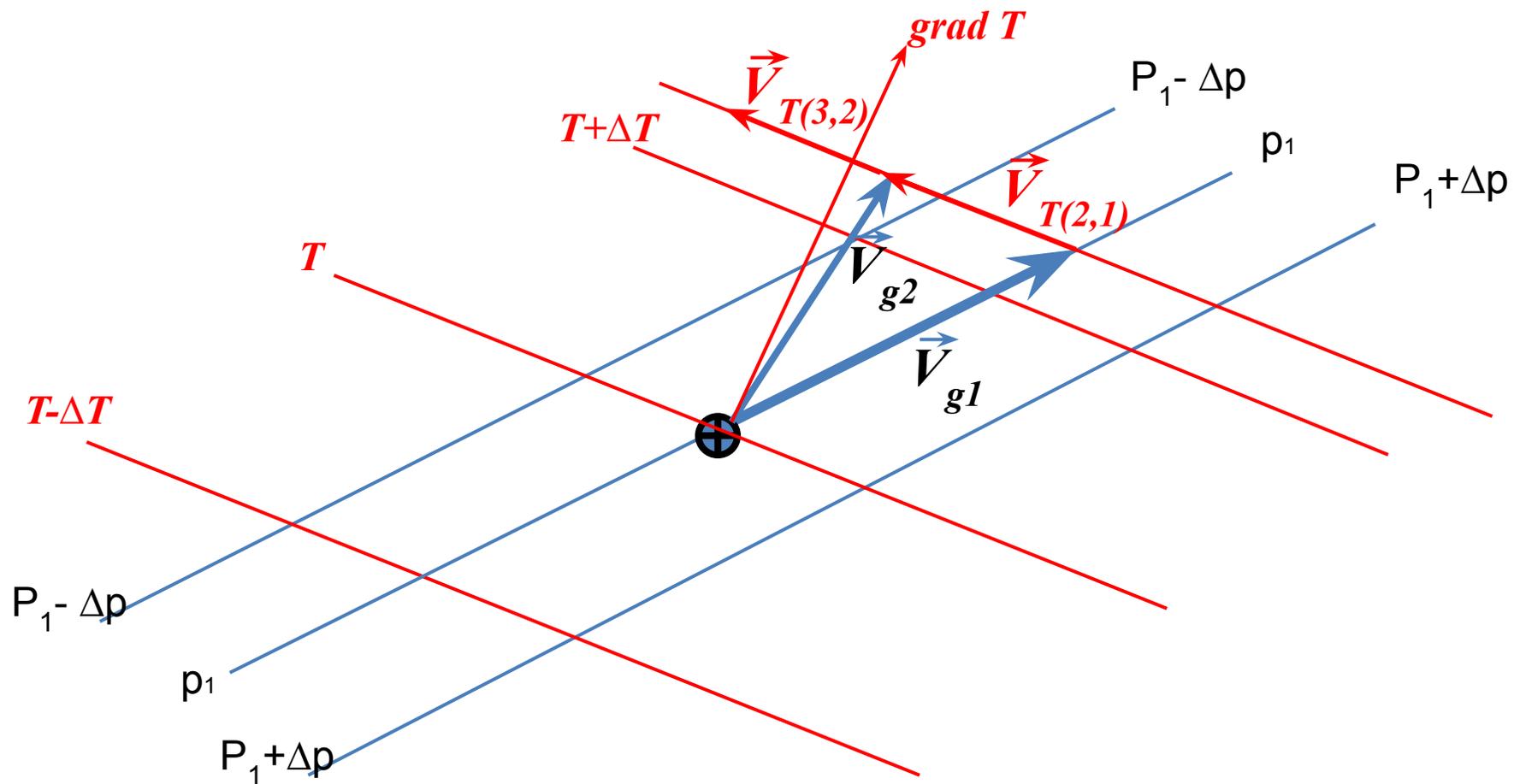
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



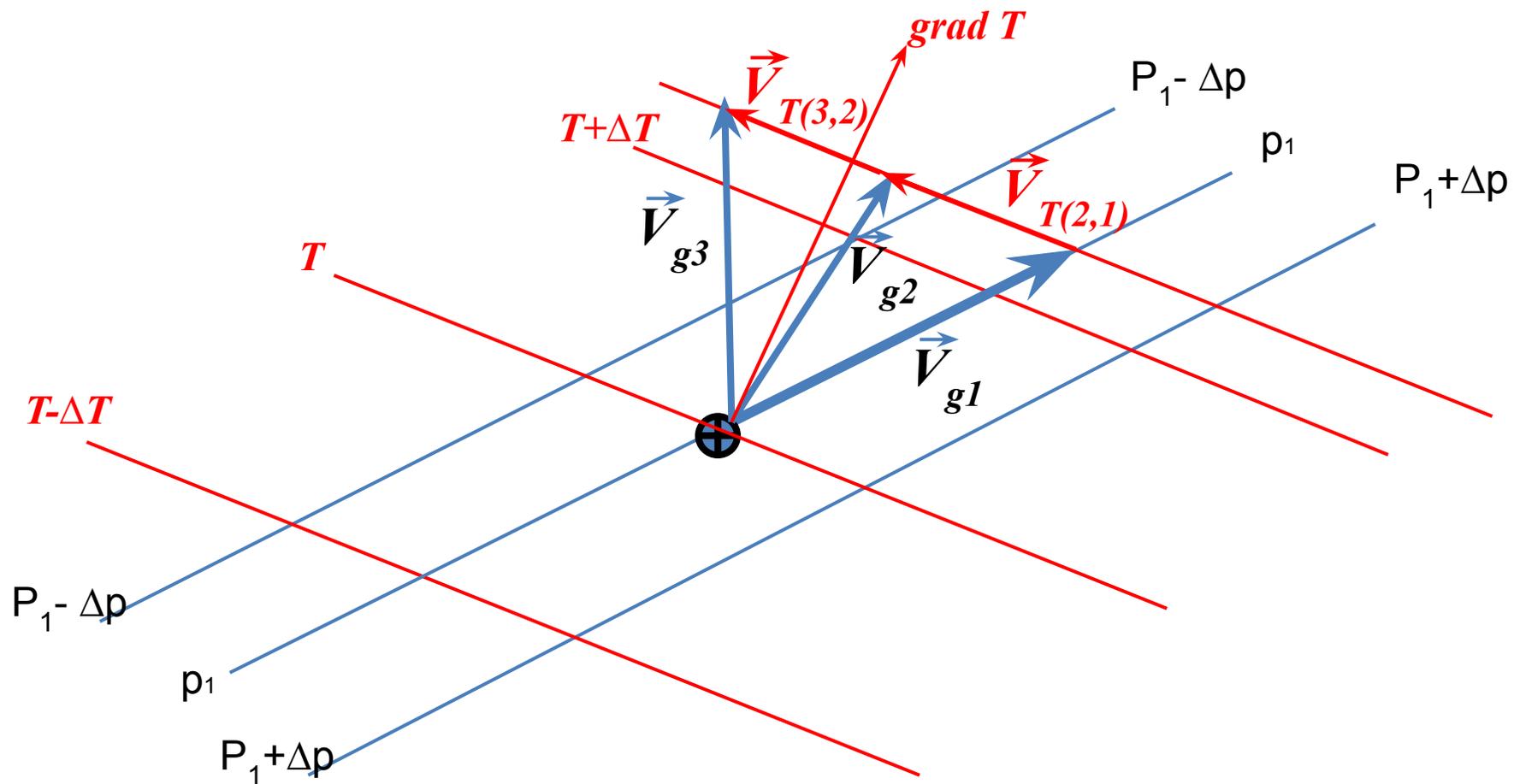
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



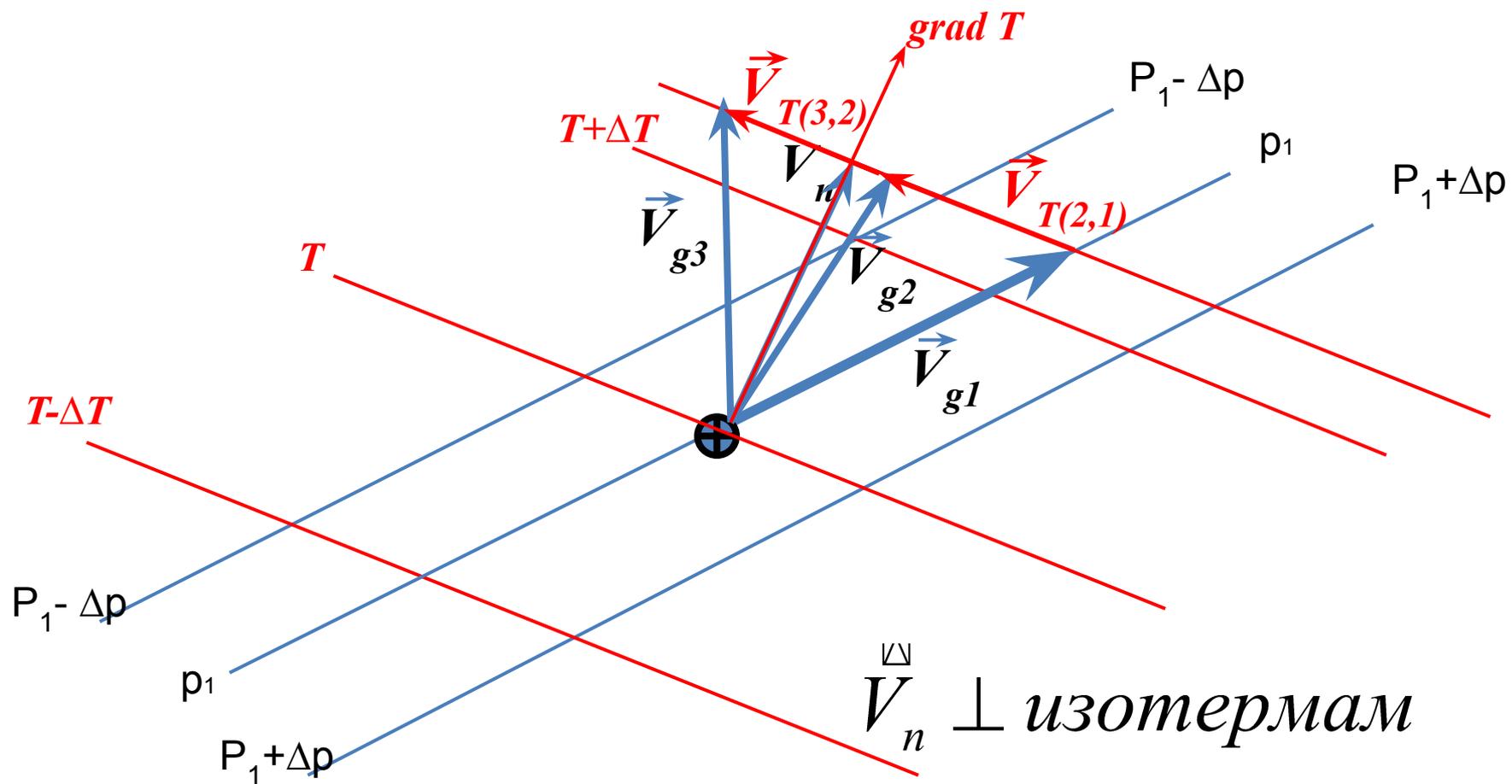
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

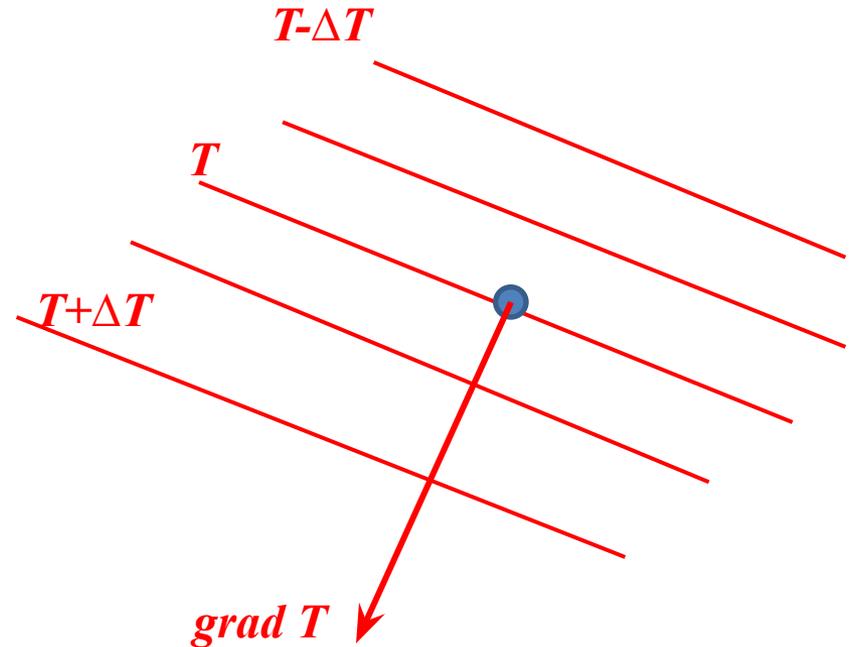
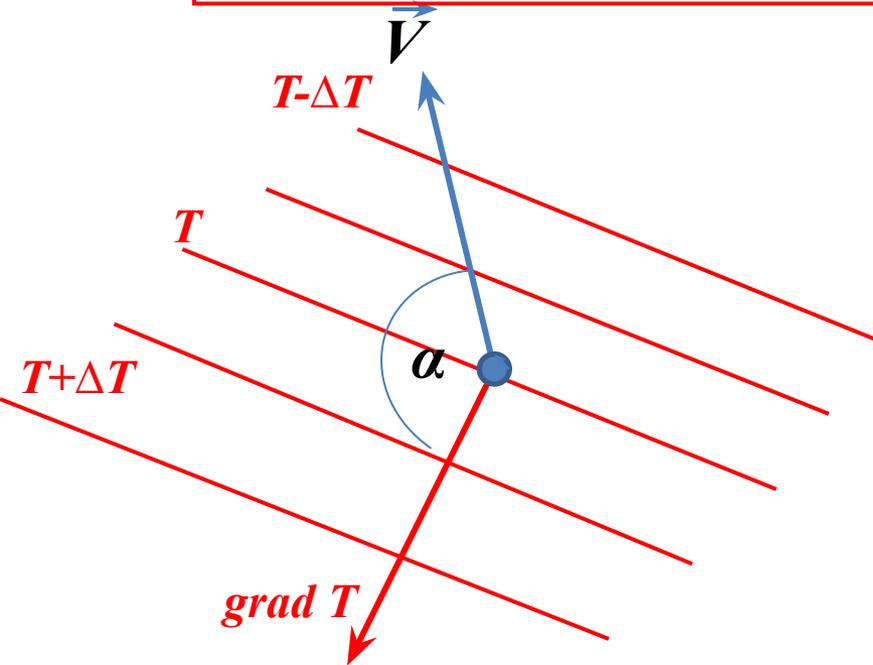


Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



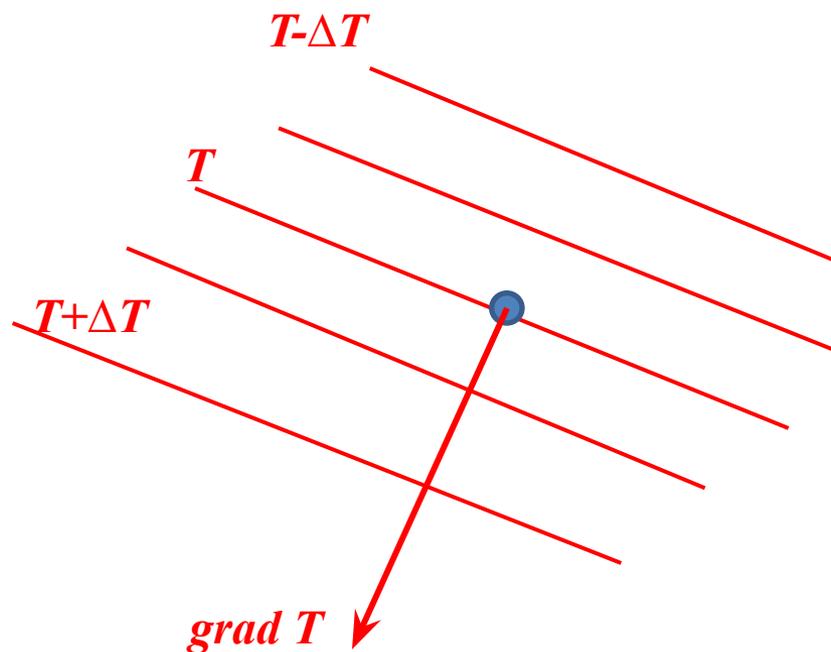
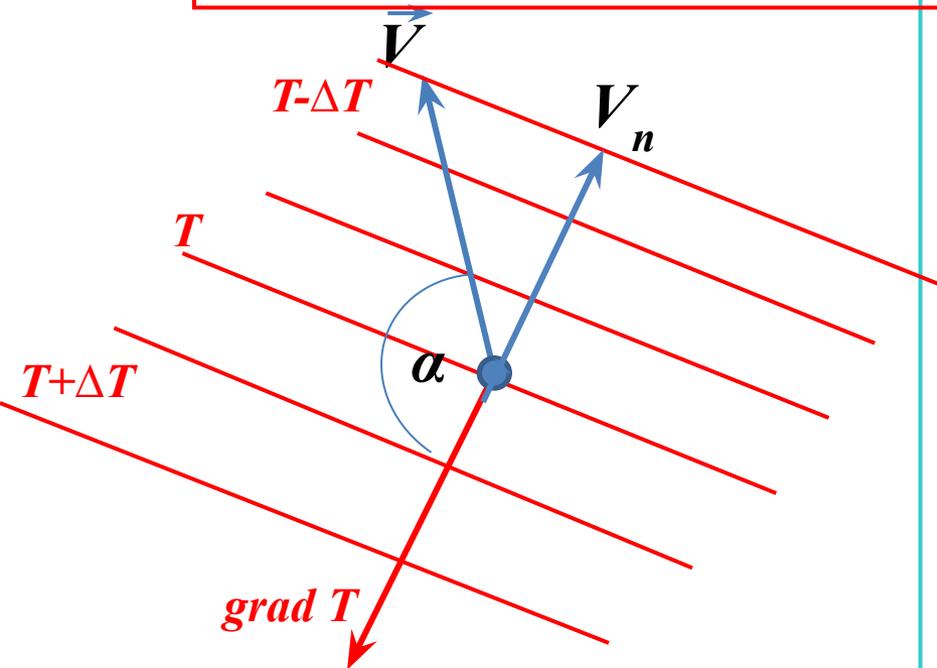
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -grad_s T \cdot \vec{V} = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot (V \cdot \cos \alpha) = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$



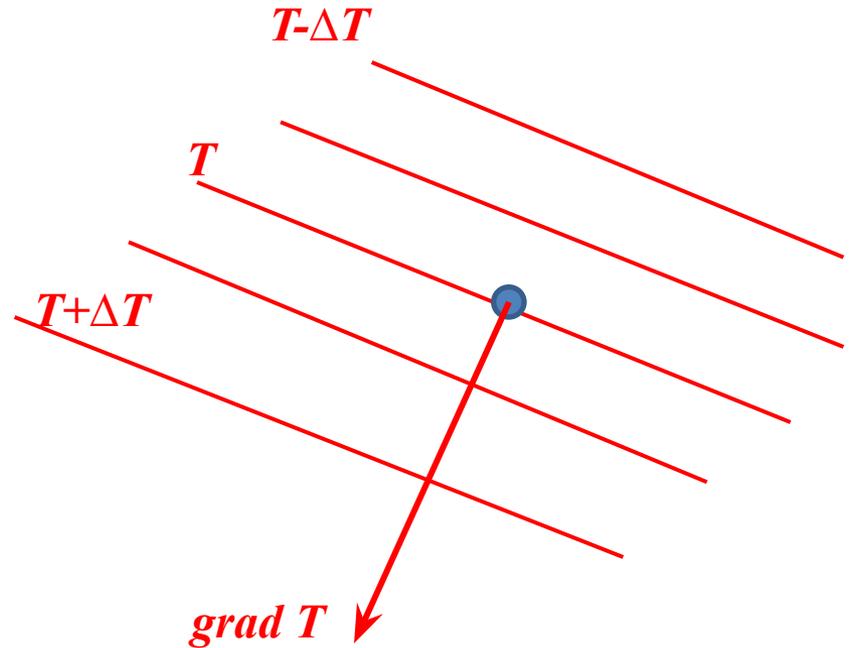
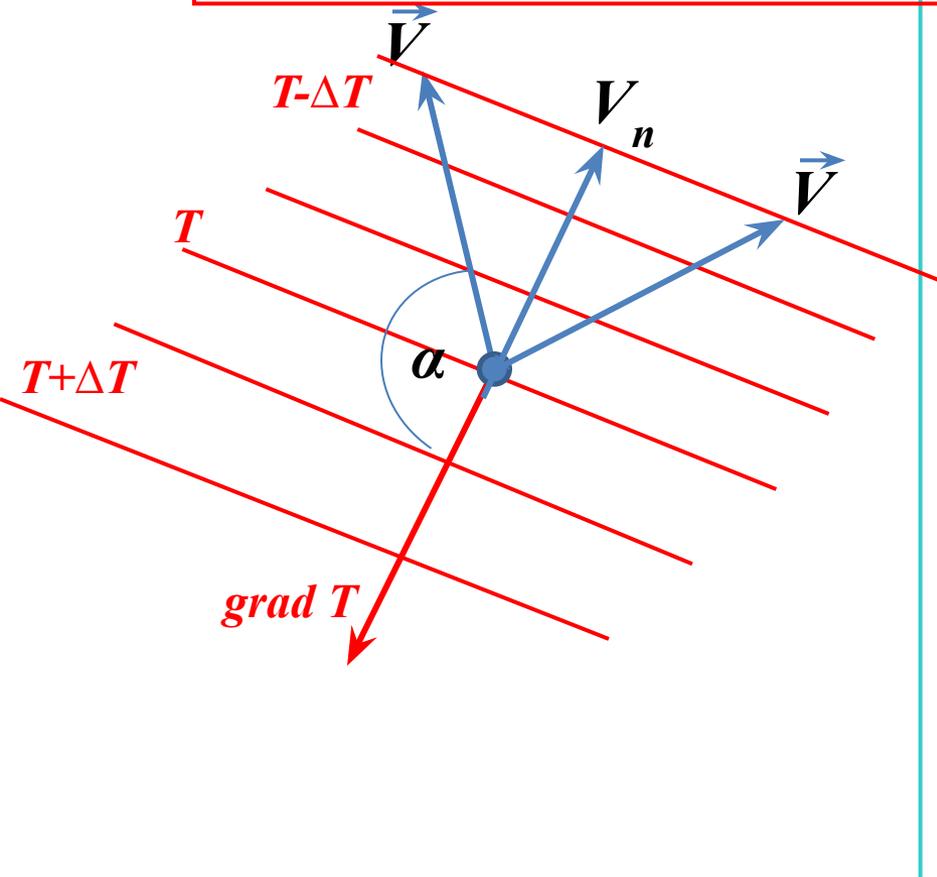
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -grad_s T \cdot \vec{V} = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot (V \cdot \cos \alpha) = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$



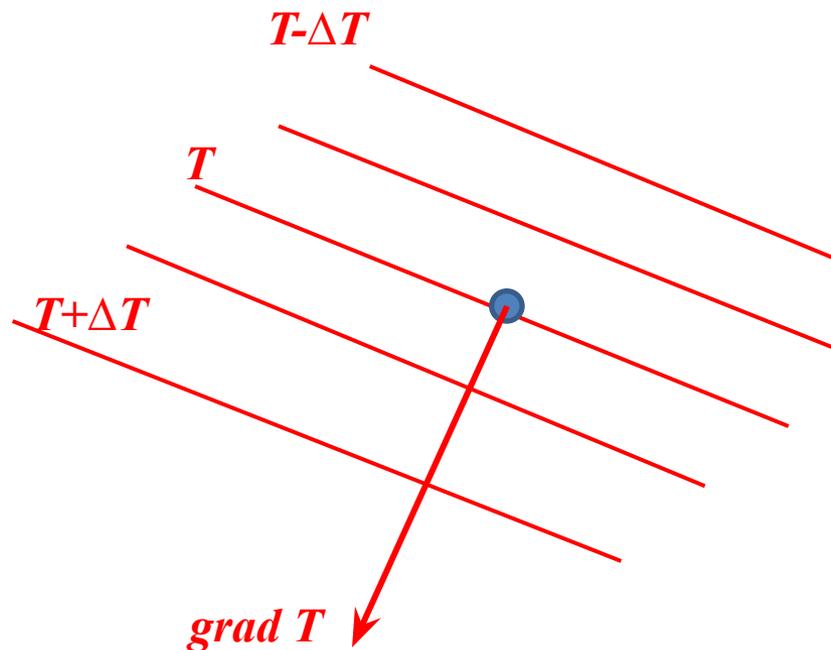
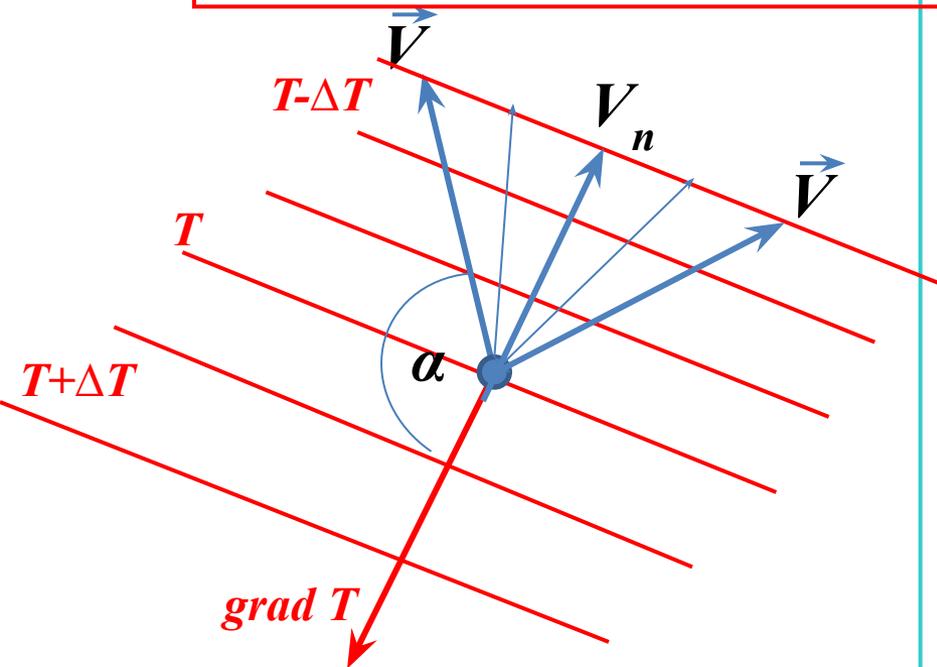
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -grad_s T \cdot \vec{V} = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot (V \cdot \cos \alpha) = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$



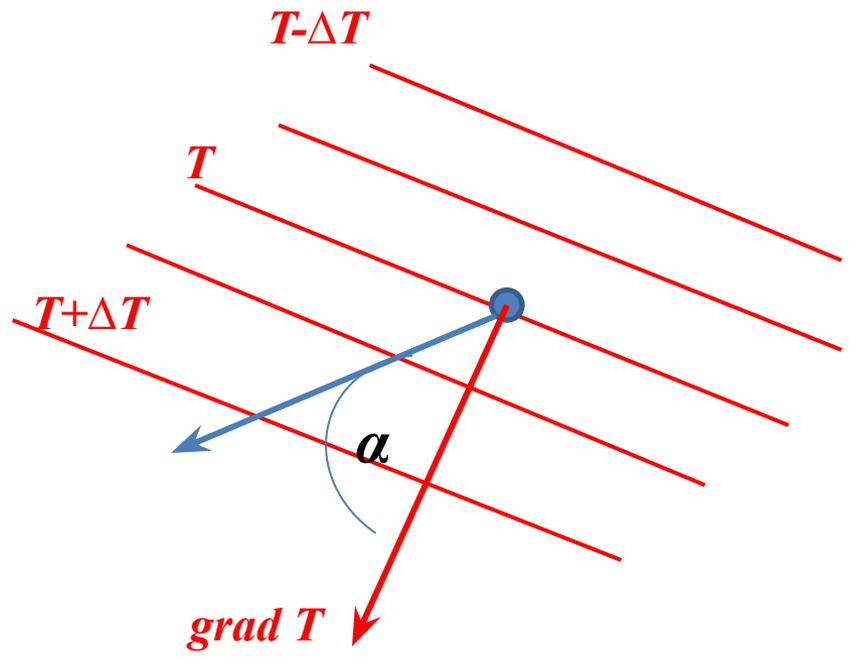
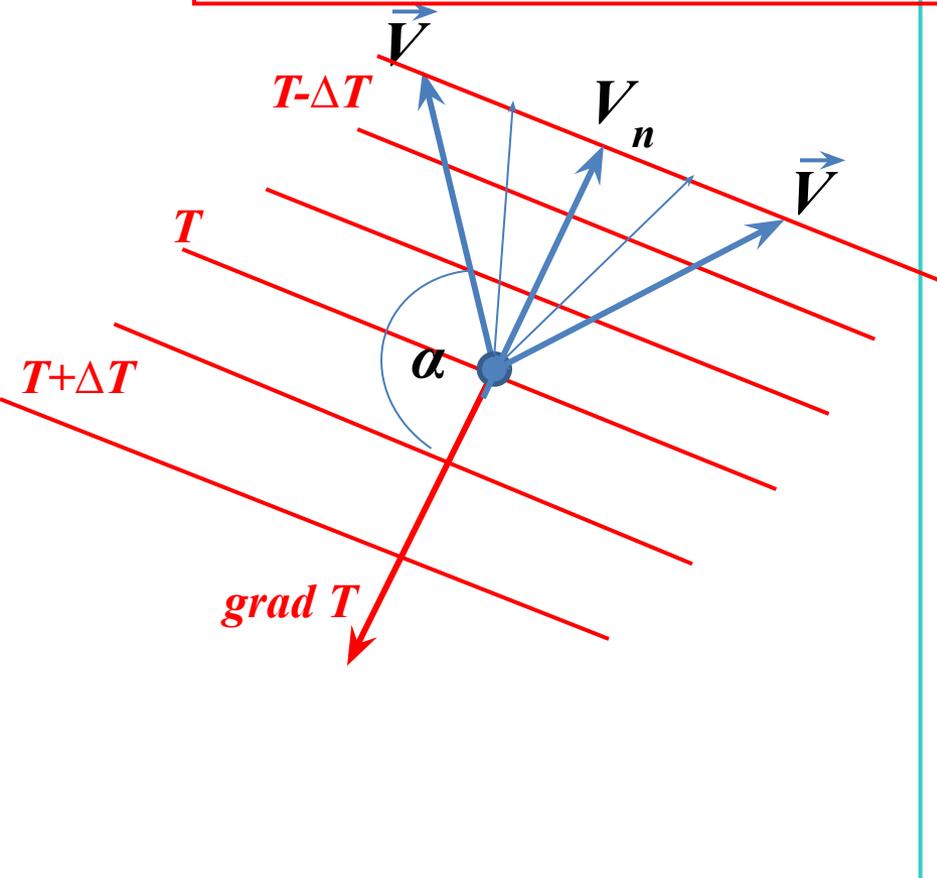
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -grad_s T \cdot \vec{V} = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot (V \cdot \cos \alpha) = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$



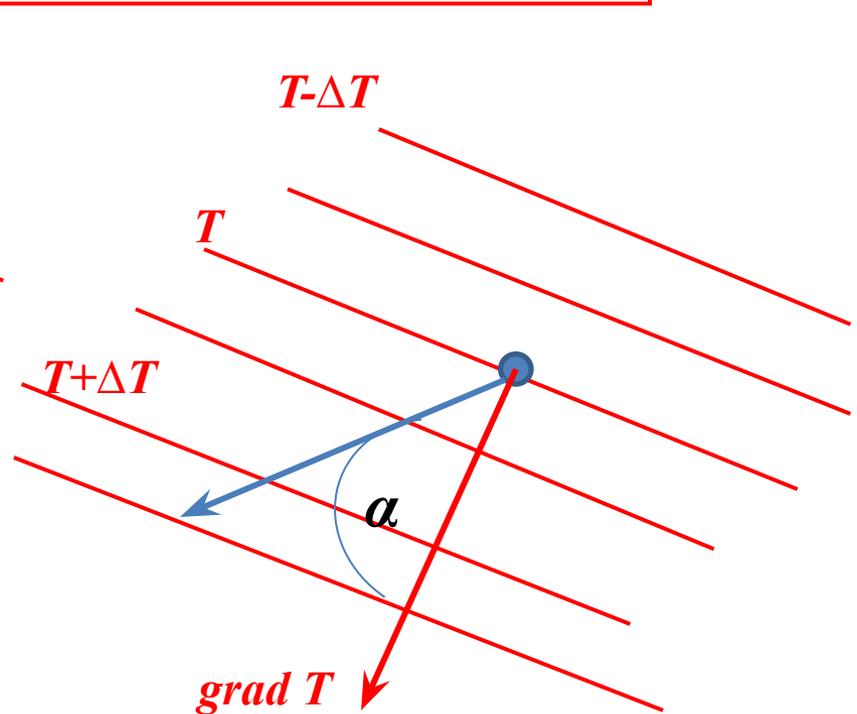
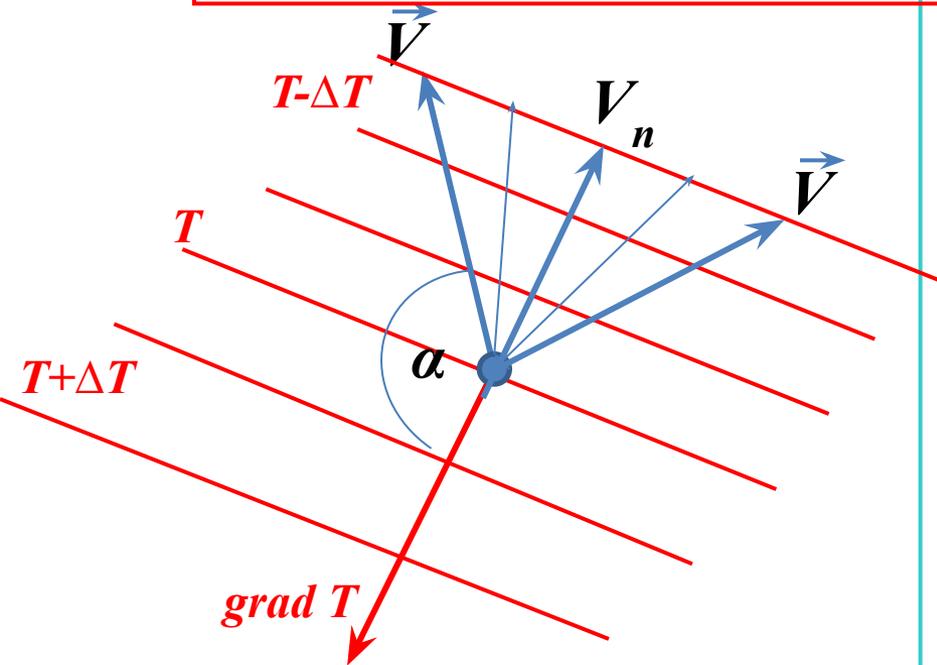
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -grad_s T \cdot \vec{V} = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot (V \cdot \cos \alpha) = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$



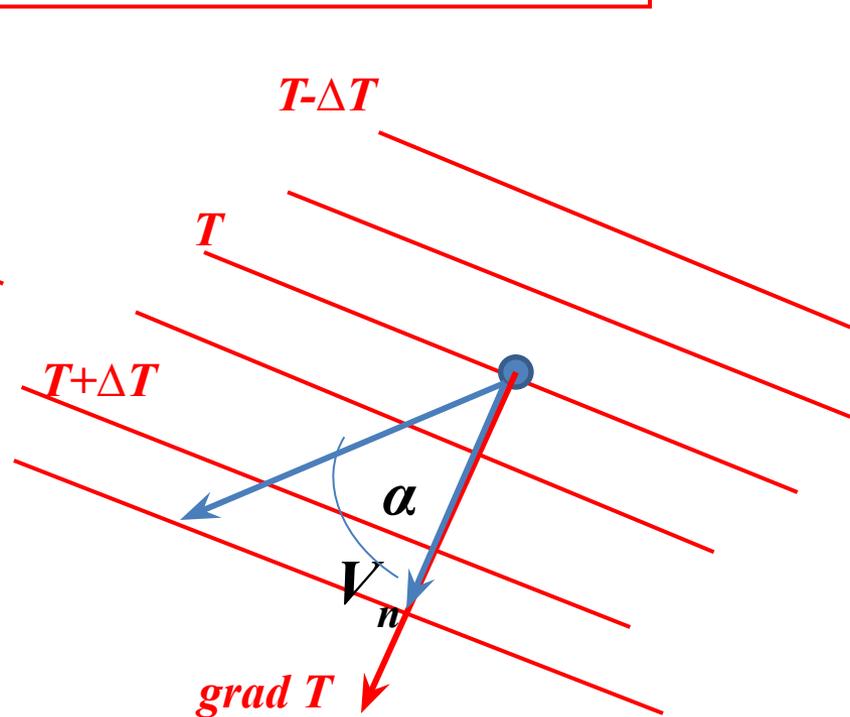
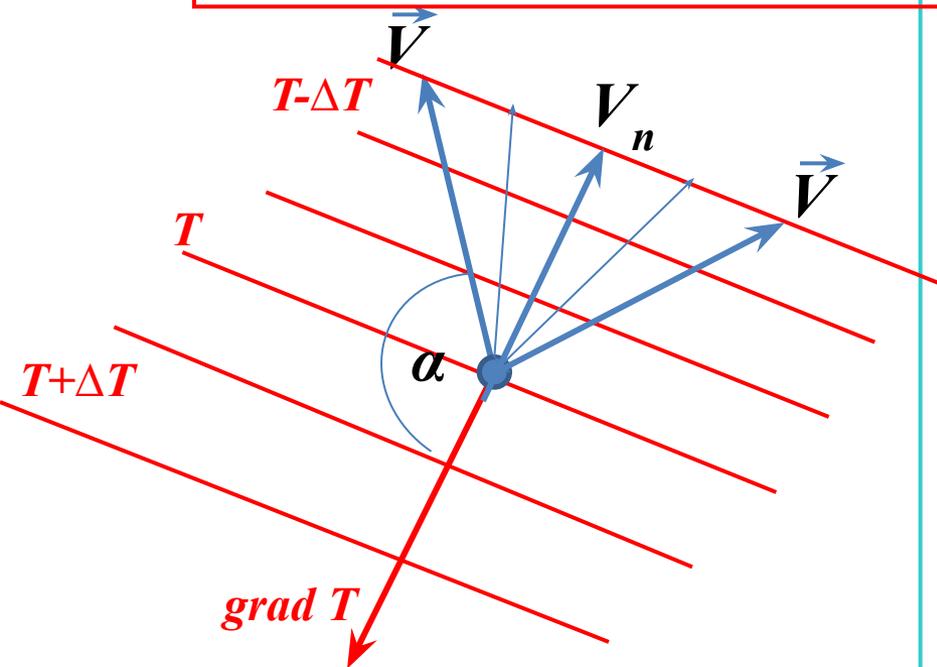
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -grad_s T \cdot \vec{V} = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot (V \cdot \cos \alpha) = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$



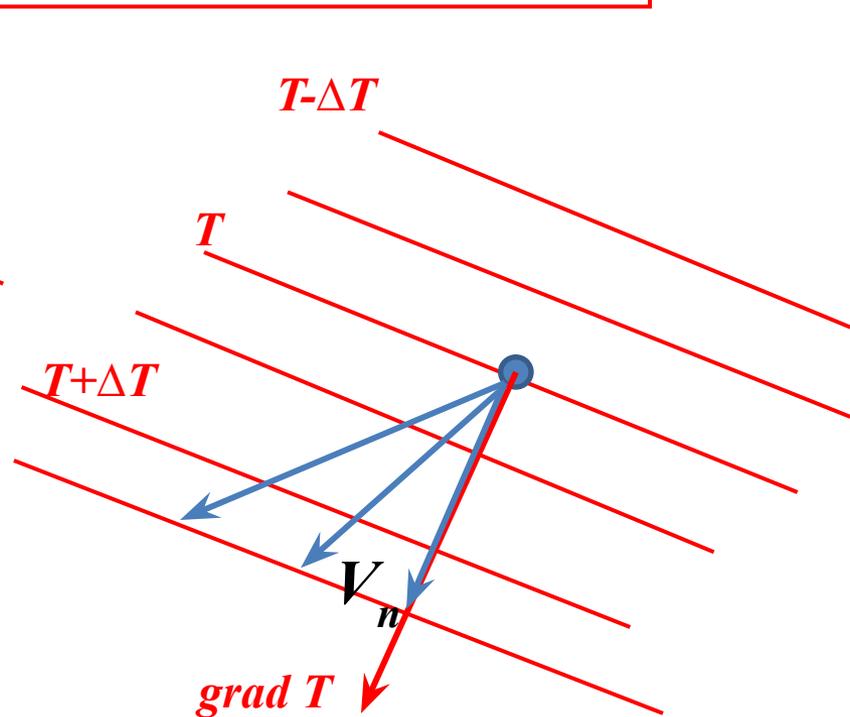
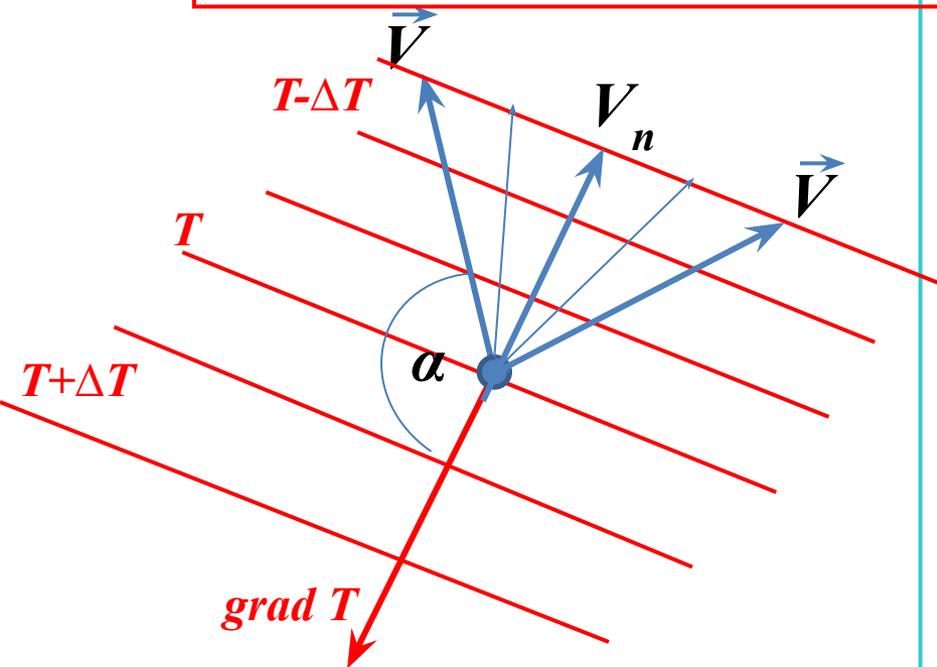
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -grad_s T \cdot \vec{V} = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot (V \cdot \cos \alpha) = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$



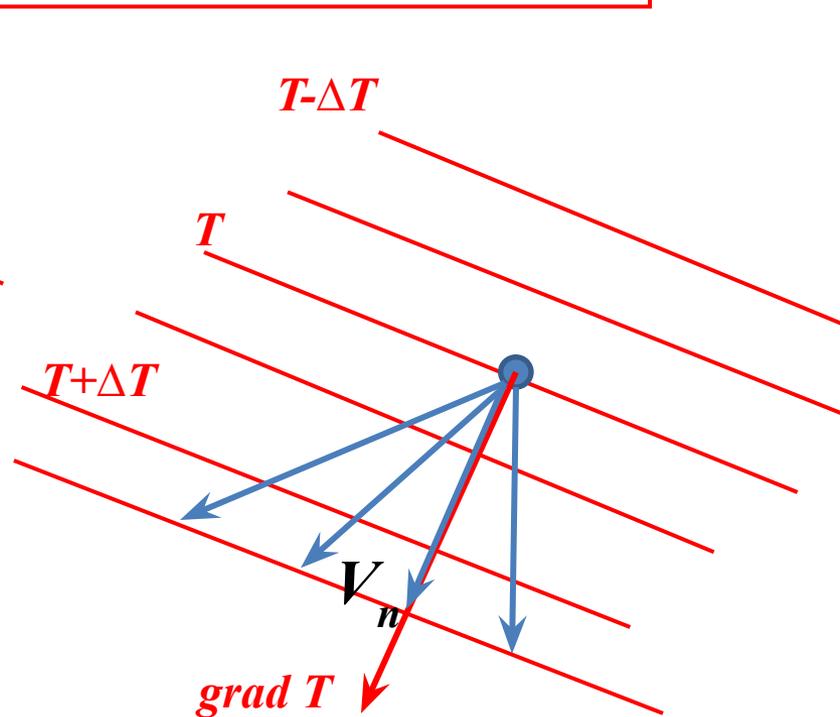
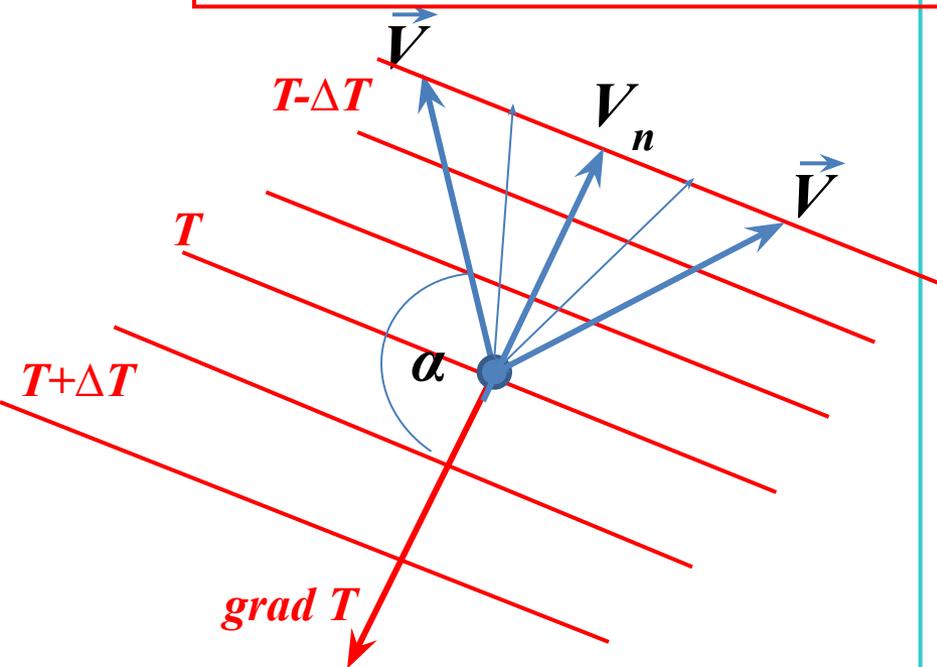
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -grad_s T \cdot \vec{V} = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot (V \cdot \cos \alpha) = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$



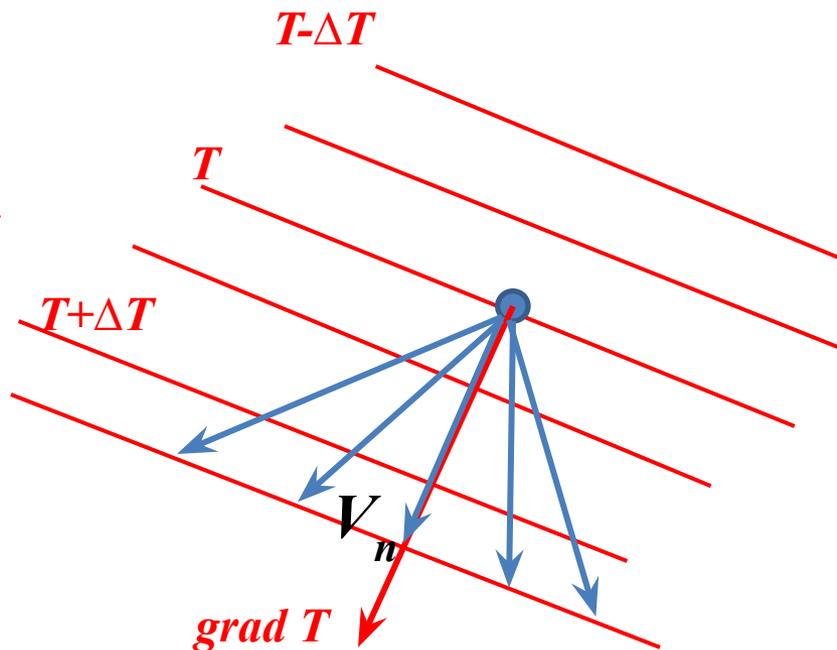
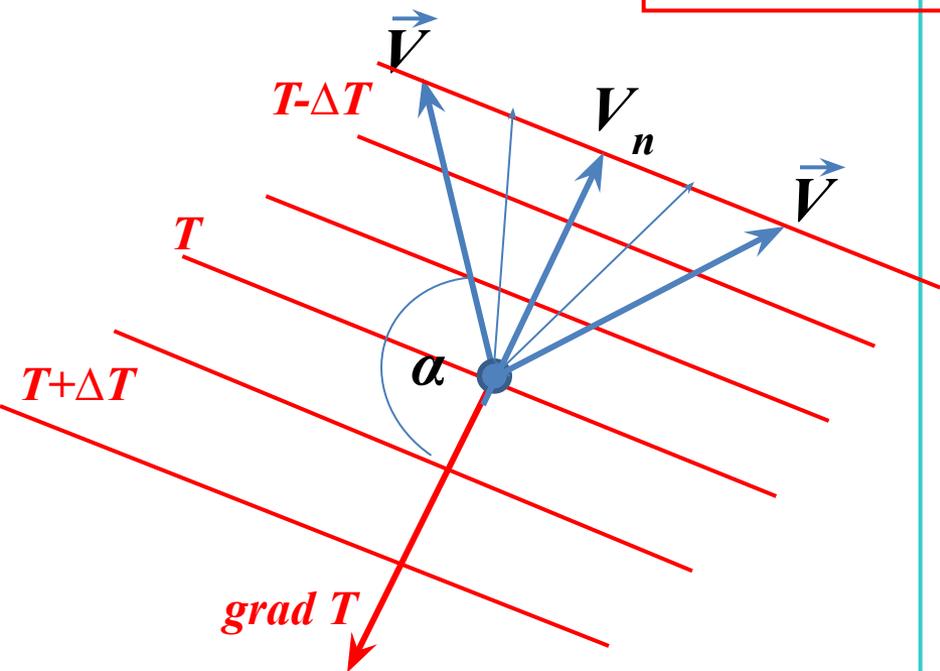
Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -grad_s T \cdot \vec{V} = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot (V \cdot \cos \alpha) = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$



Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = - \frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$



Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени- ВЫВОД

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = - \frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$

Величина адвективных изменений не зависит от высоты при постоянном по высоте горизонтальном градиенте температуры



Контрольные вопросы

Вопрос 1.

Величина геострофической адвекция
максимальна :

1- если изобары перпендикулярны изотермам;

2 – если ветер направлен вдоль изобар;

2 – если изобары и изотермы параллельны.



Контрольные вопросы

Вопрос 2.

При правом повороте ветра с высотой в северном полушарии следует ожидать:

- 1- похолодания в циклонической системе и потепления в антициклонической;*
- 2 – похолодания в любой синоптической системе;*
- 3 – потепления в любой синоптической системе.*

**Запись вебинара будет
доступна**

на сайте ФЗО РГГМУ

<http://fzo.rshu.ru/content/vebinar>