

# Егоров Кирилл Леонидович

кандидат физико-  
математических наук  
доцент кафедры ДАКЗ

## Контактная информация:

e-mail: [egorov@rshu.ru](mailto:egorov@rshu.ru)

e-mail: [egorov@rshu.ru](mailto:egorov@rshu.ru)

e-mail: [egorov@rshu.ru](mailto:egorov@rshu.ru)

[egorov@rshu.ru](mailto:egorov@rshu.ru)

# Геострофическая адвекция температуры



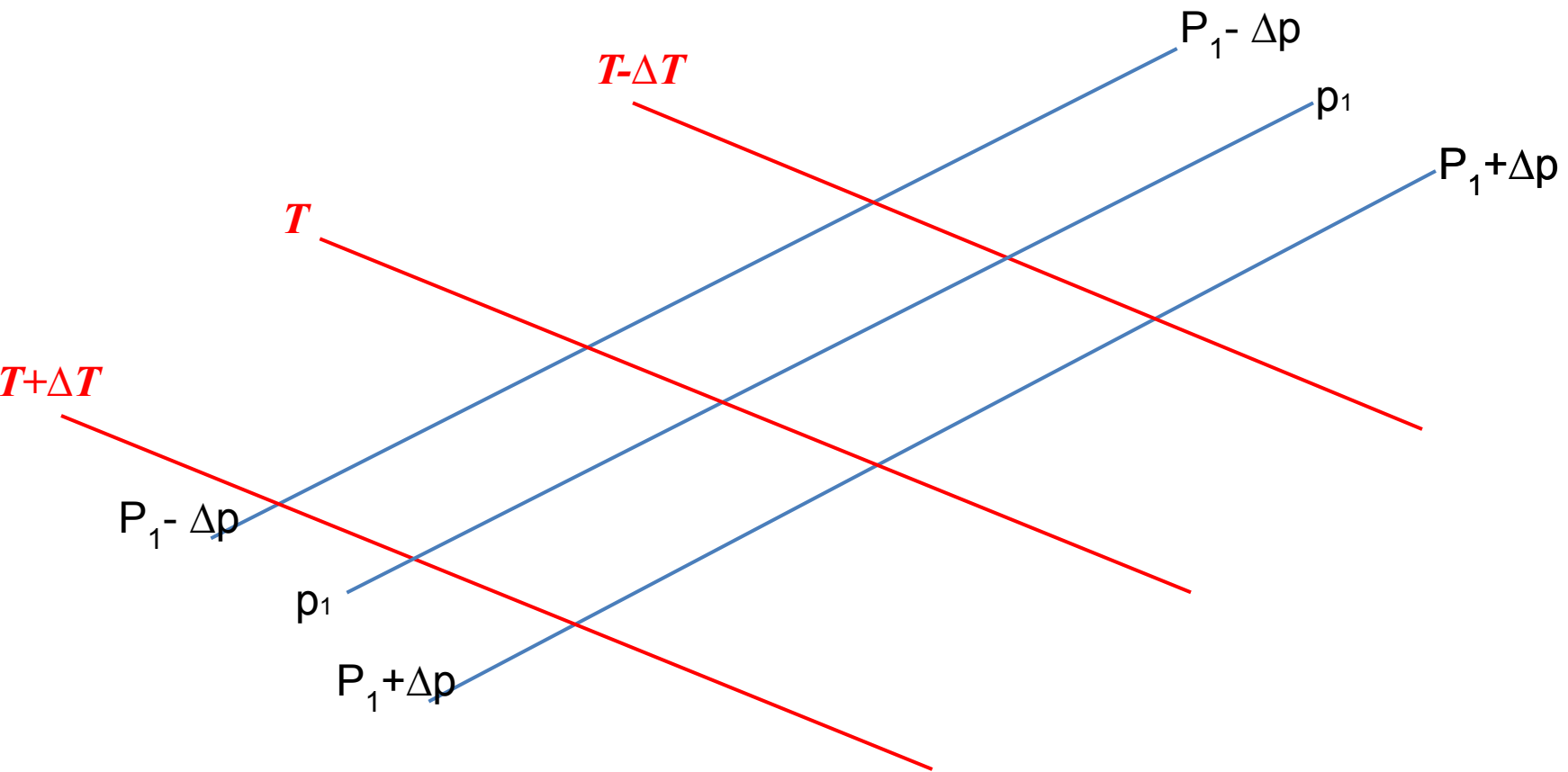
# Геострофическая адвекция температуры

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

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

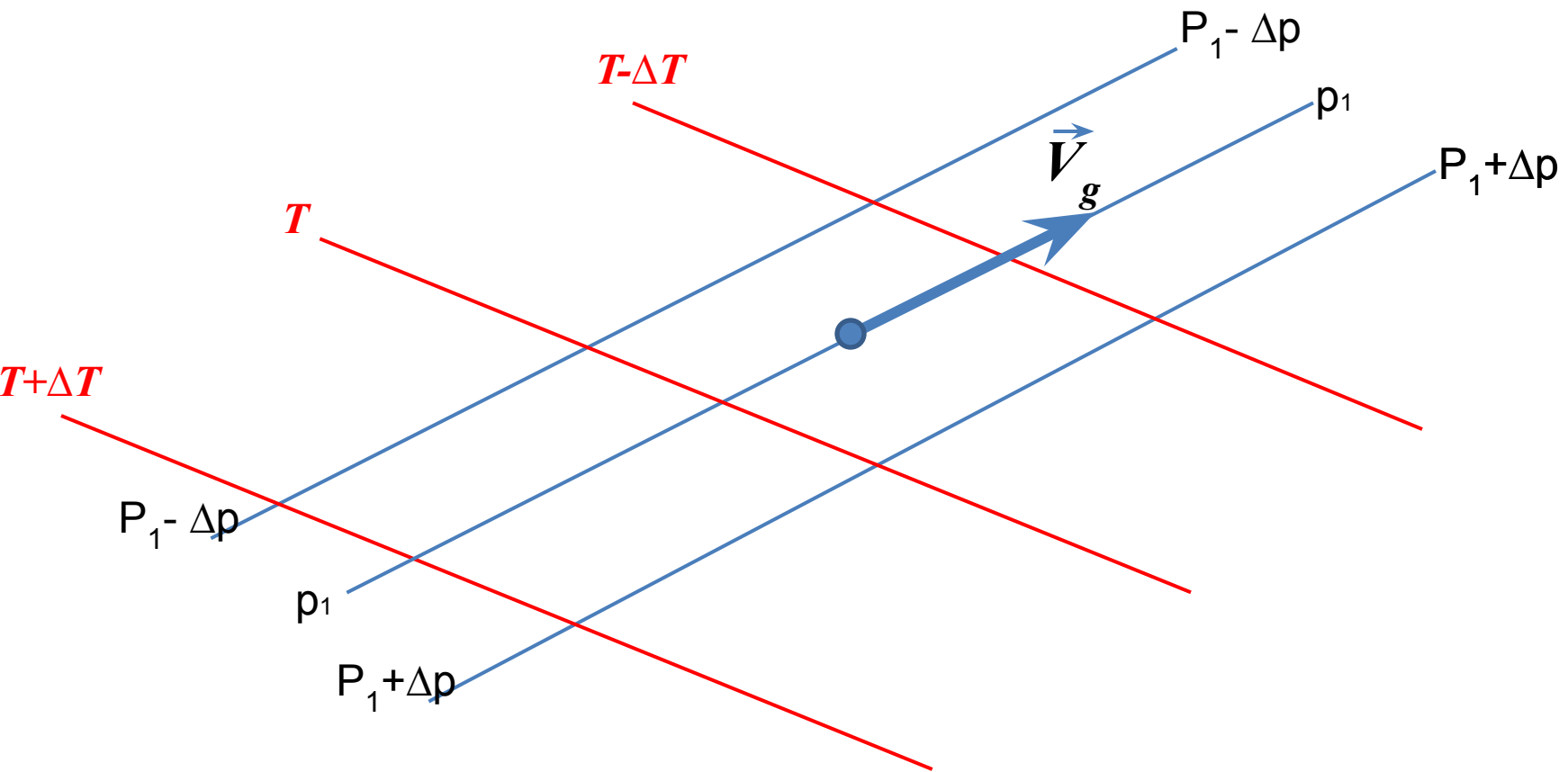
$\alpha$  — угол между направлением ветра и вектором градиента температуры

# Геострофическая адвекция температуры

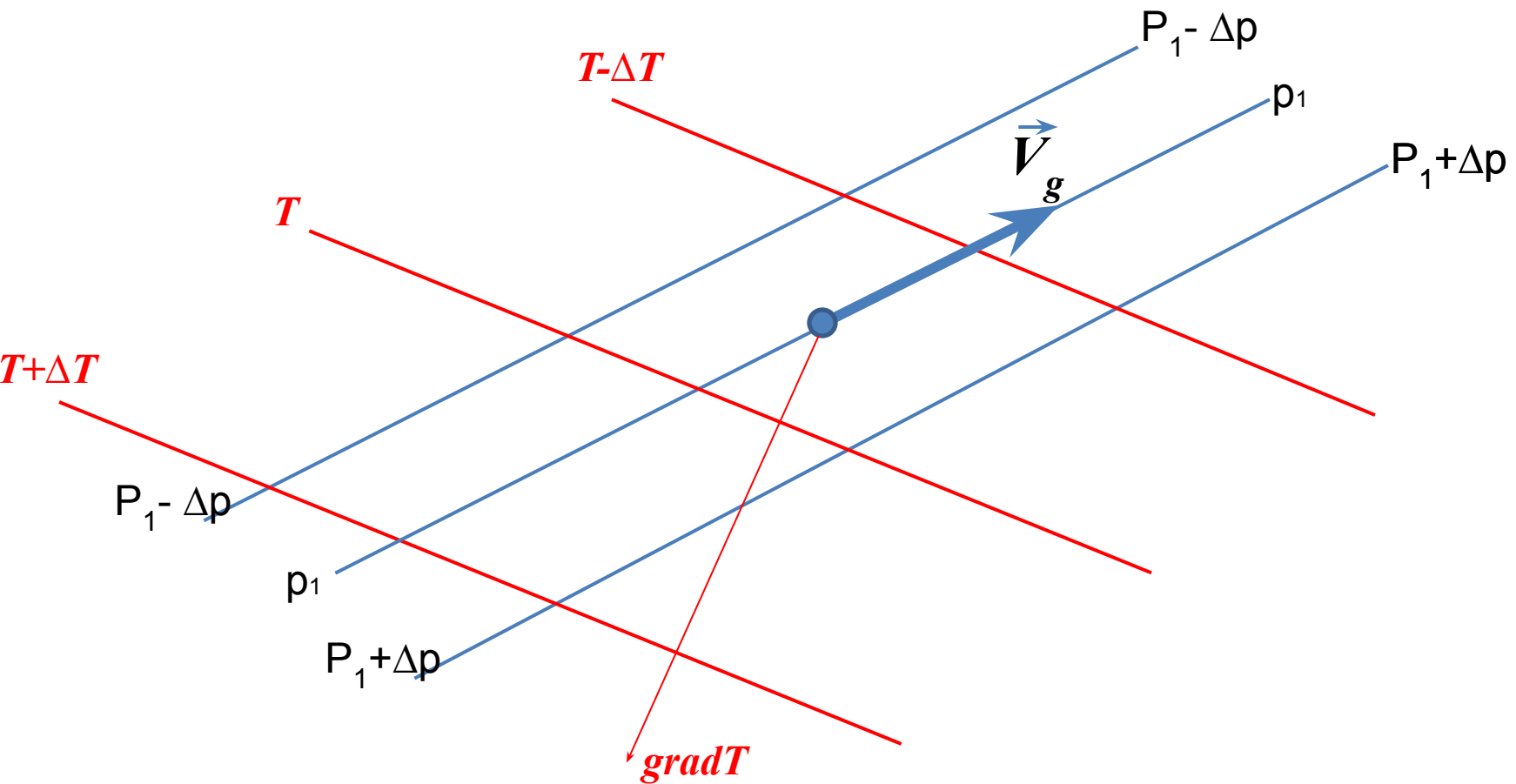




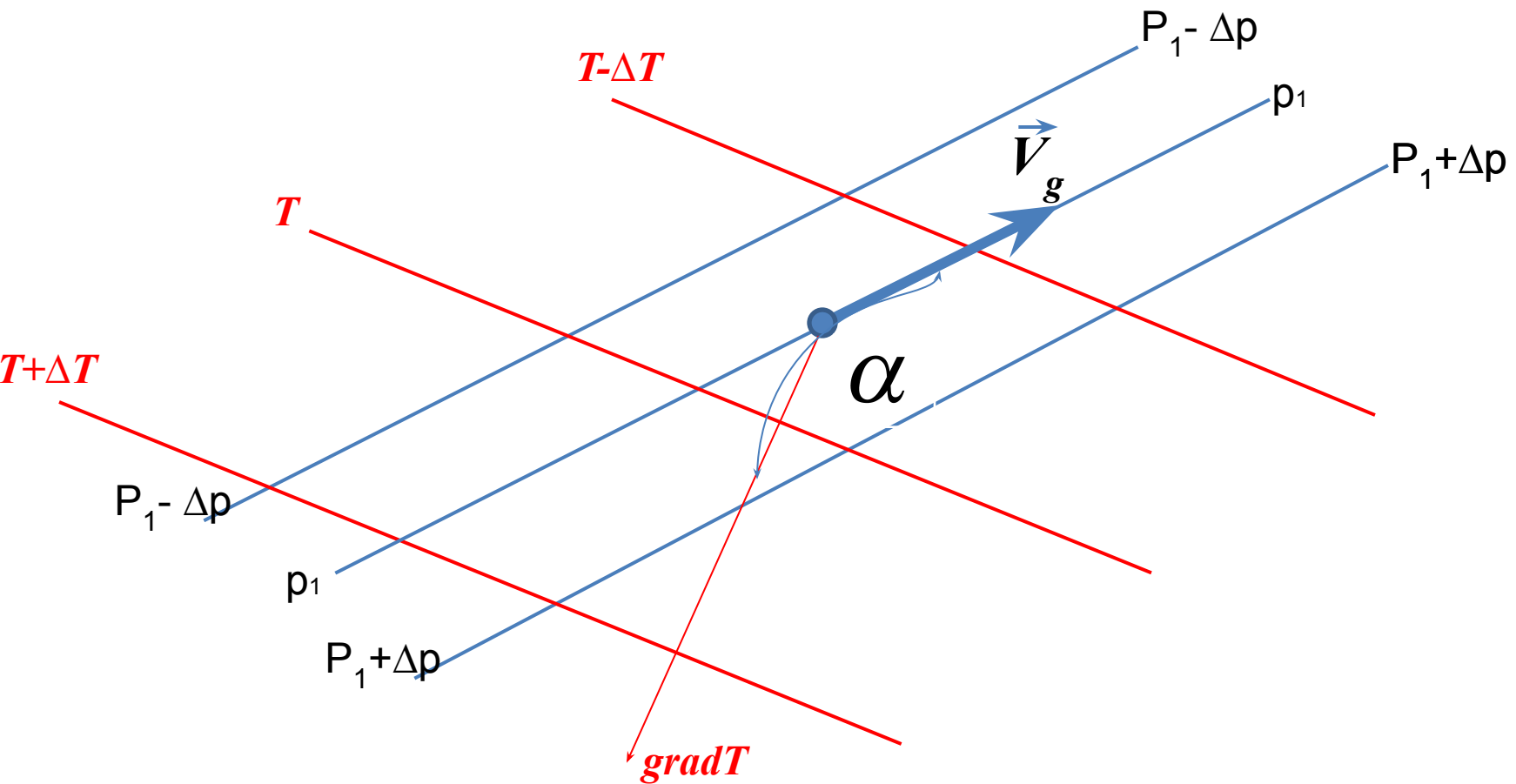
# Геострофическая адвекция температуры

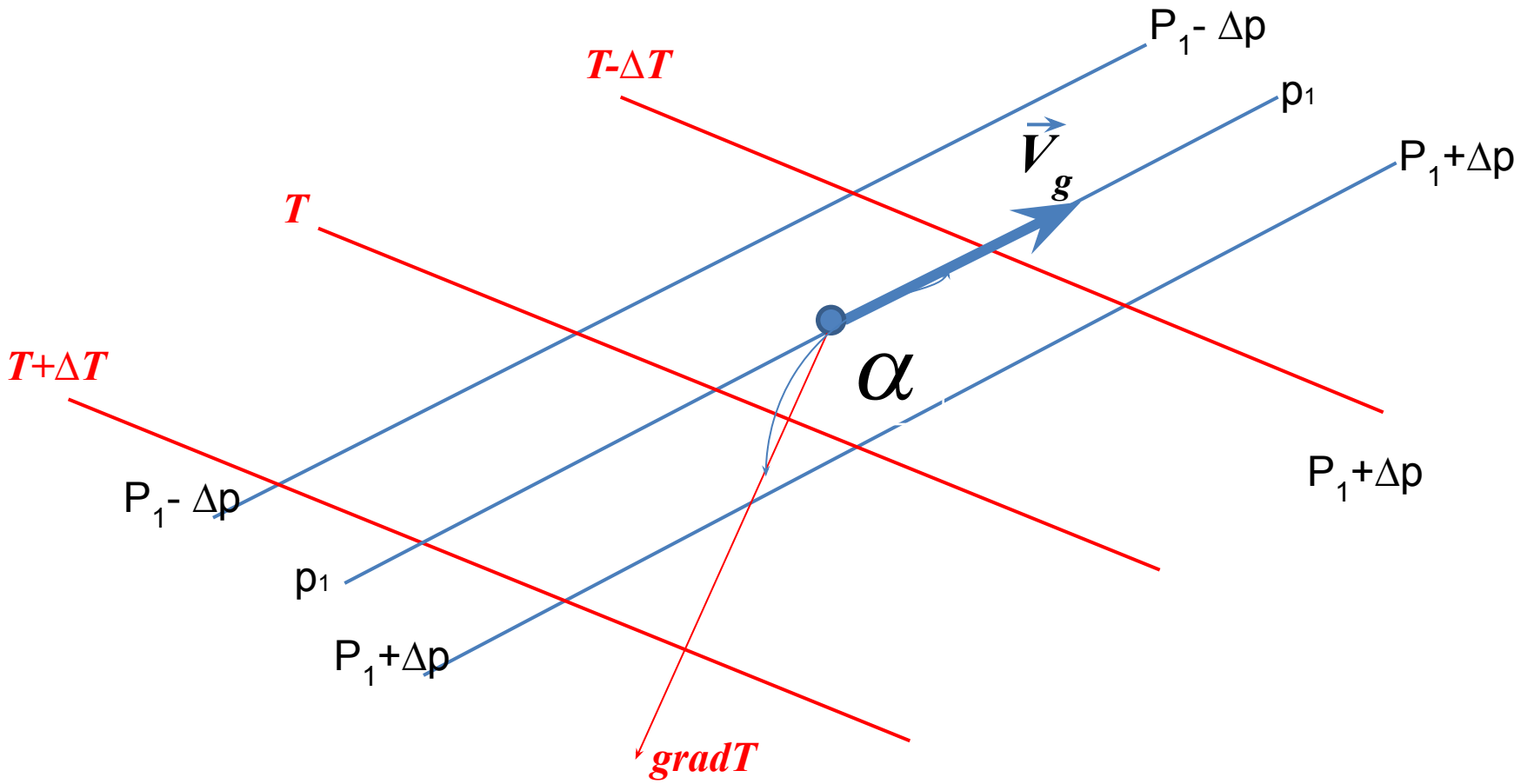


# Геострофическая адвекция температуры



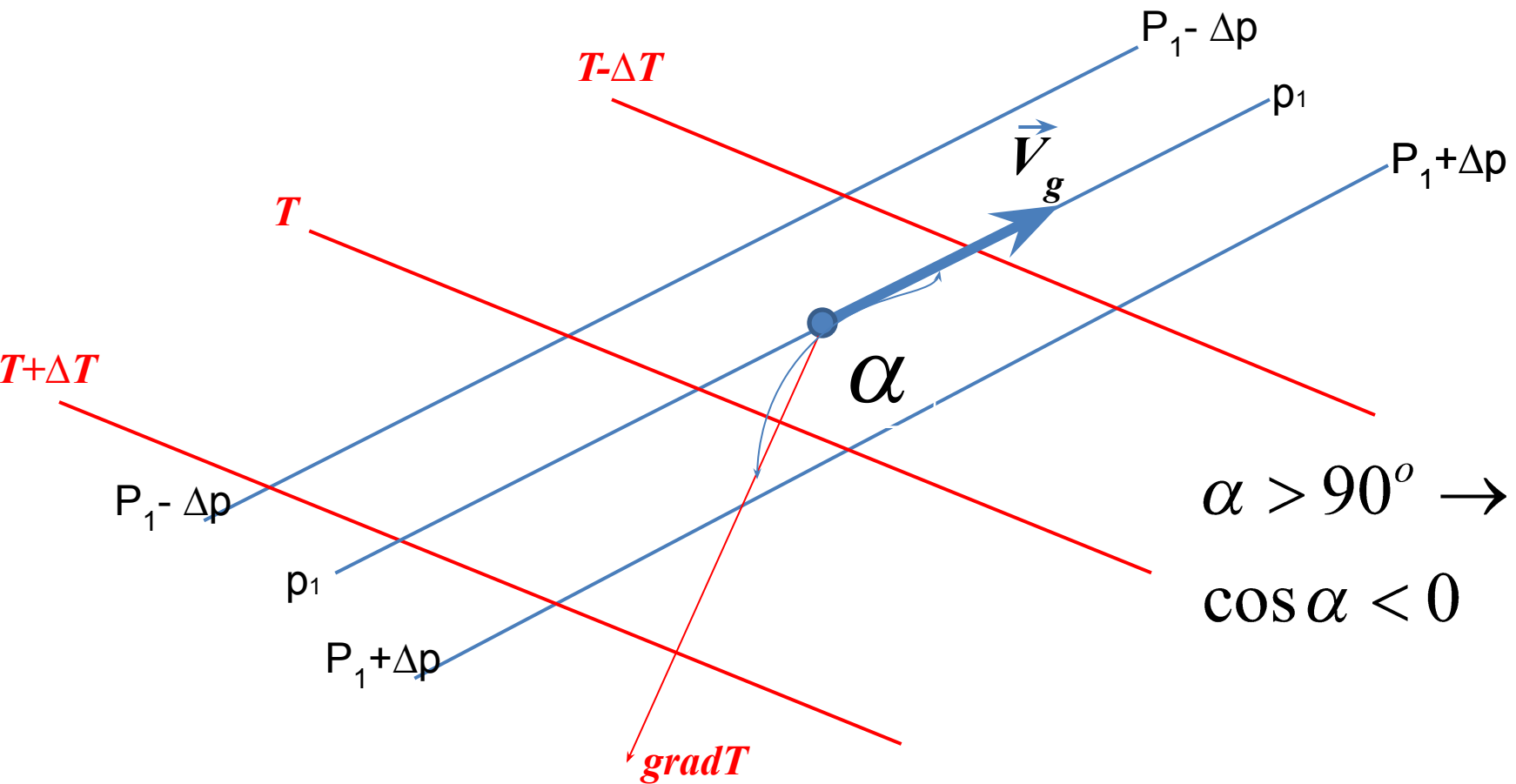
# Геострофическая адвекция температуры





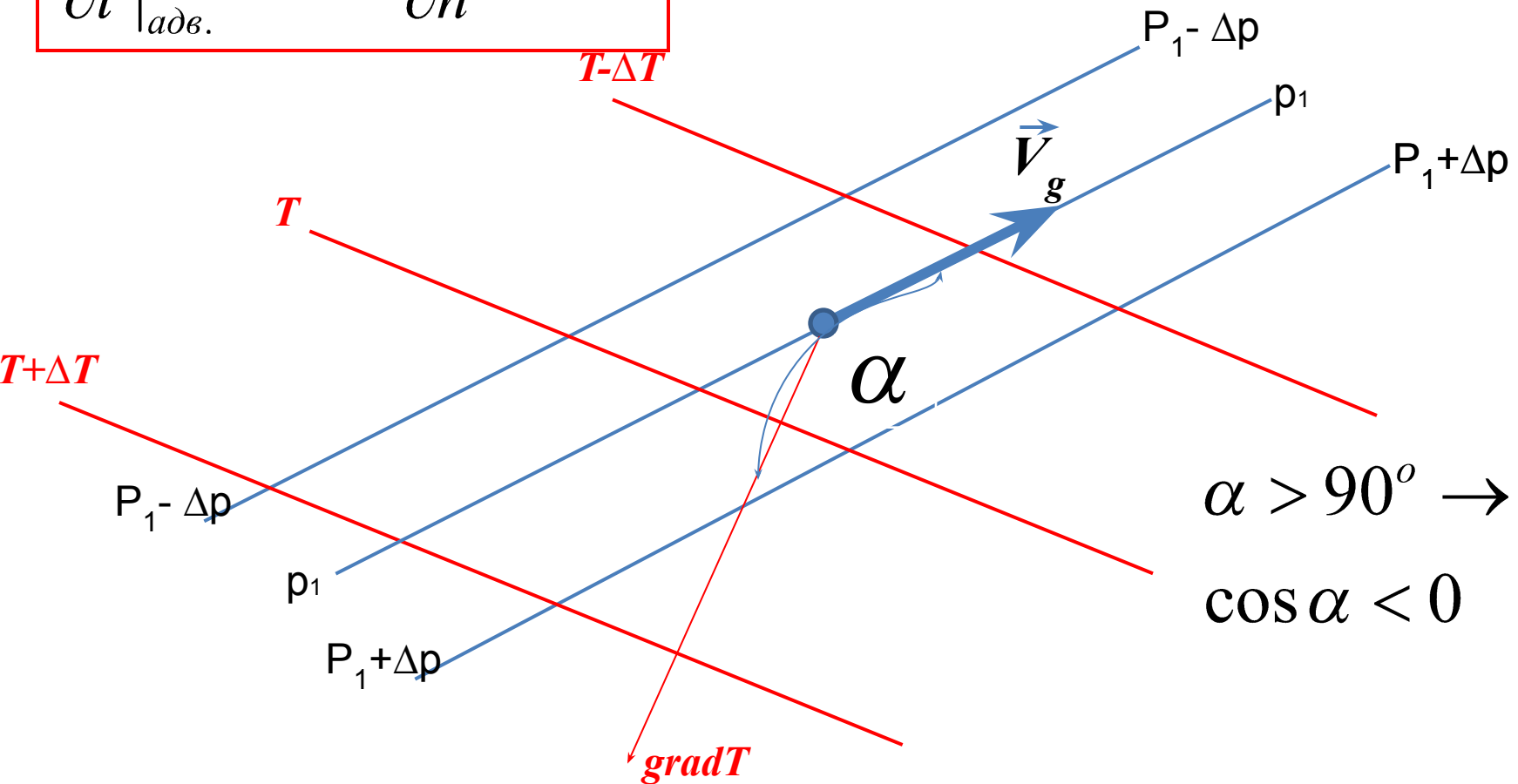


# Геострофическая адвекция температуры



# Геострофическая адвекция температуры

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

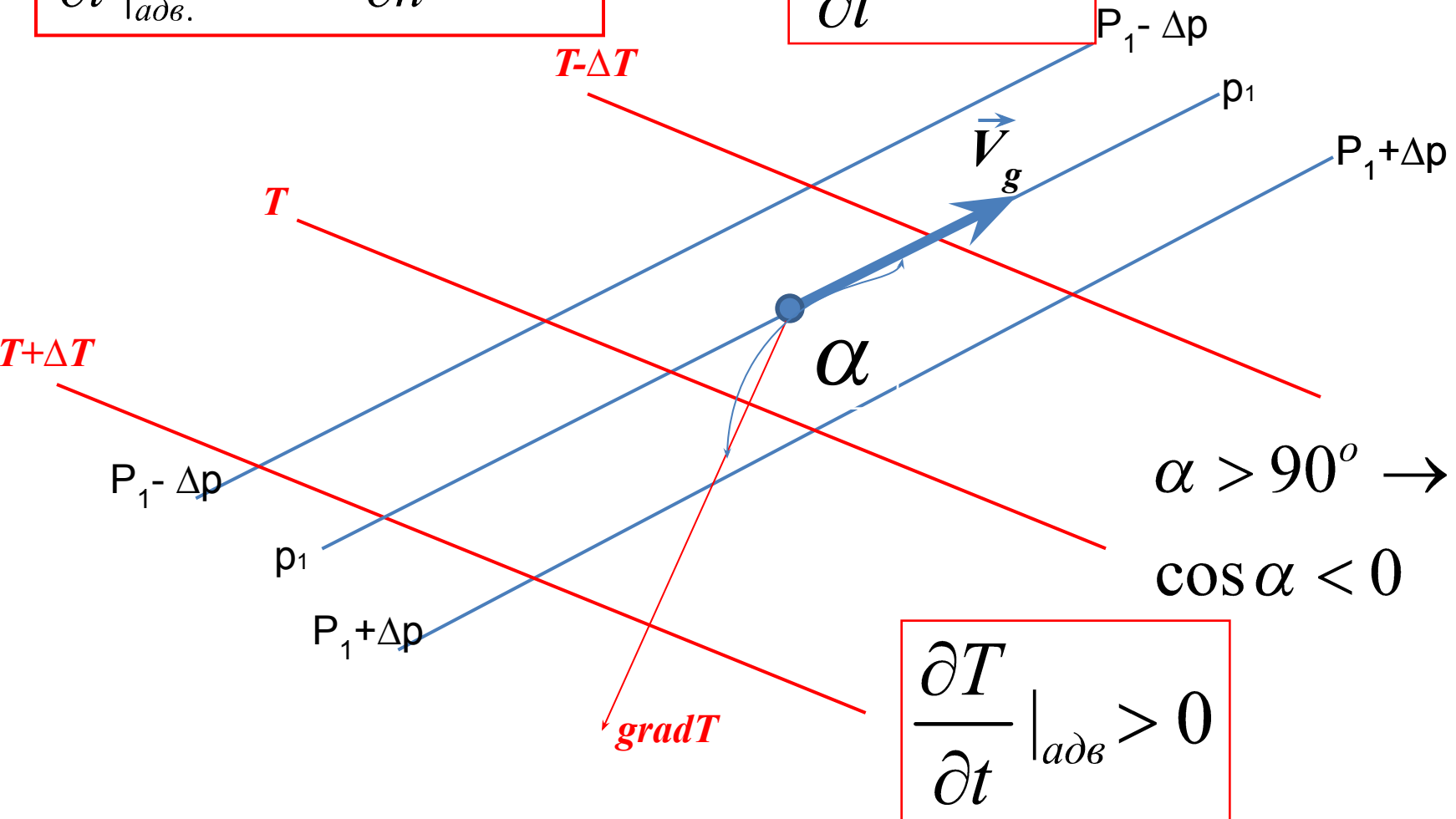


# Геострофическая адвекция температуры

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

→

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



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

# 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

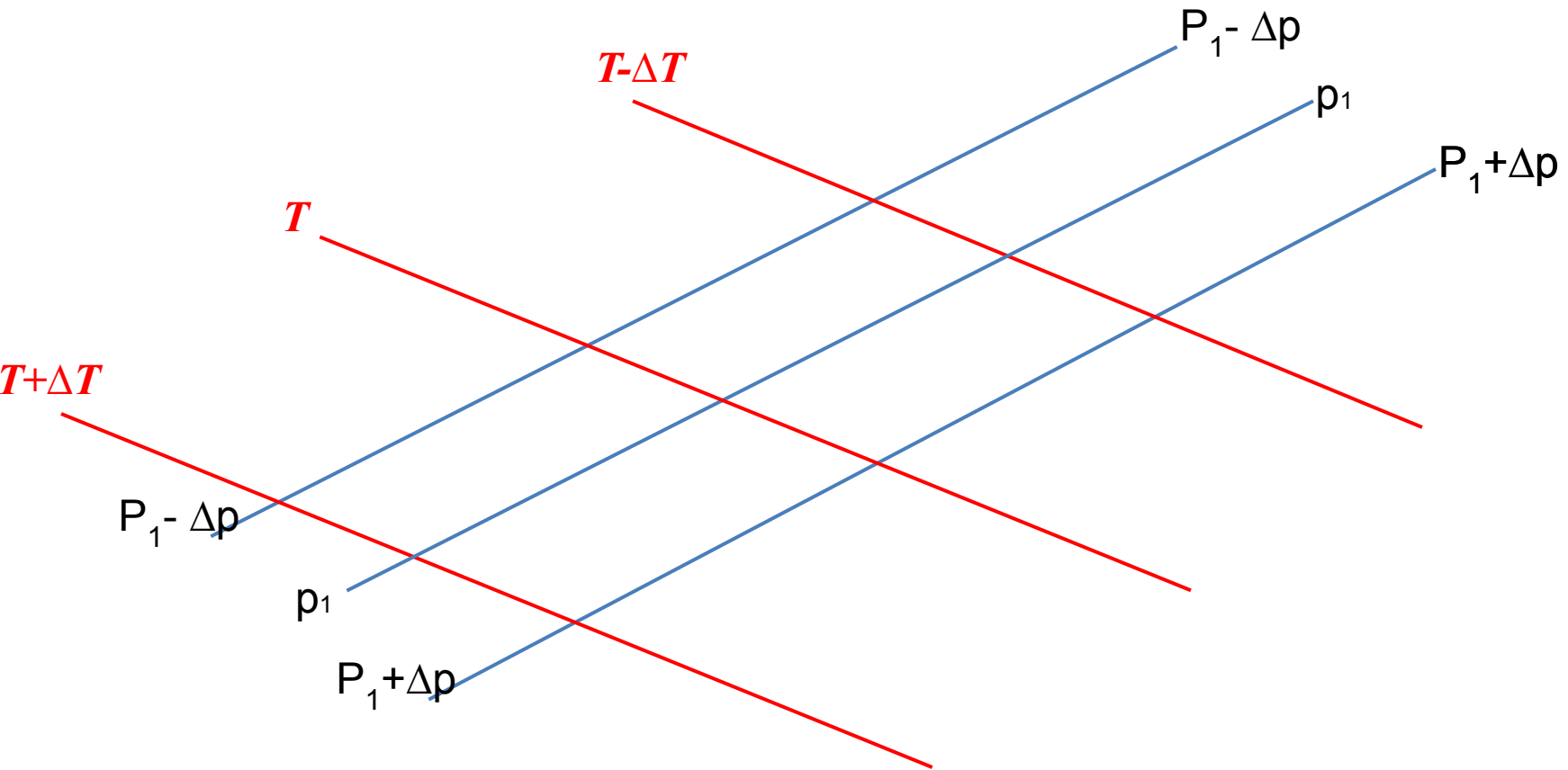
$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = \frac{1}{2\omega_z \rho} \cdot (\mathit{grad}T \times \mathit{grad}p)_z$$

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

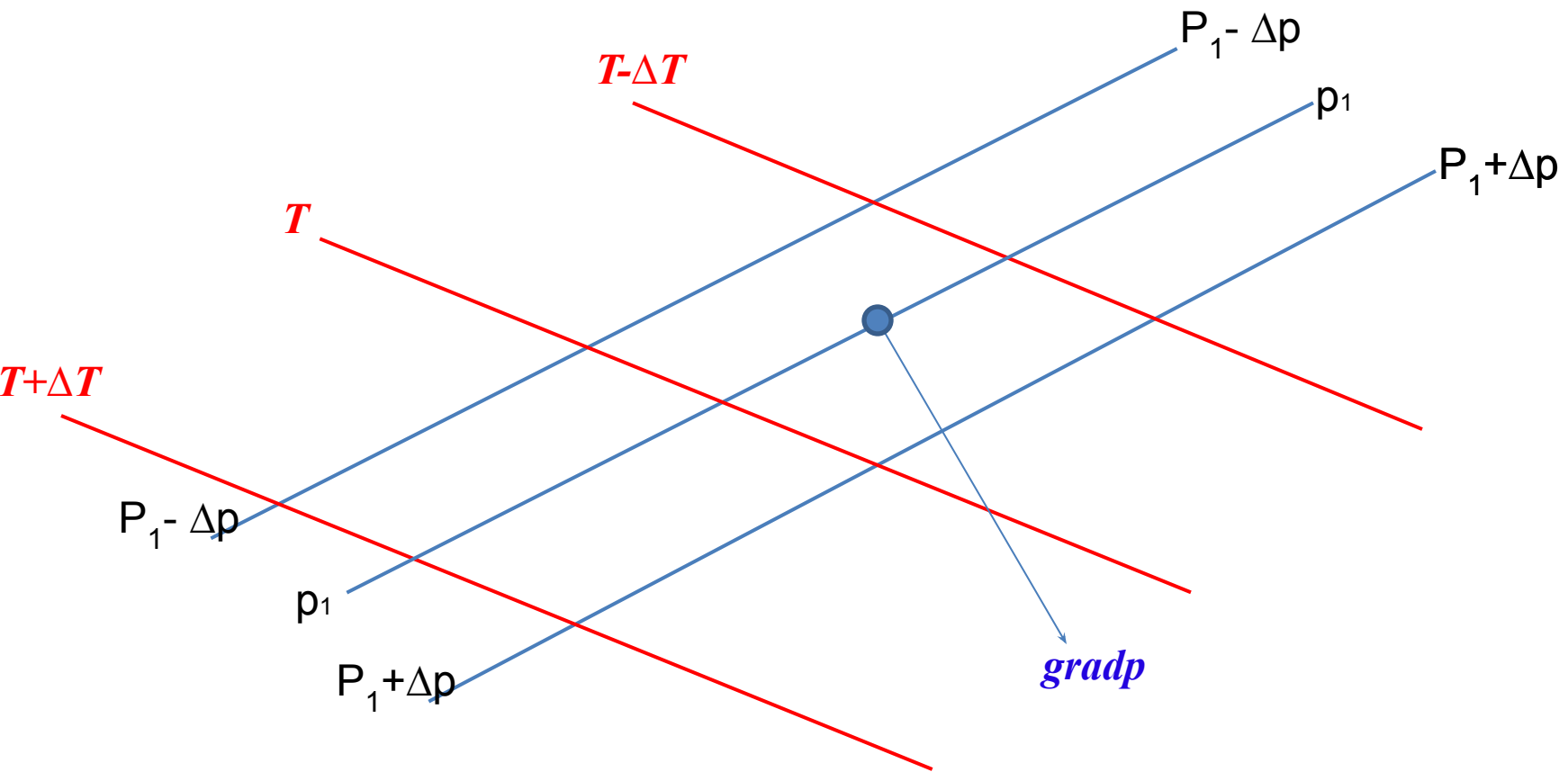
$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = \frac{1}{2\omega_z \rho} \cdot \frac{\partial T}{\partial m} \cdot \frac{\partial p}{\partial n} \cdot \sin \beta$$

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

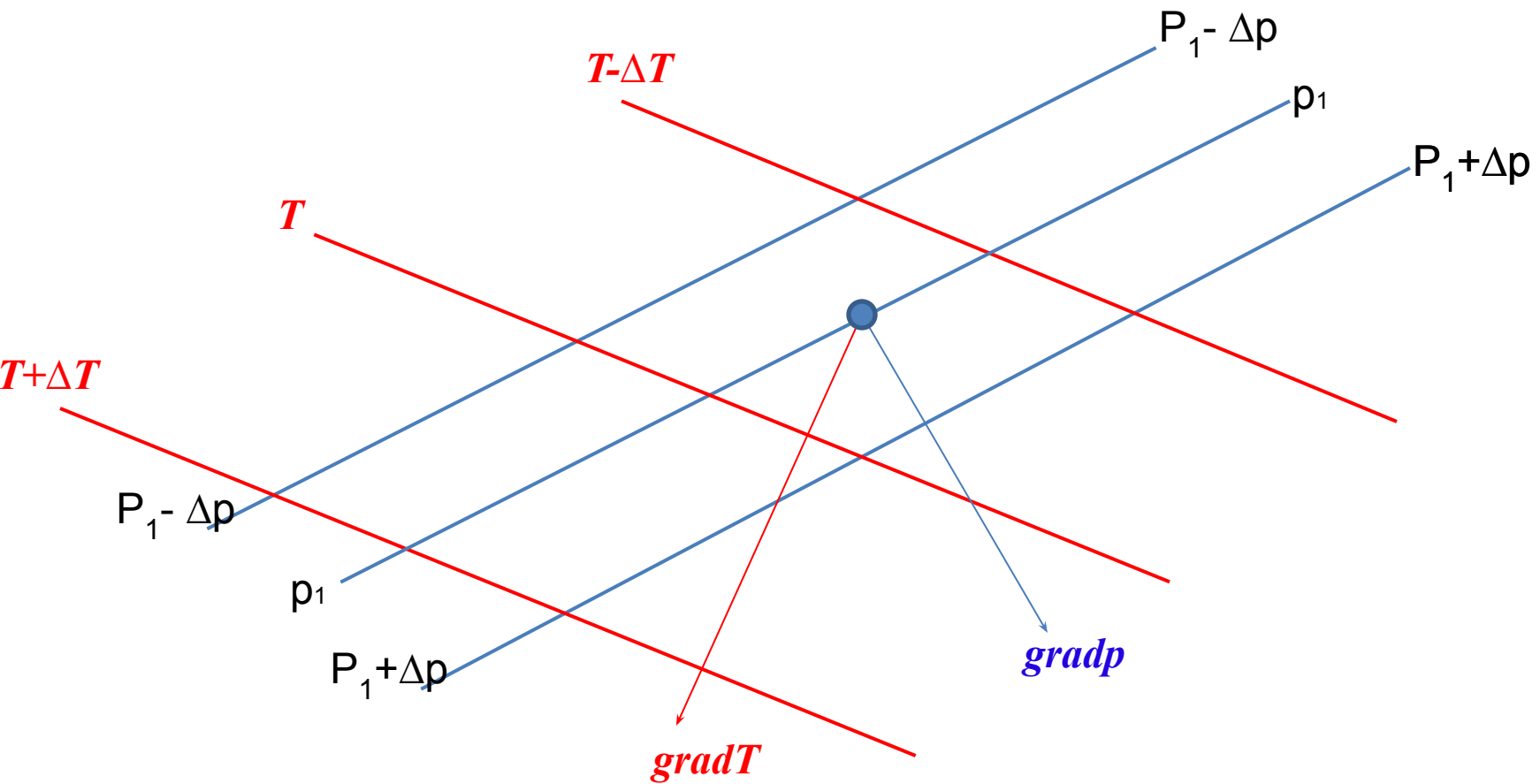
# Геострофическая адвекция температуры



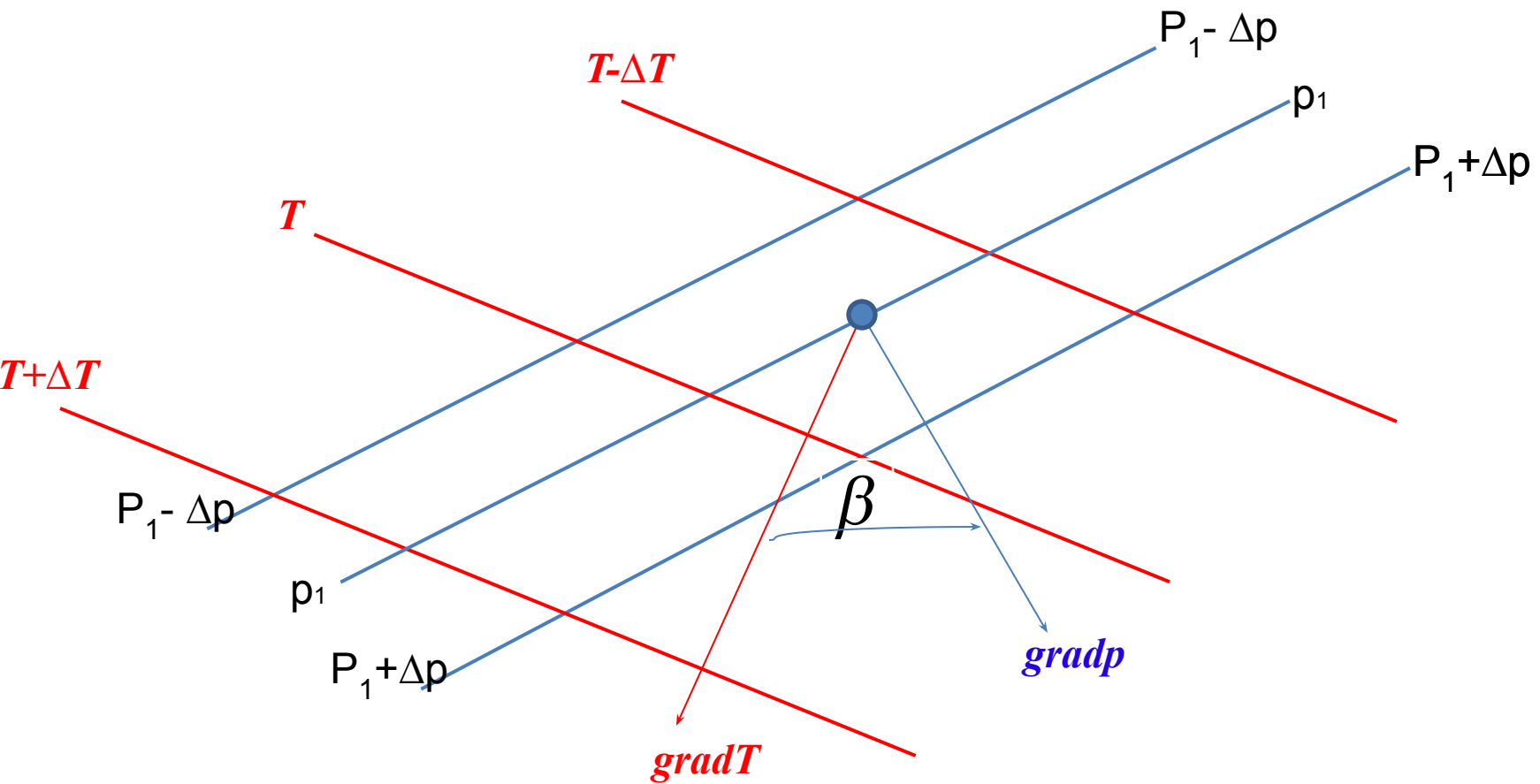
# Геострофическая адвекция температуры



# Геострофическая адвекция температуры

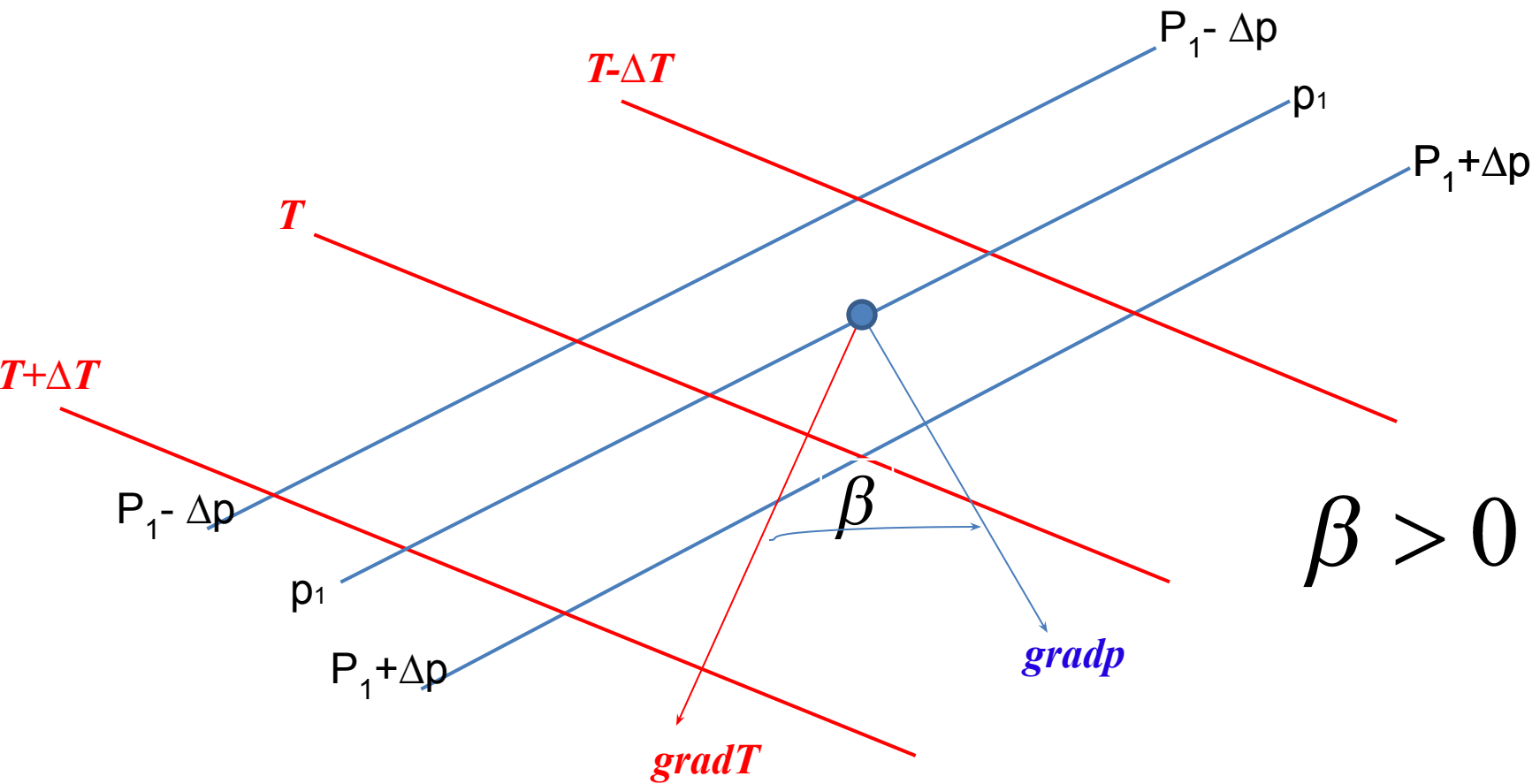


# Геострофическая адвекция температуры

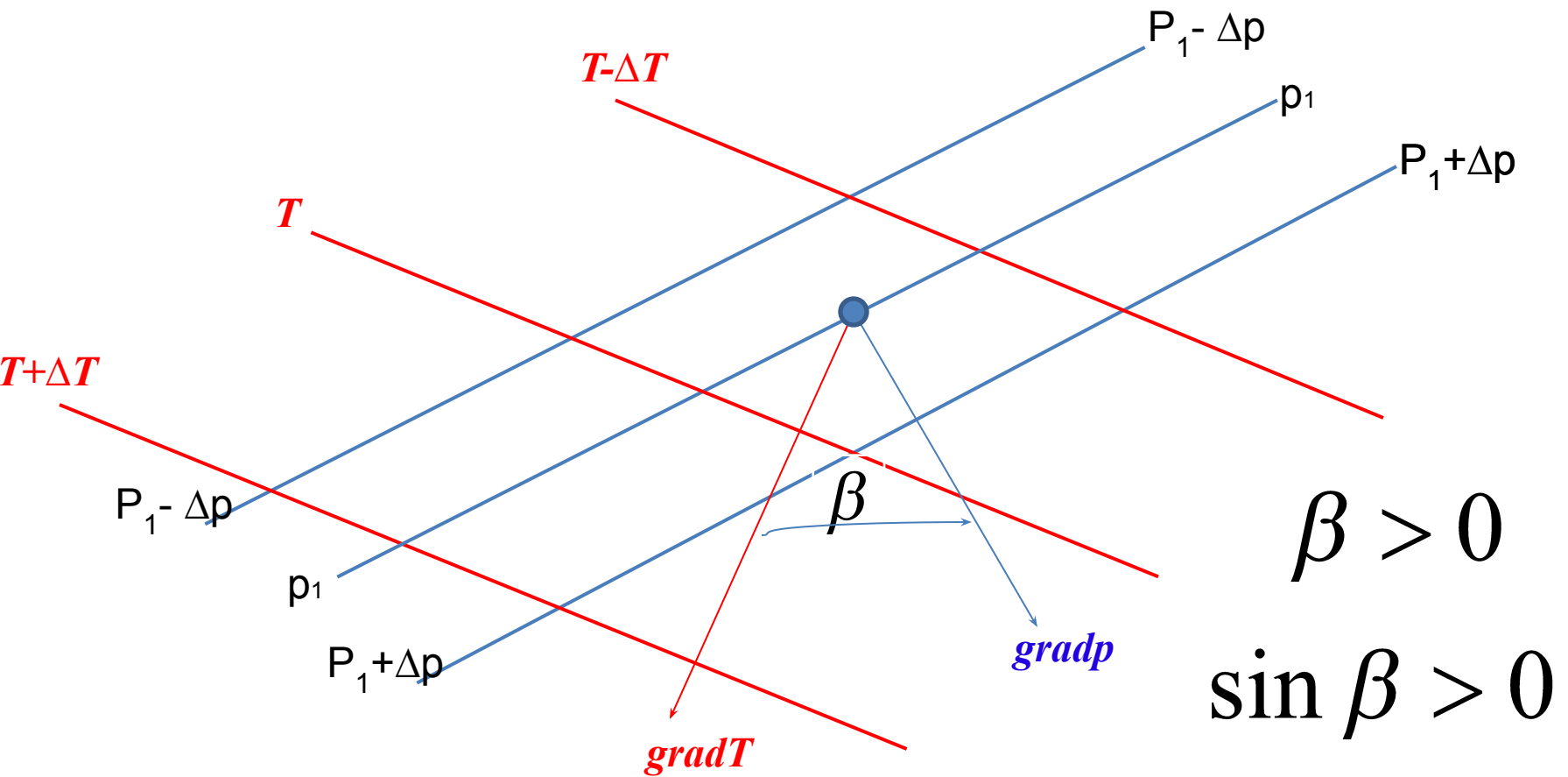




# Геострофическая адвекция температуры

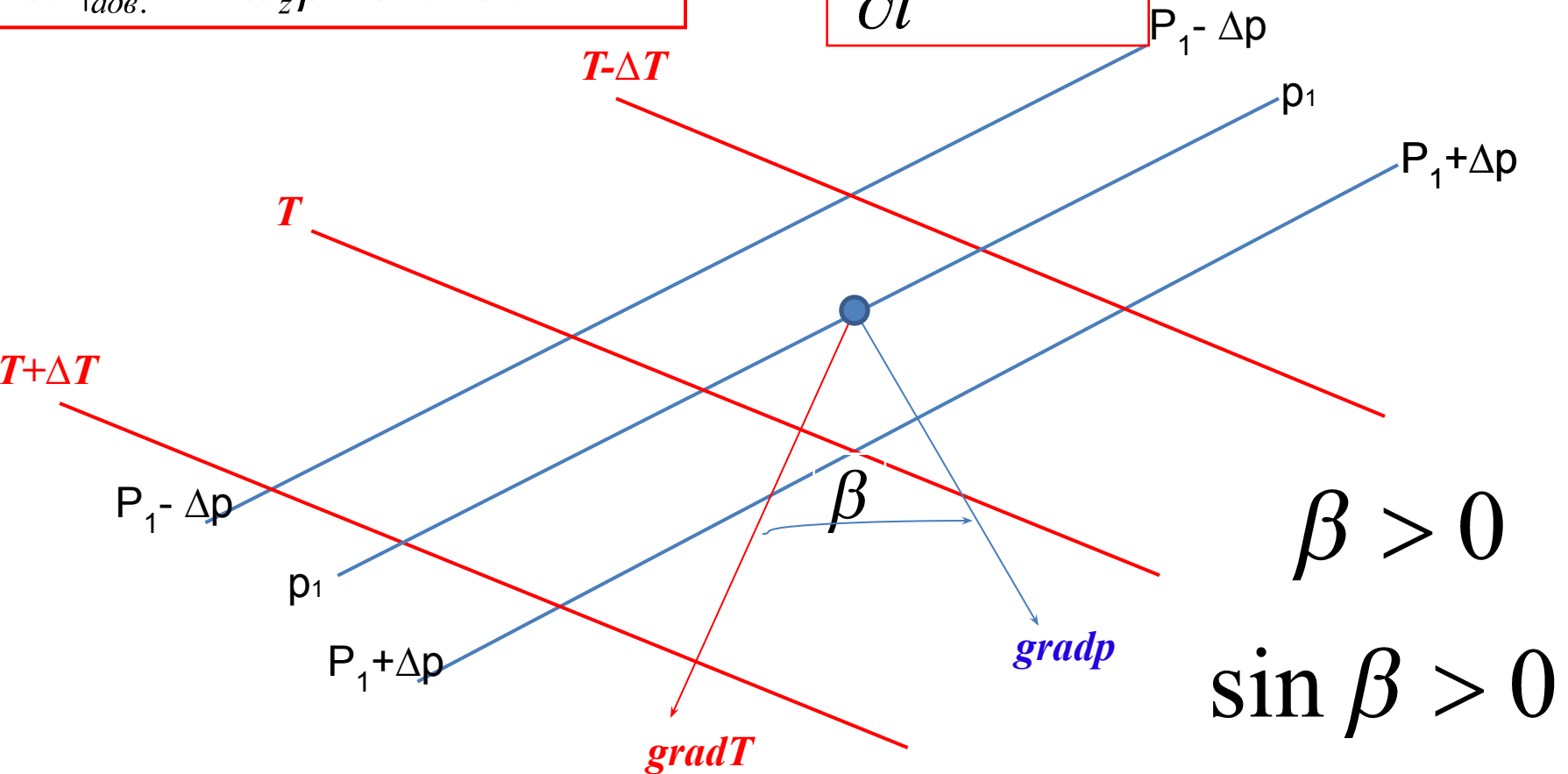


# Геострофическая адвекция температуры

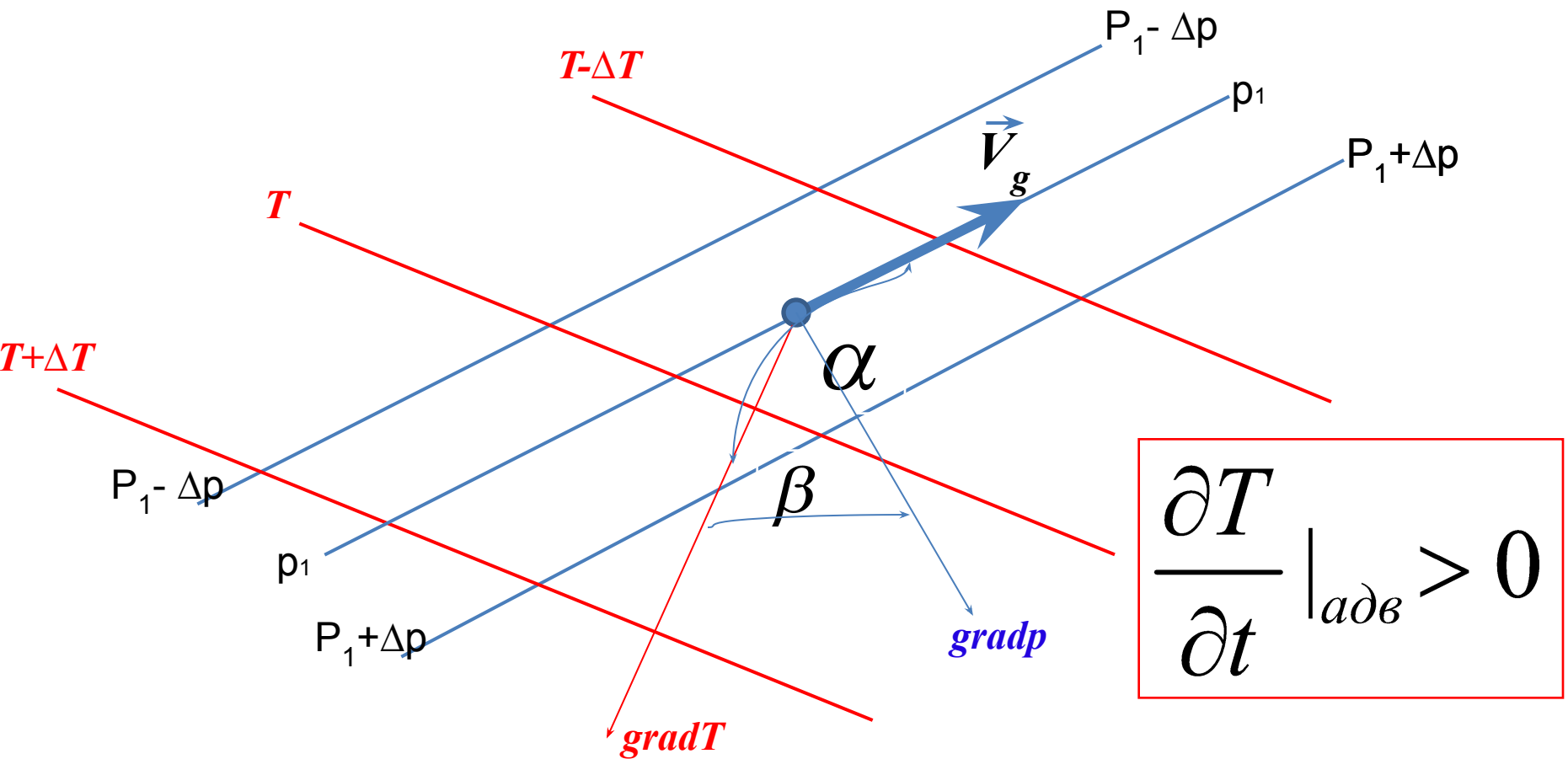


# Геострофическая адвекция температуры

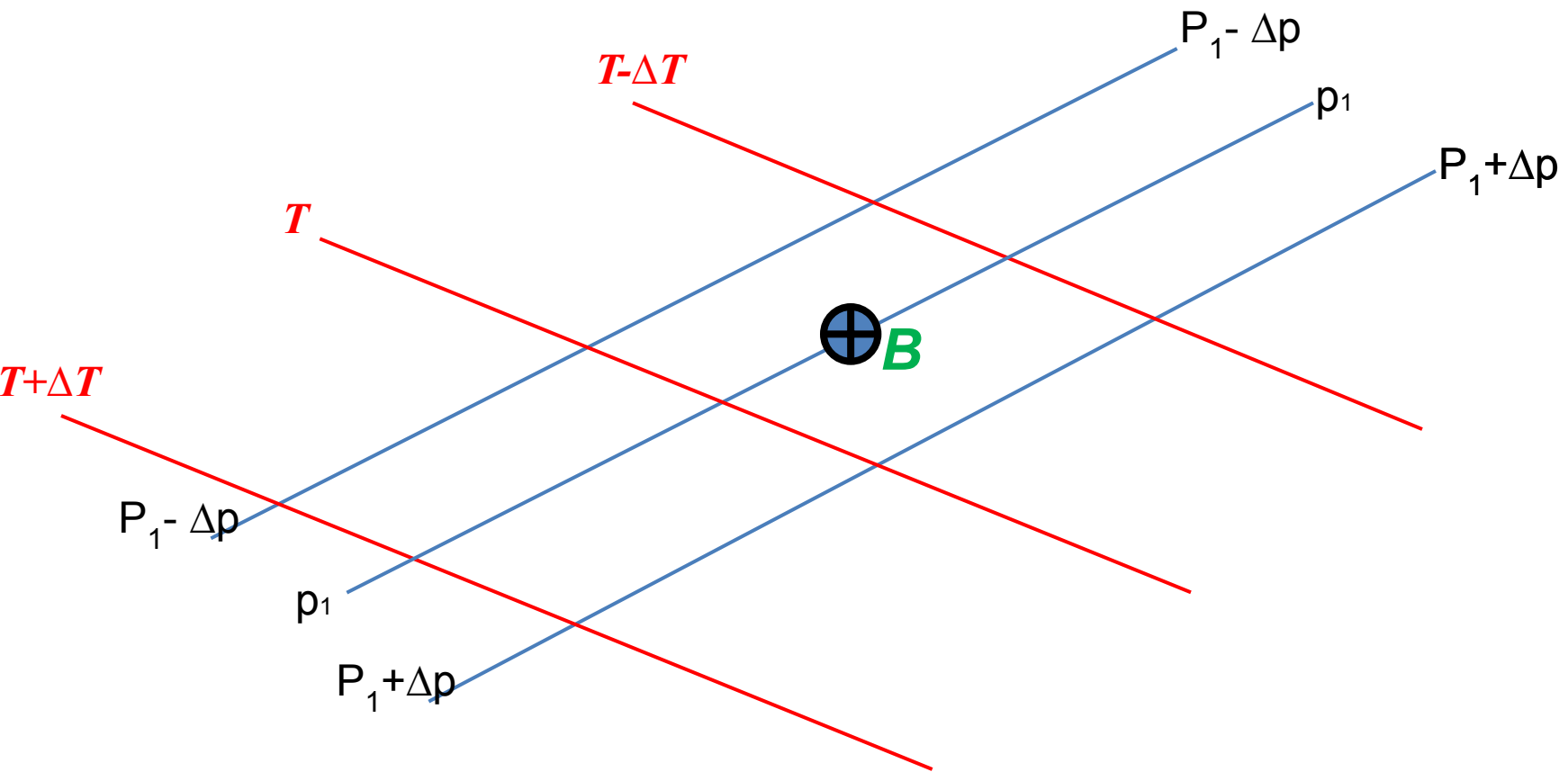
$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = \frac{1}{2\omega_z \rho} \cdot \frac{\partial T}{\partial m} \cdot \frac{\partial p}{\partial n} \cdot \sin \beta \rightarrow \left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv} > 0$$



# Геострофическая адвекция температуры

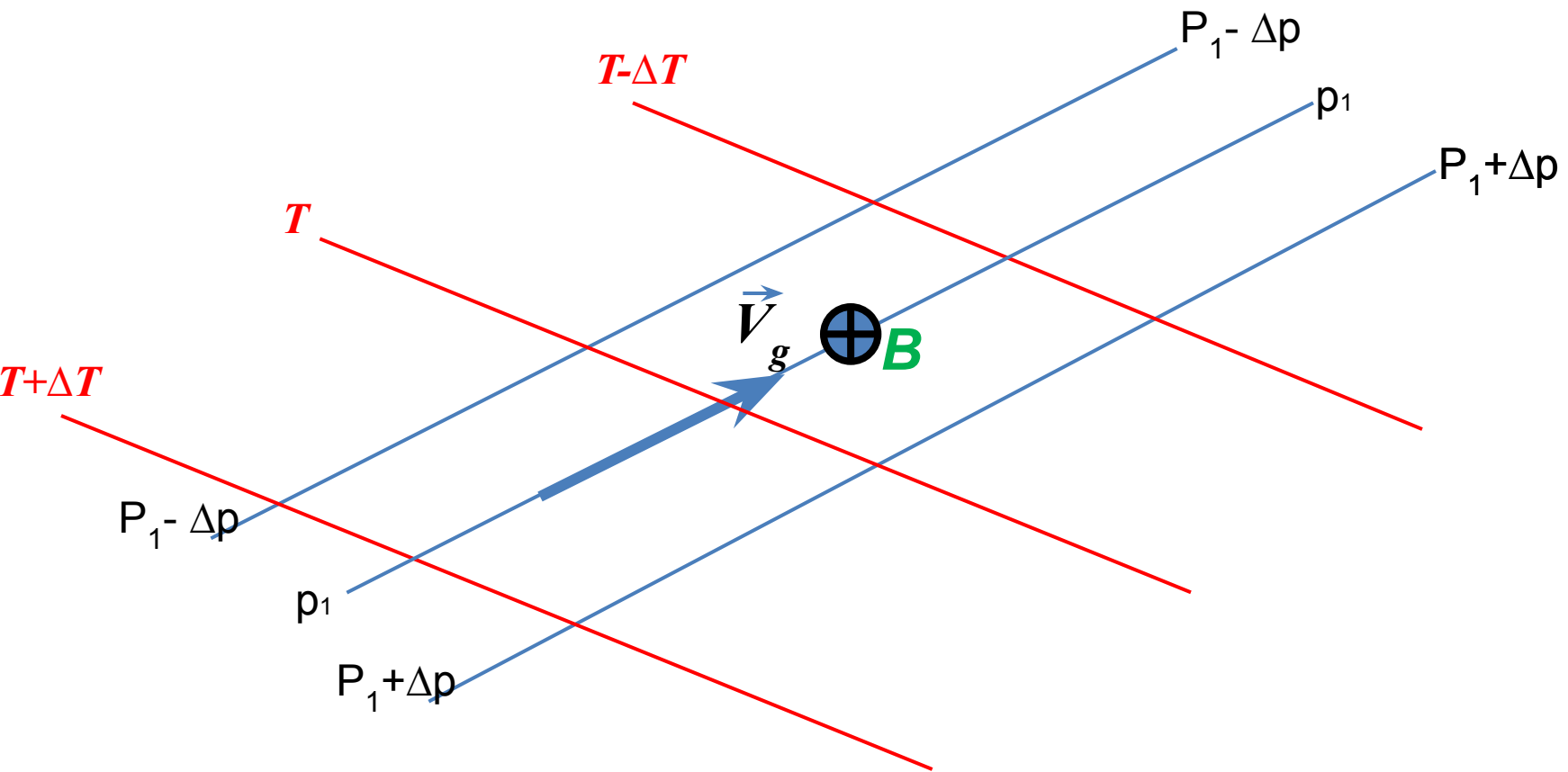


# Геострофическая адвекция температуры

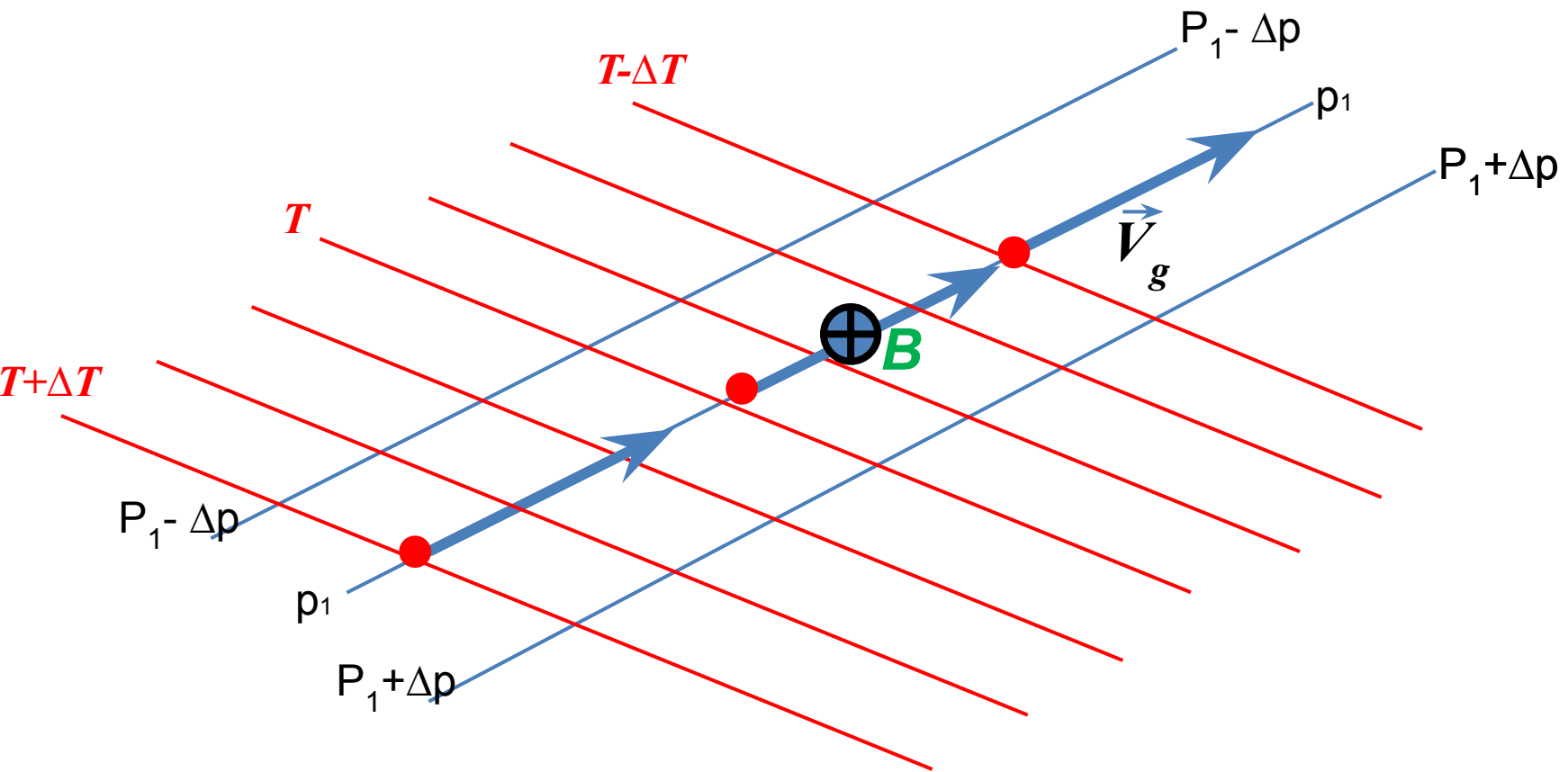




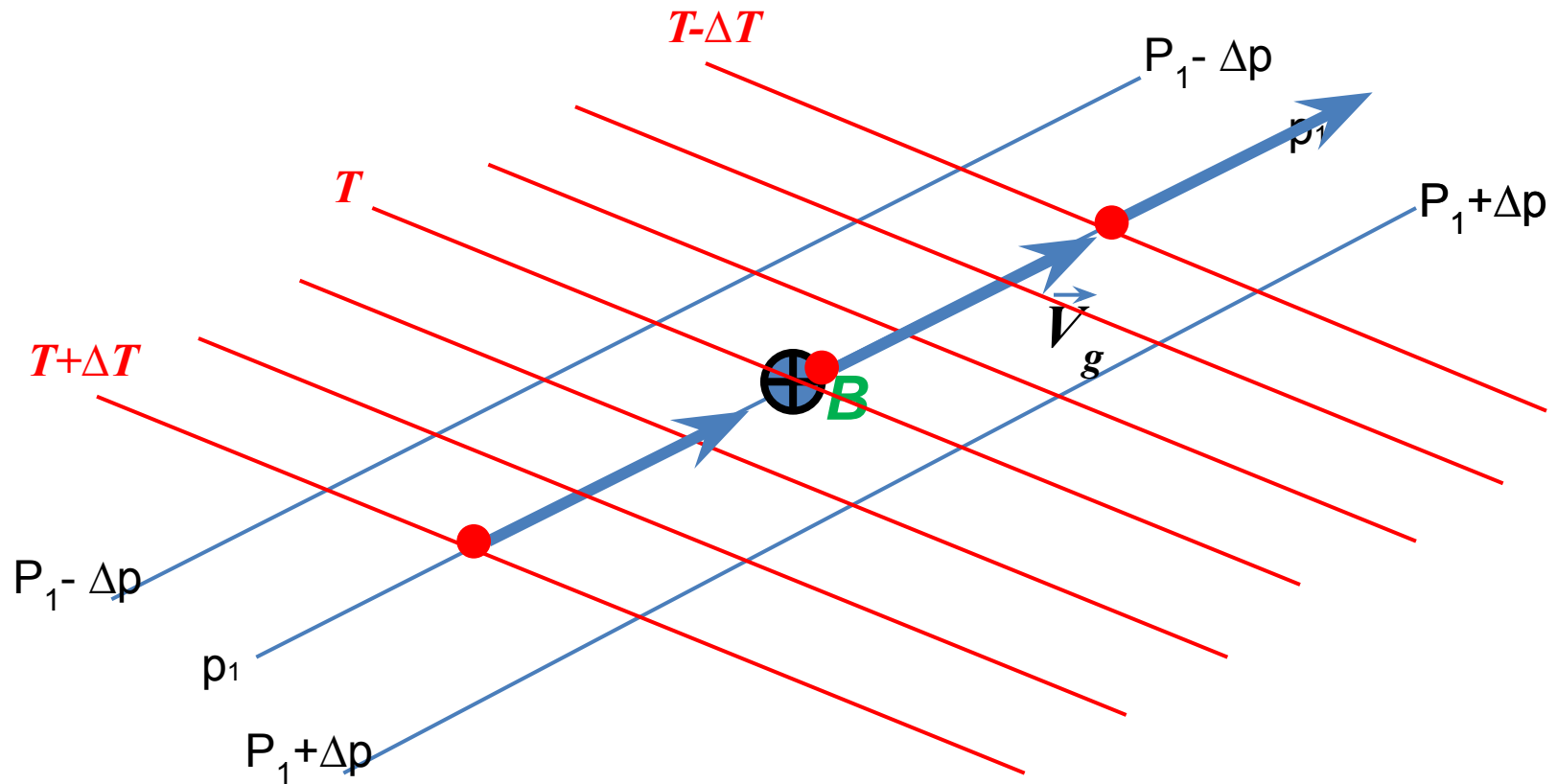
# Геострофическая адвекция температуры



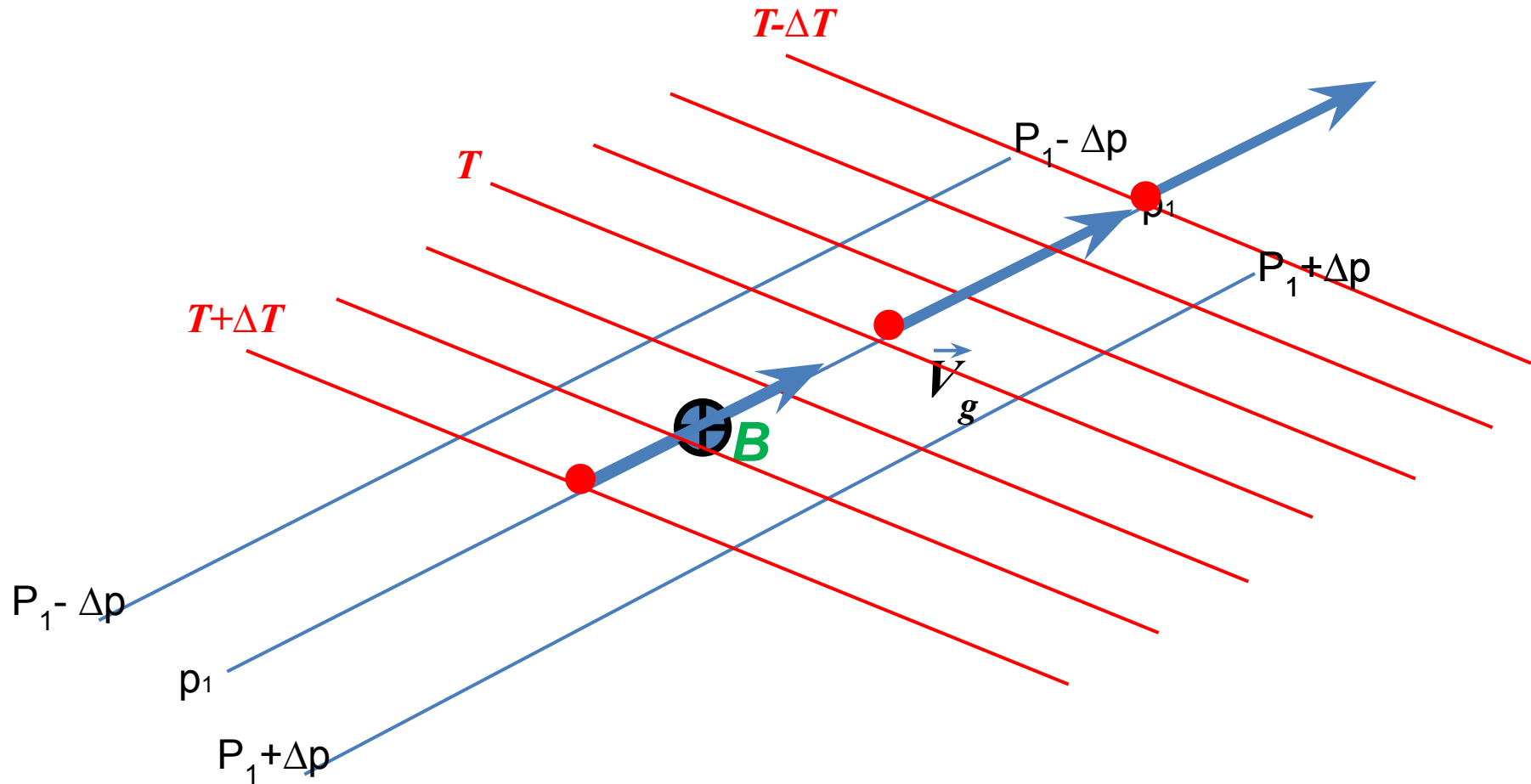
# Геострофическая адвекция температуры



# Геострофическая адвекция температуры

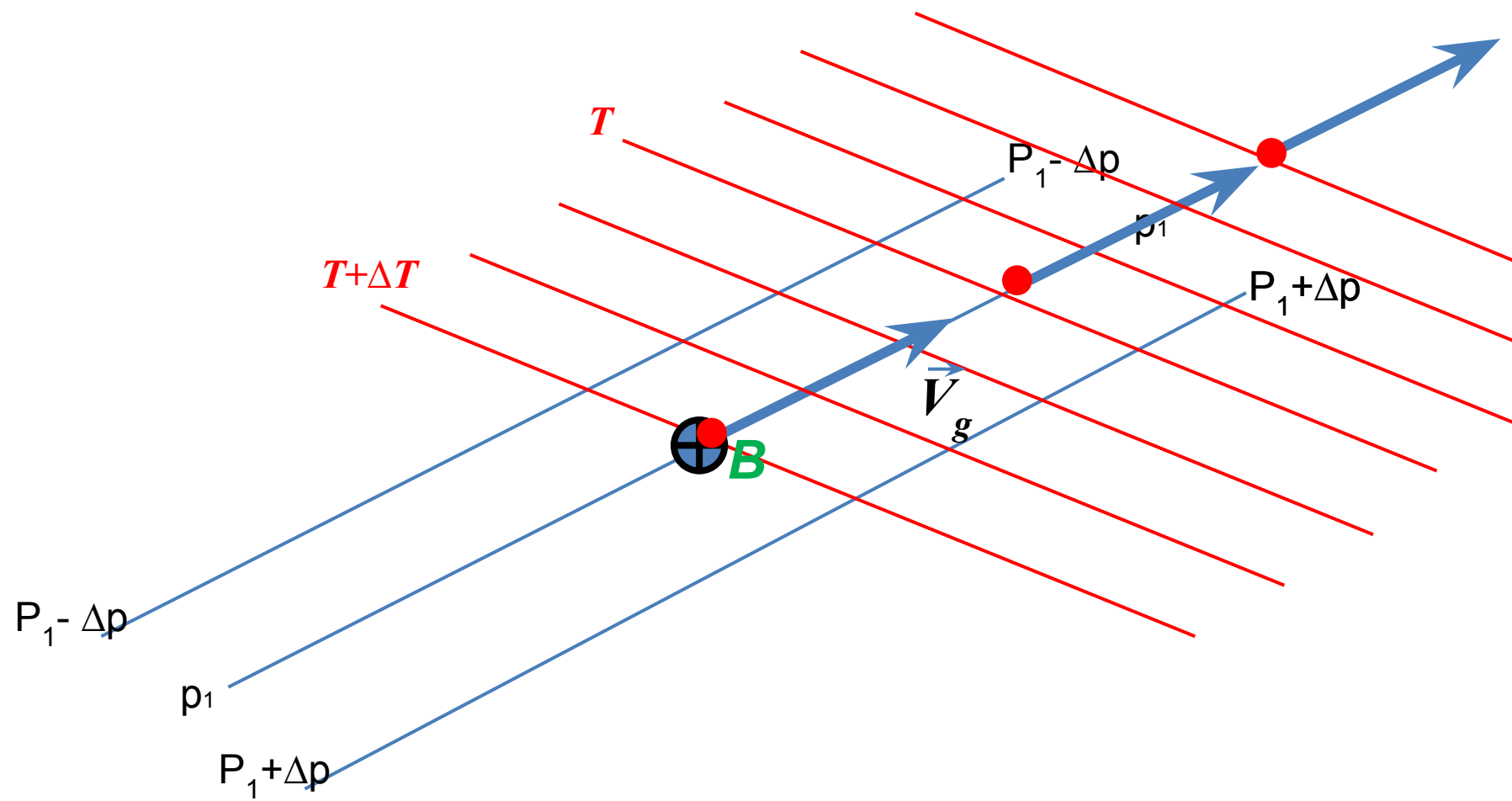


# Геострофическая адвекция температуры



# 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

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

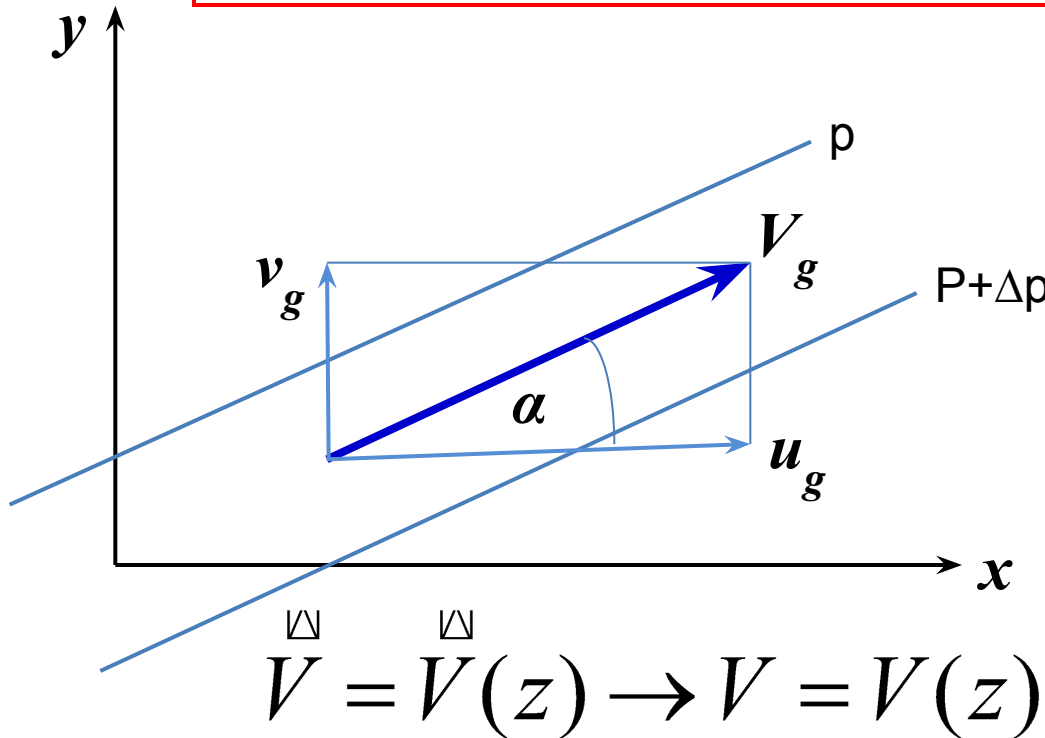
$$\frac{\partial T}{\partial y} = - \frac{l \cdot T}{g} \frac{\partial u_g}{\partial z},$$

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

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

# Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

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

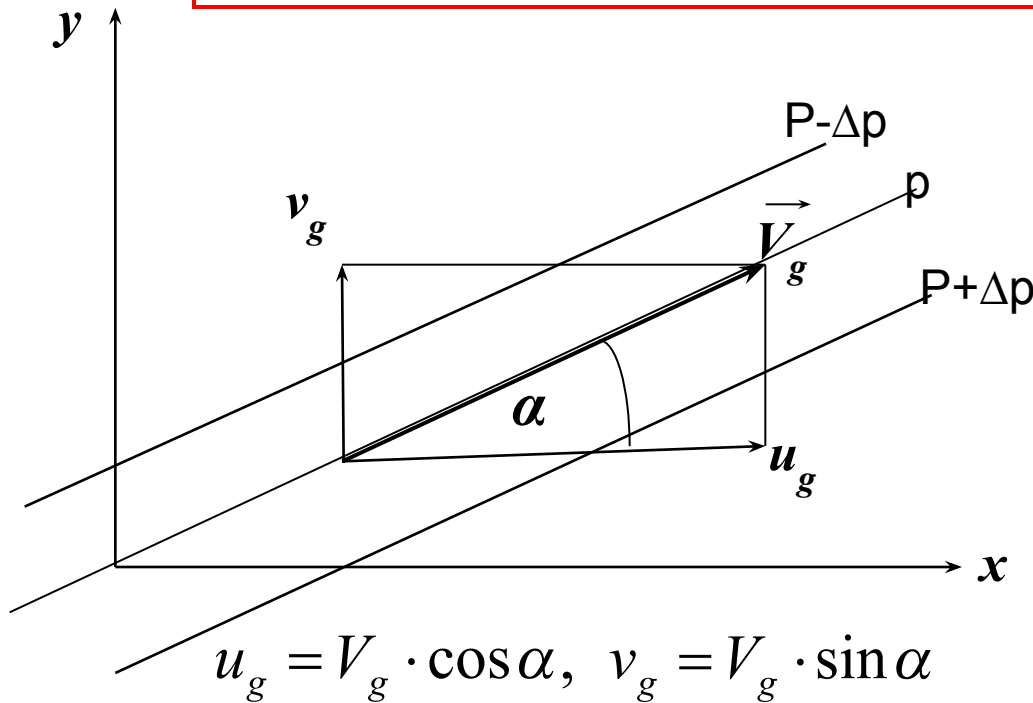


$$u_g = V_g \cdot \cos \alpha,$$

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

# Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

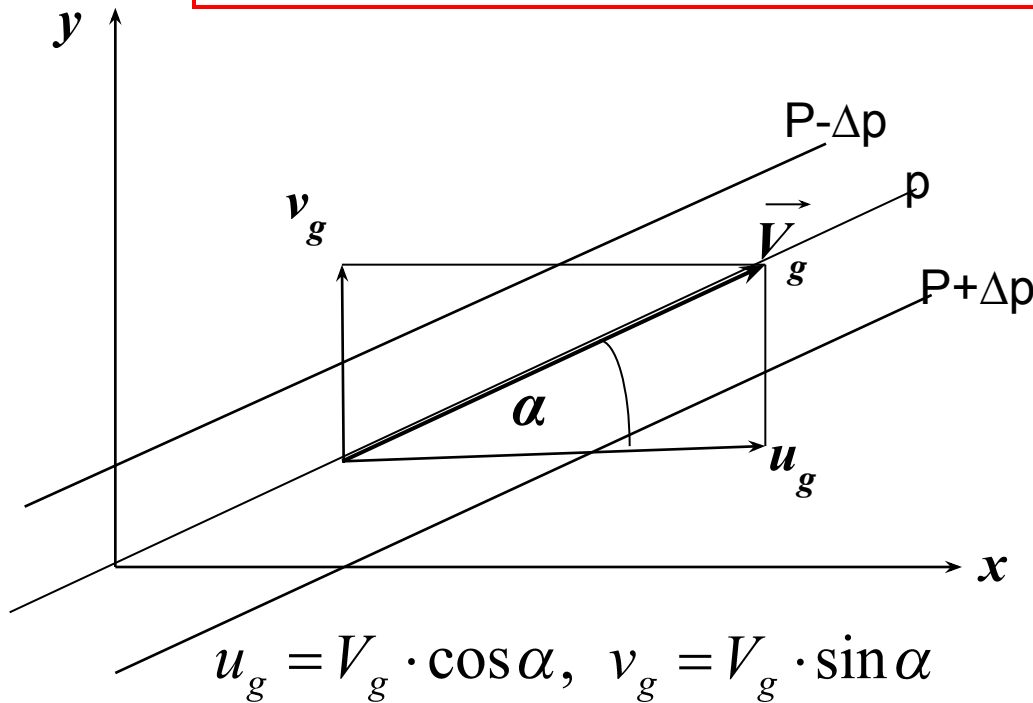
$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -\frac{l \cdot T}{g} \left( u_g \frac{\partial v_g}{\partial z} - v_g \frac{\partial u_g}{\partial z} \right)$$



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

# 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

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

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

# 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

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

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

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

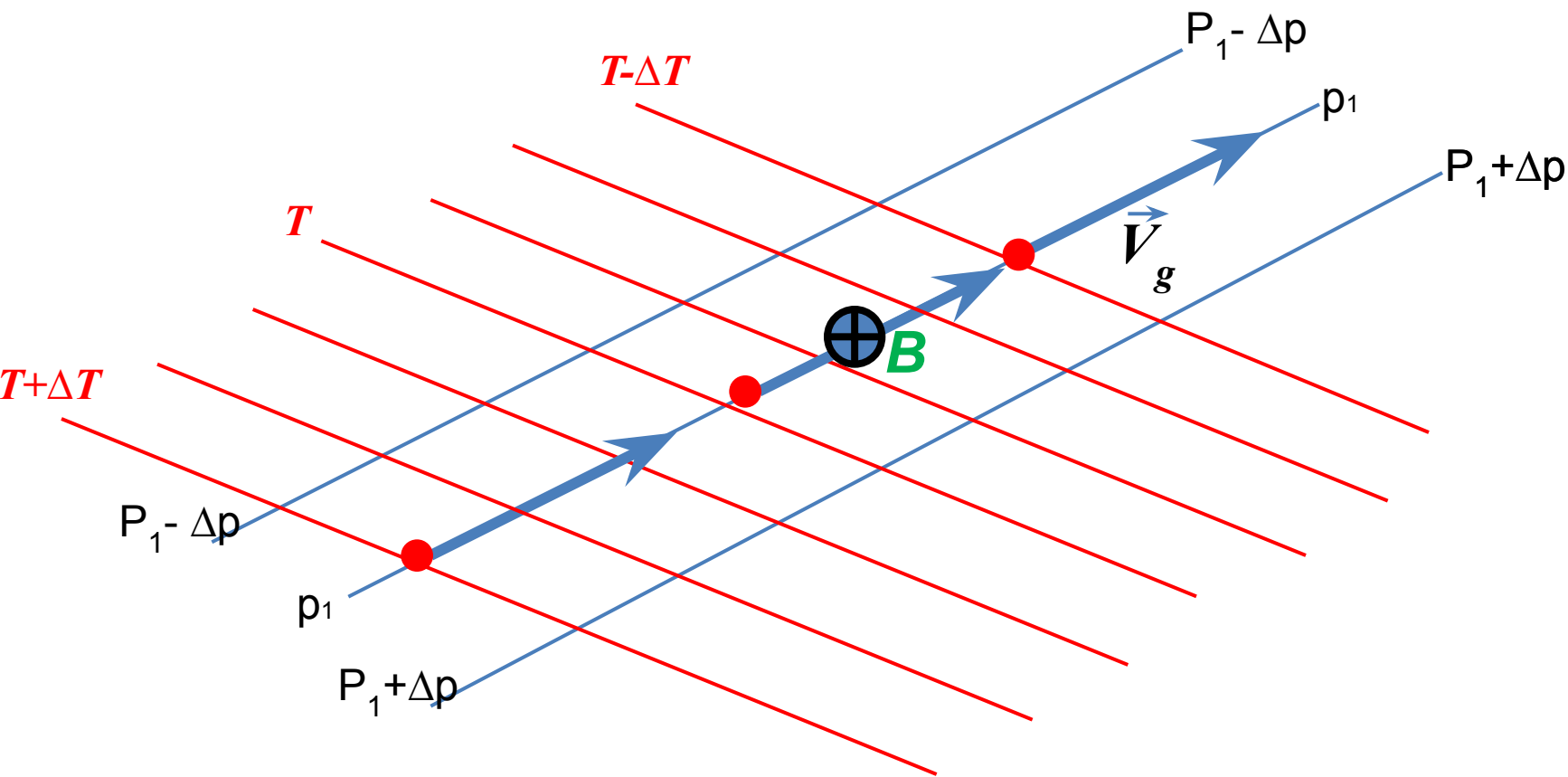
# Связь геострофической адвекции температуры с изменением направления ветра по высоте

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

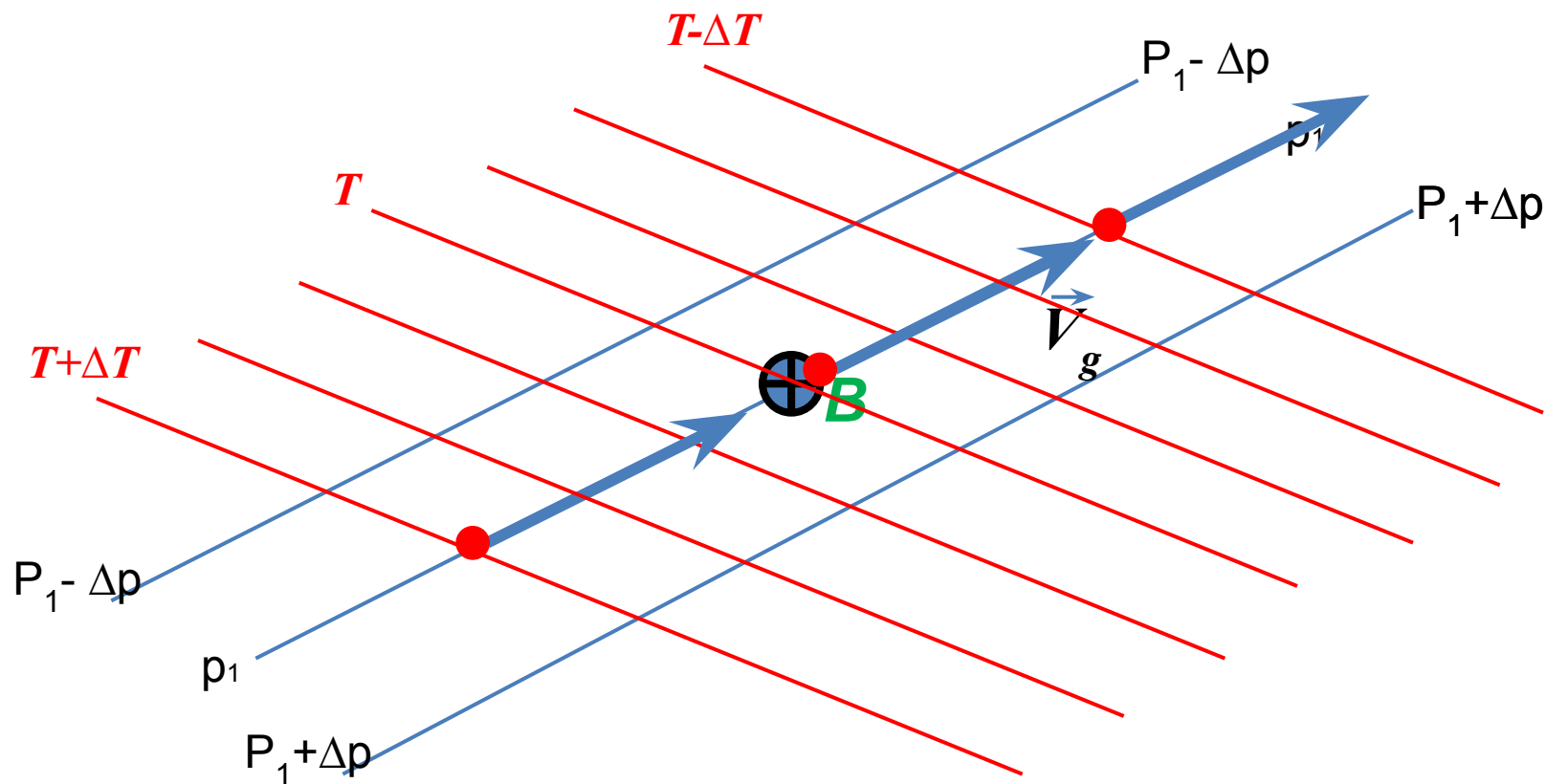
$$\frac{\partial \alpha}{\partial z} > 0 \rightarrow \left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} < 0 - \text{адвекция холода,}$$

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

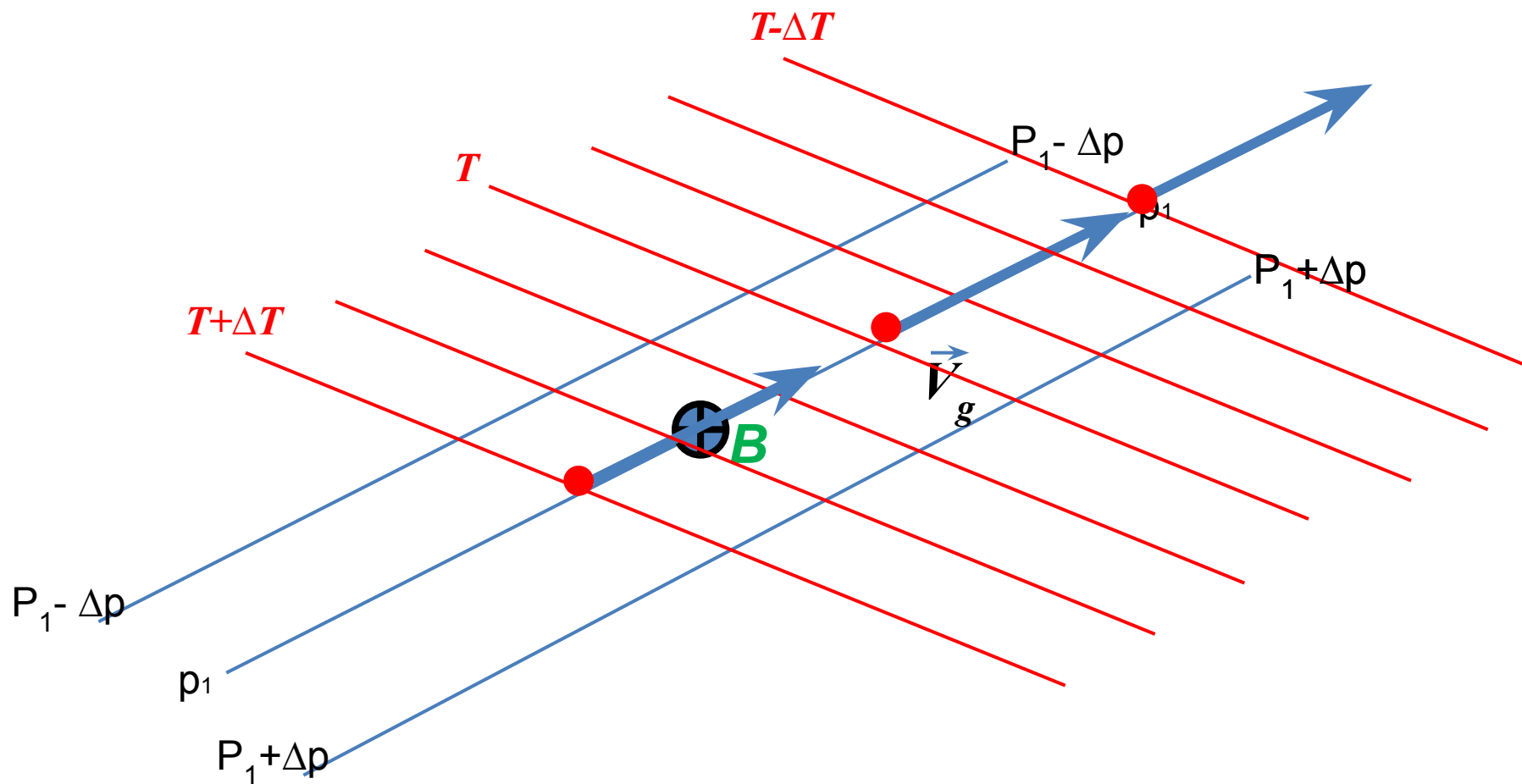
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

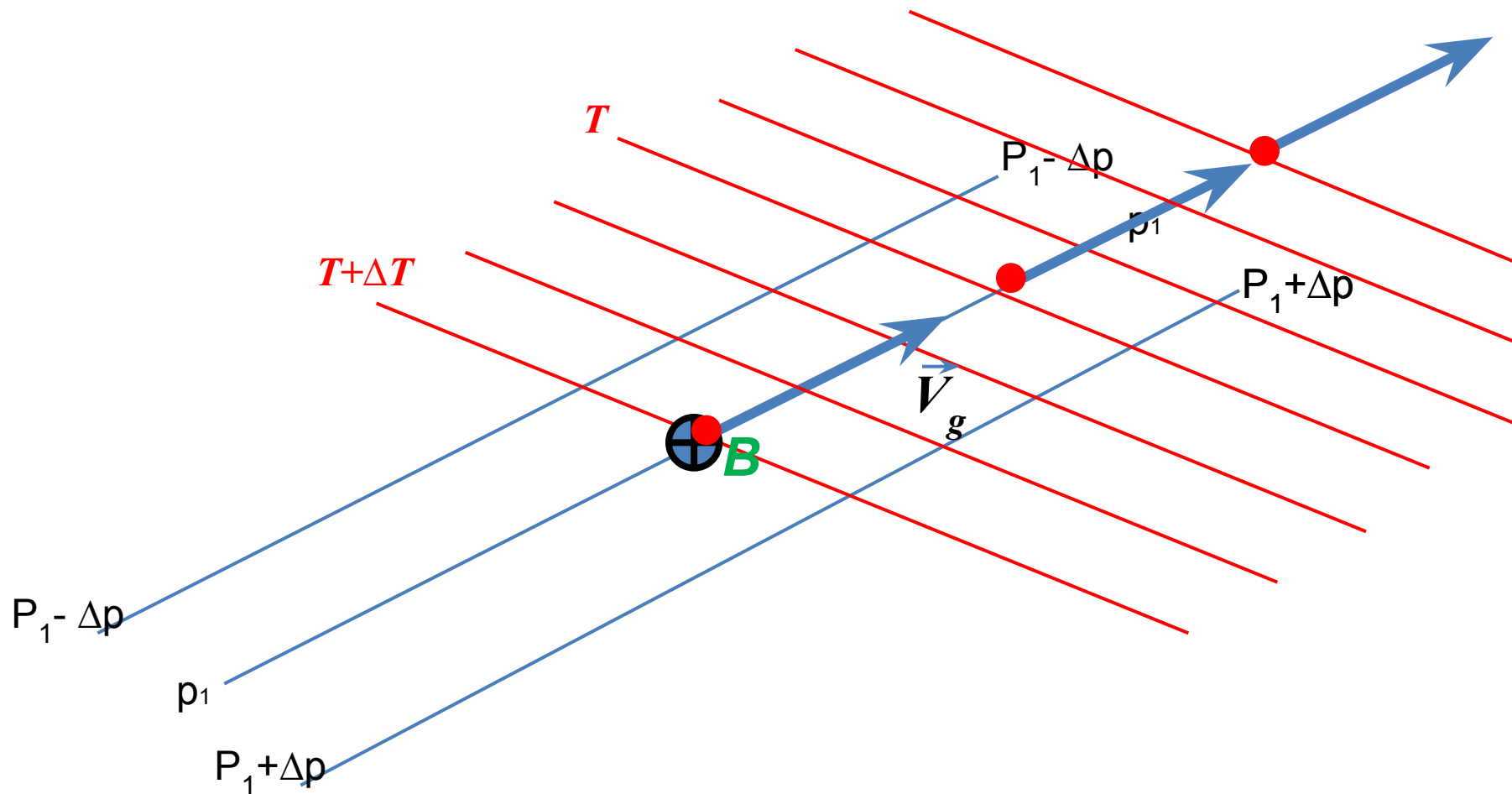


# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



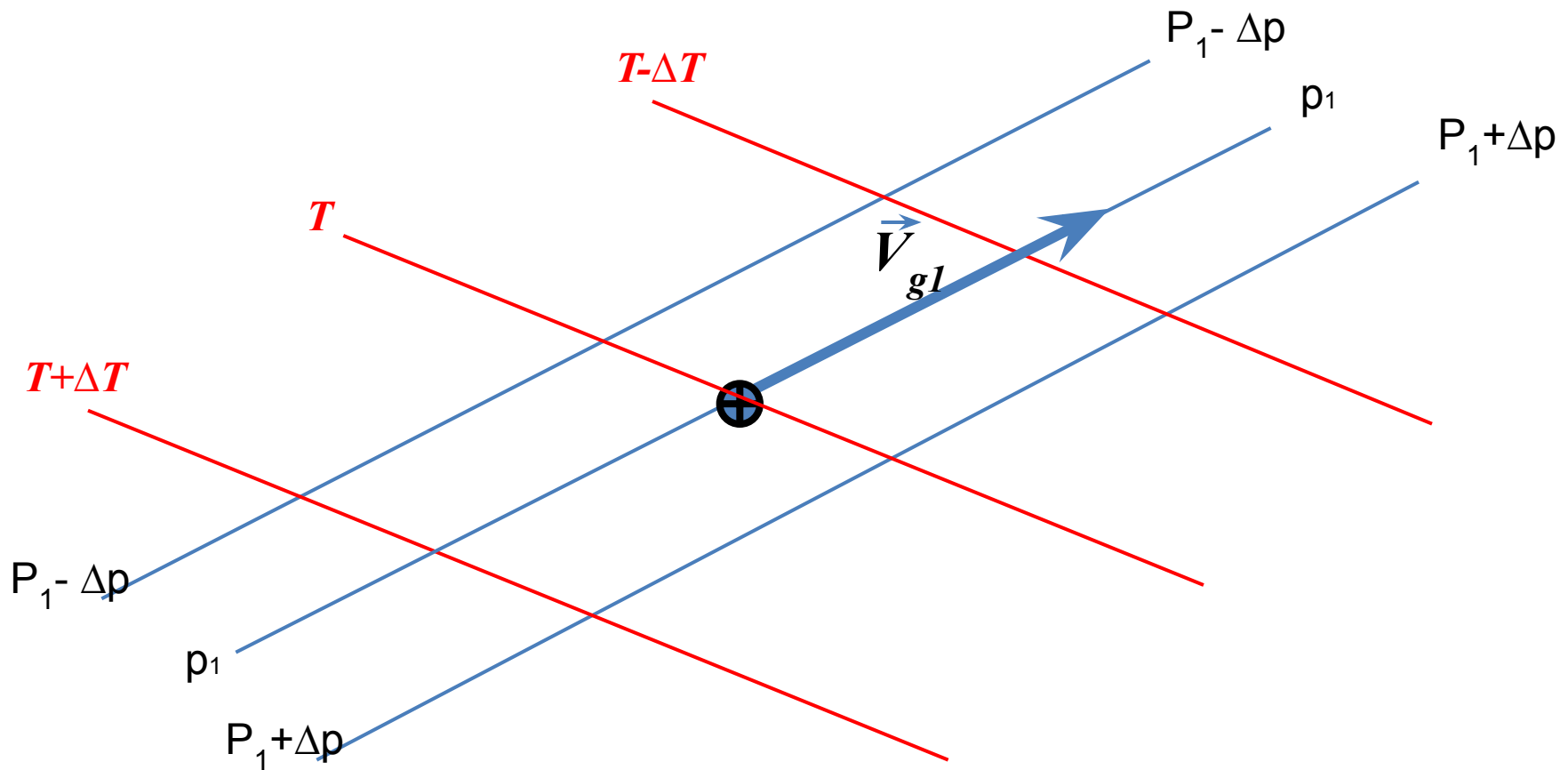
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

$T-\Delta T$

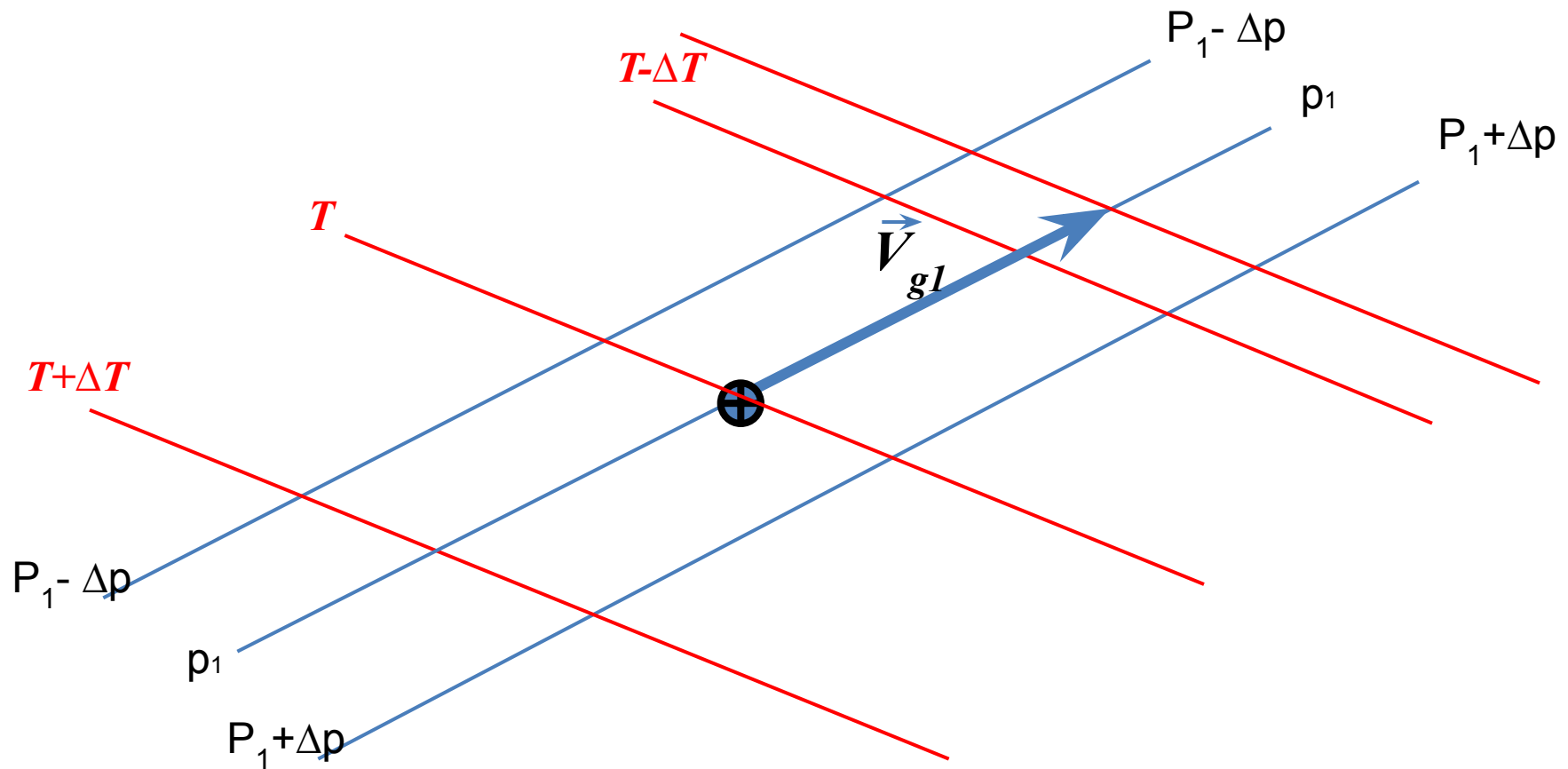




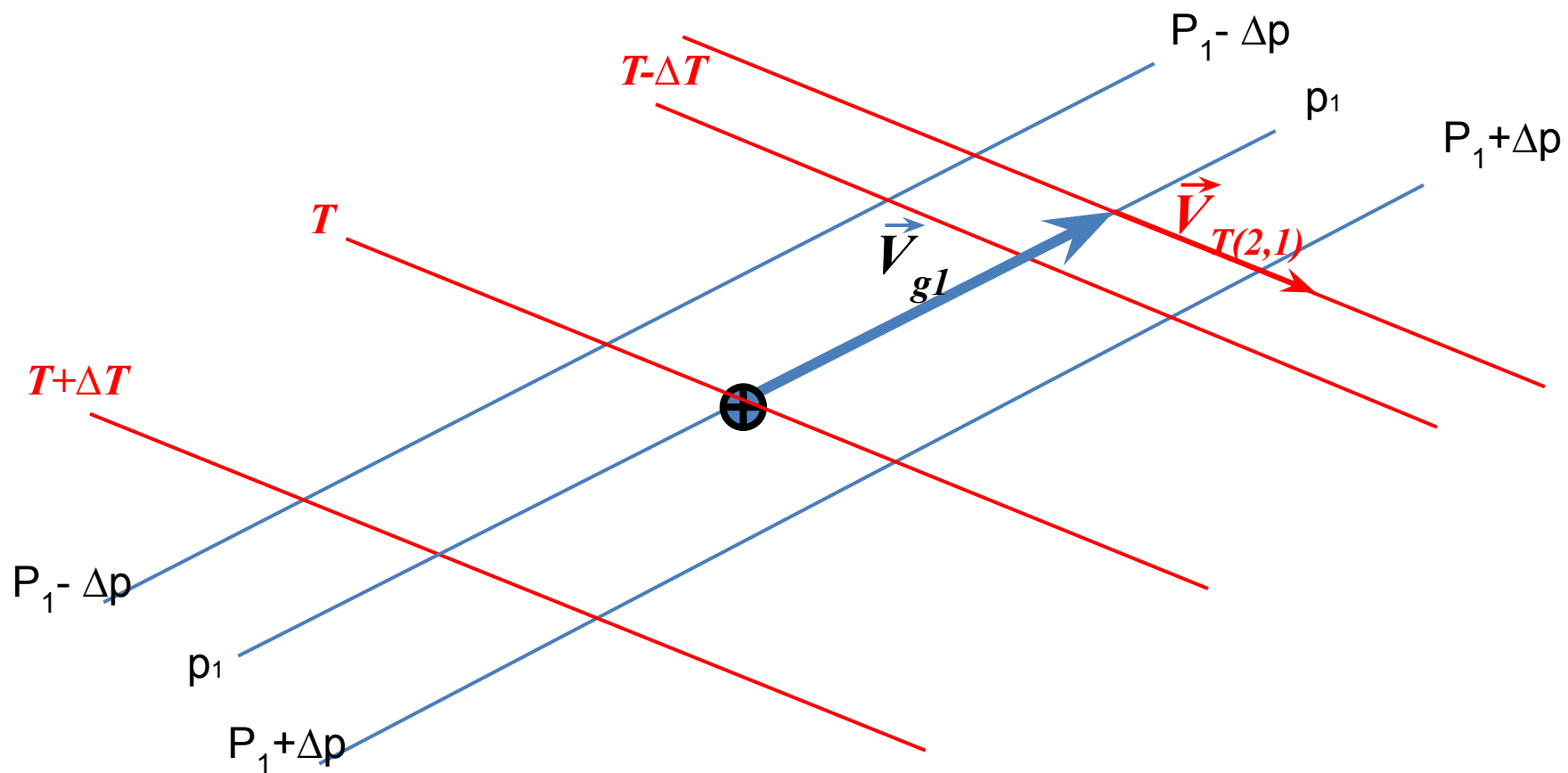
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



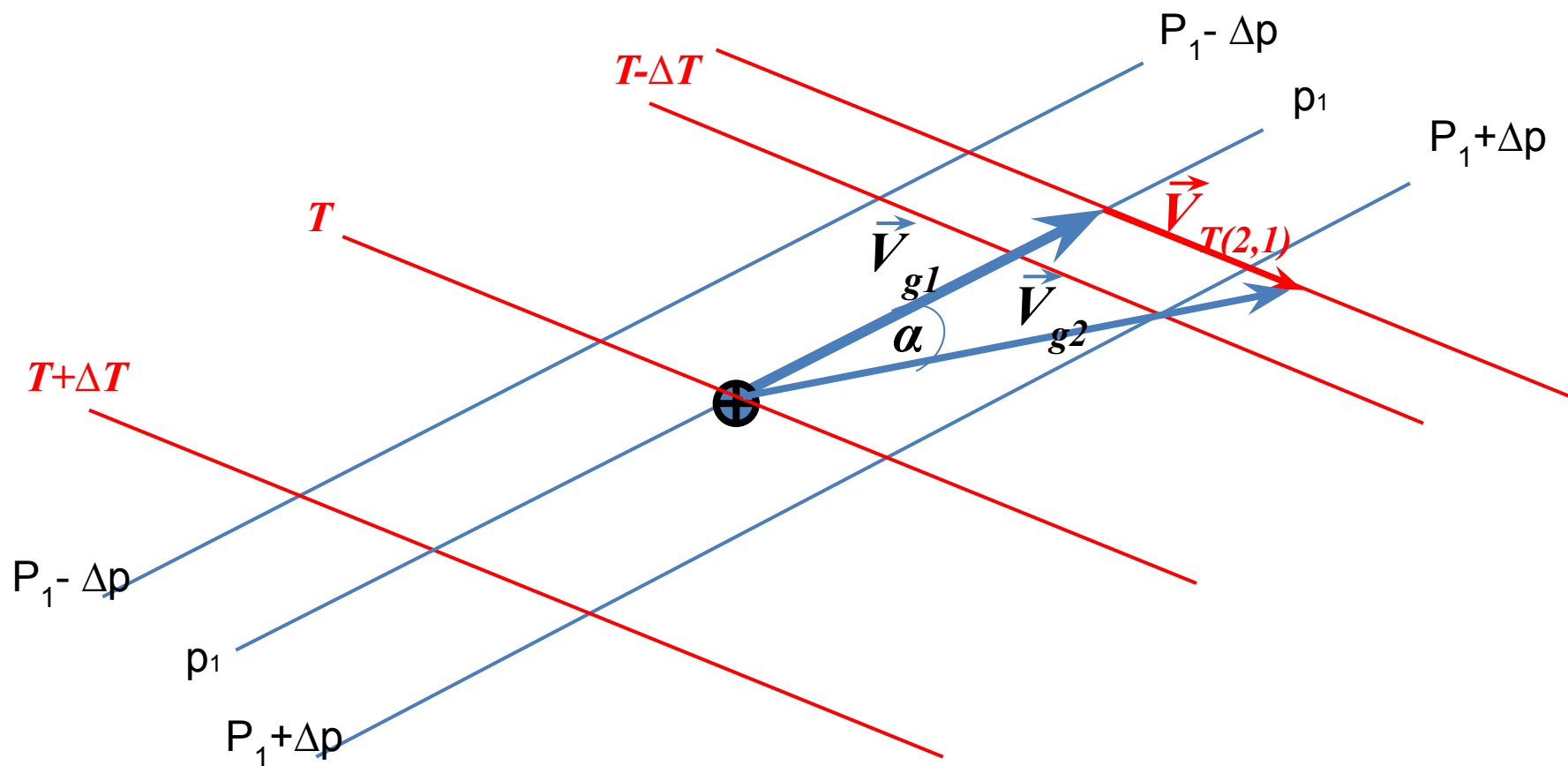
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



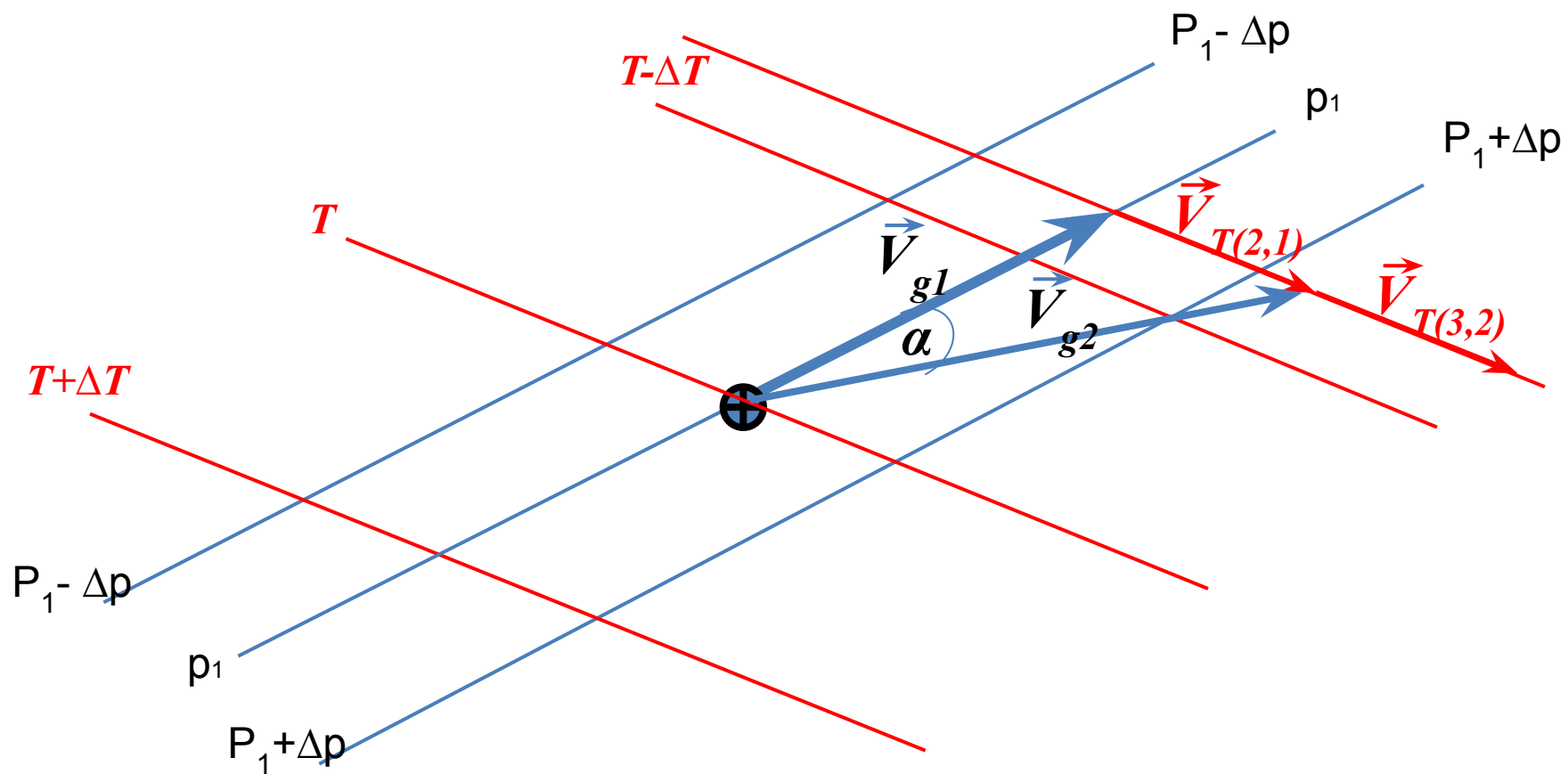
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



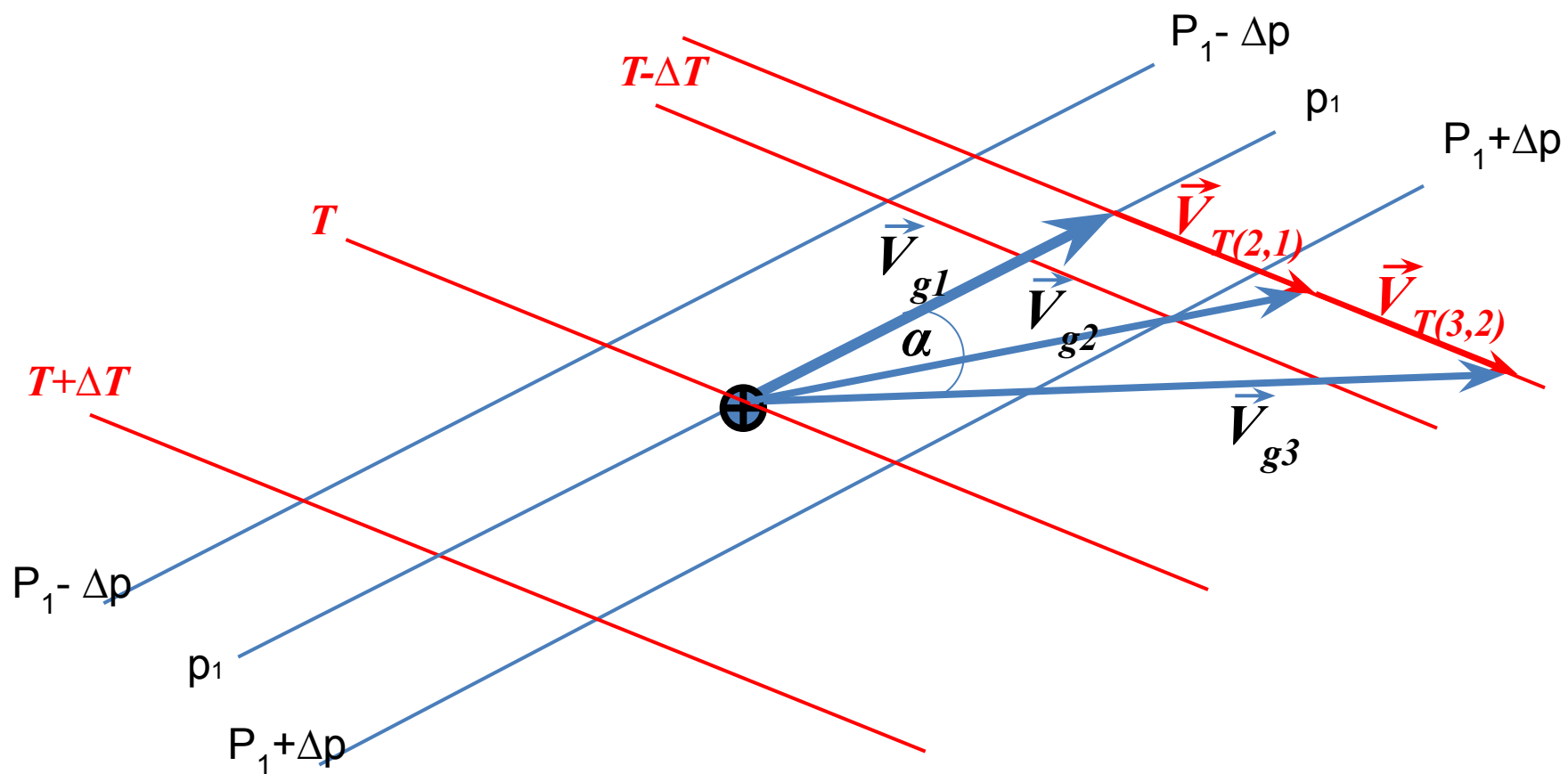
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

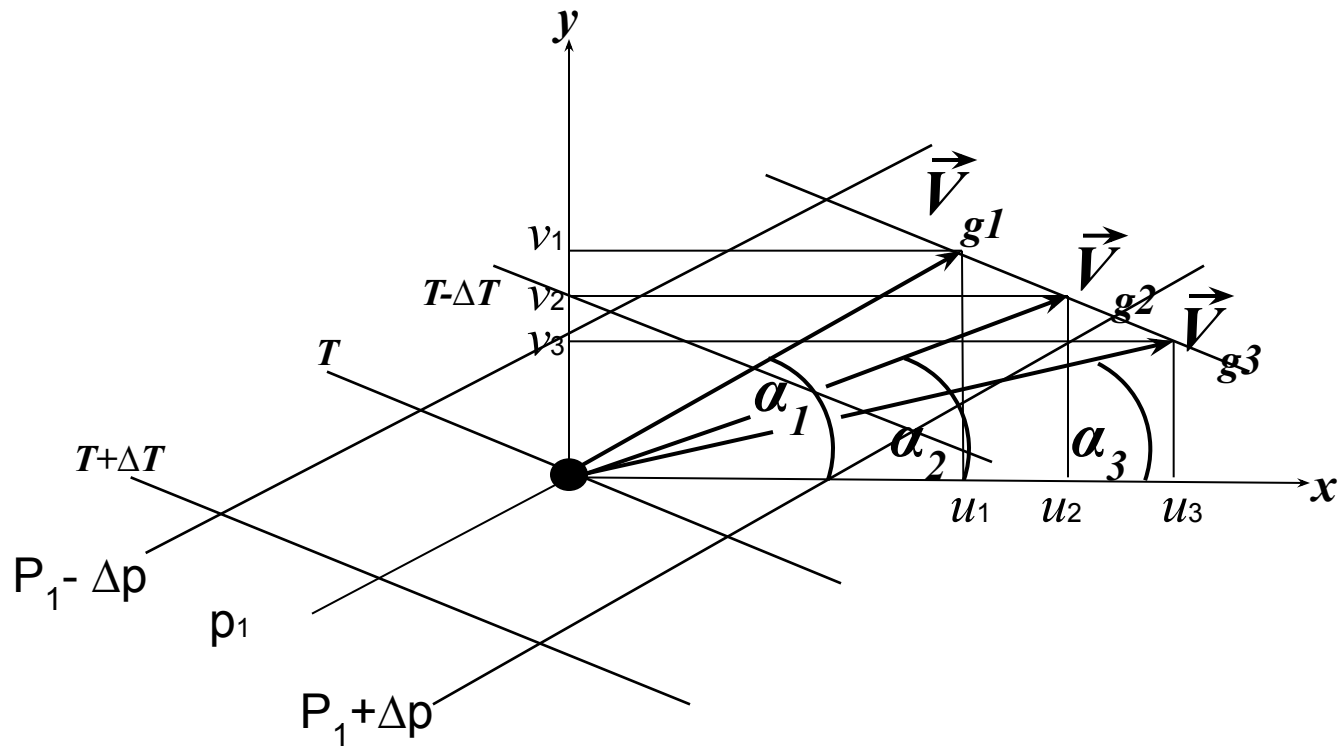


# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

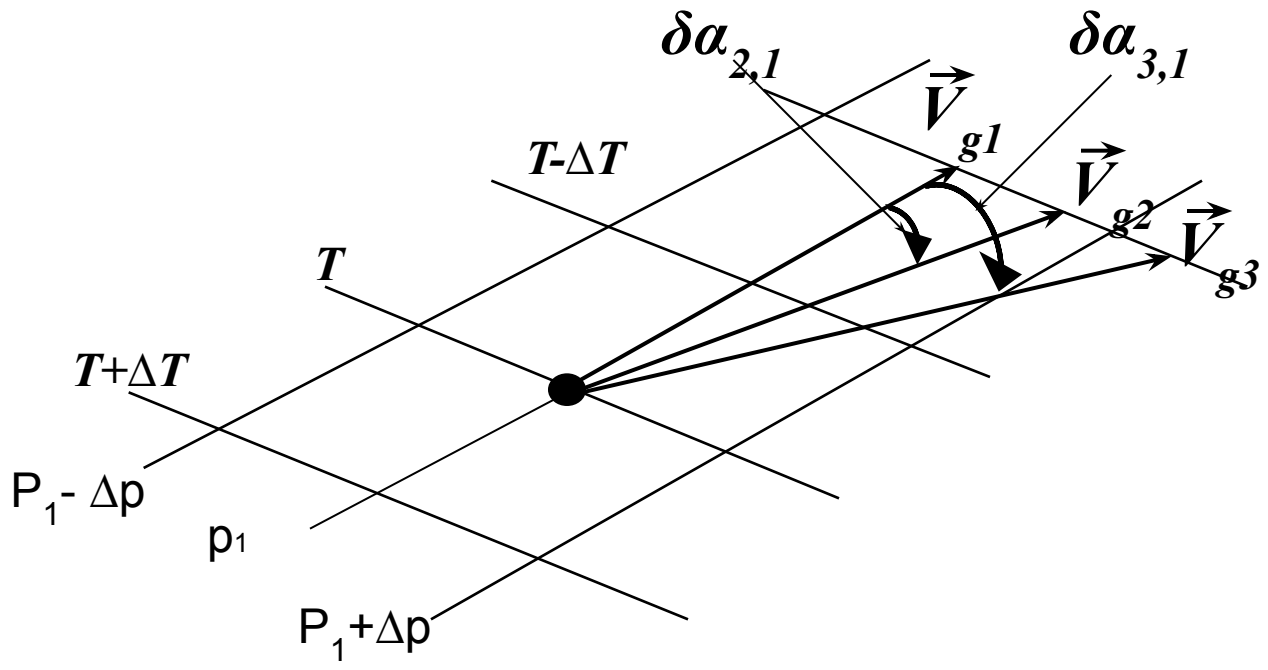


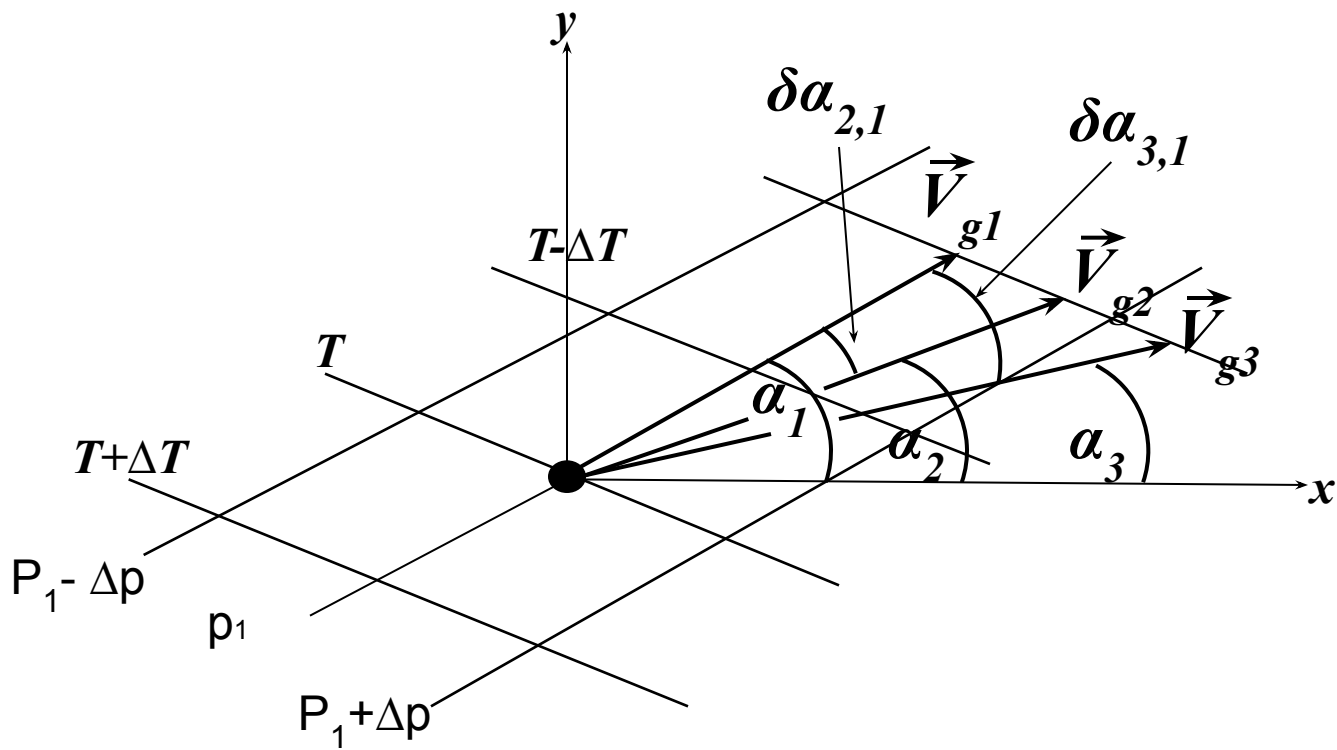
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

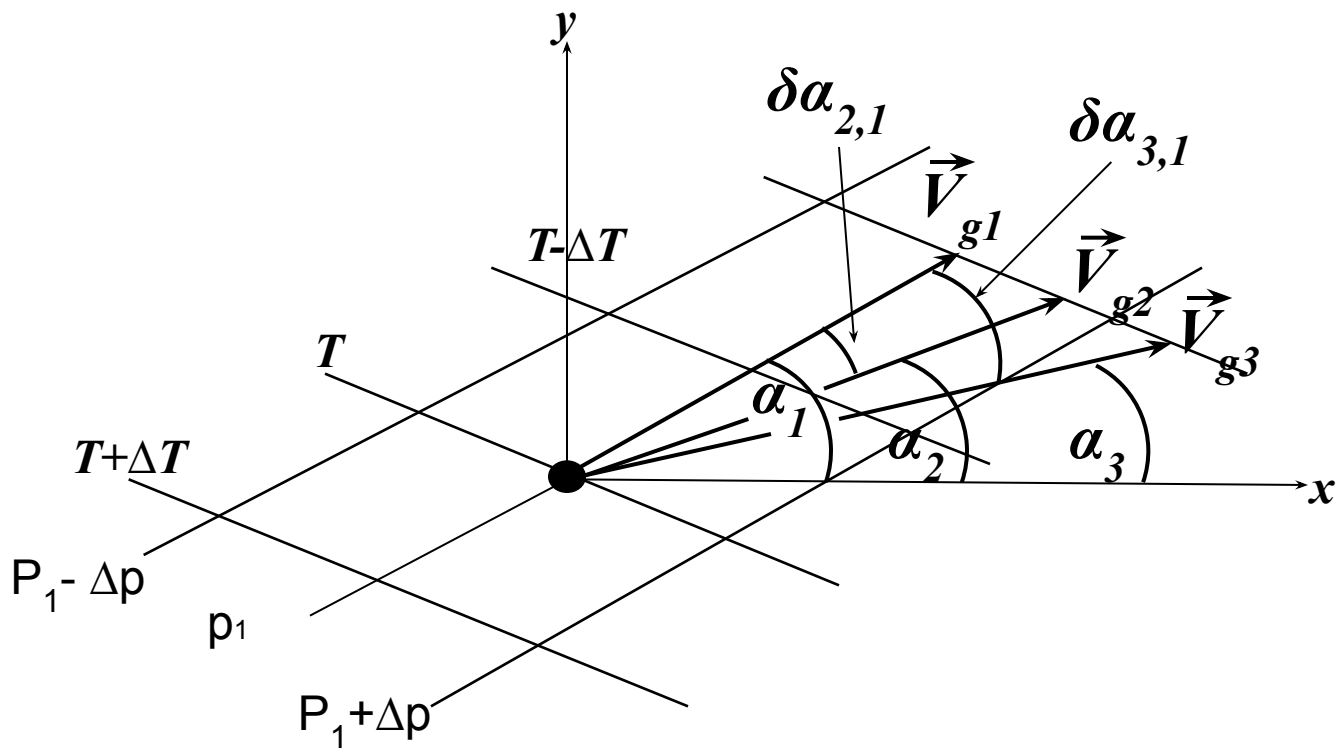




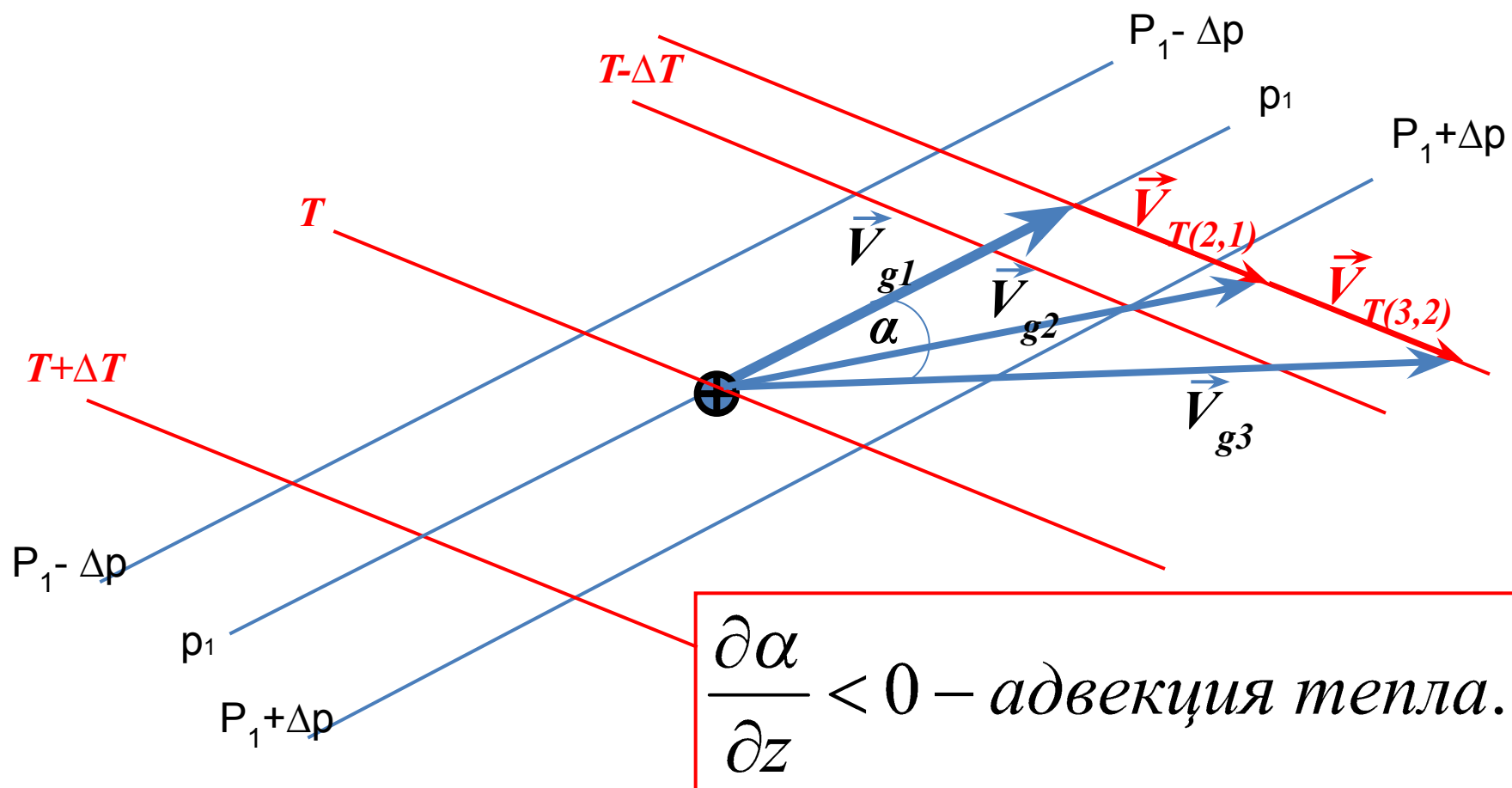








# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



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.

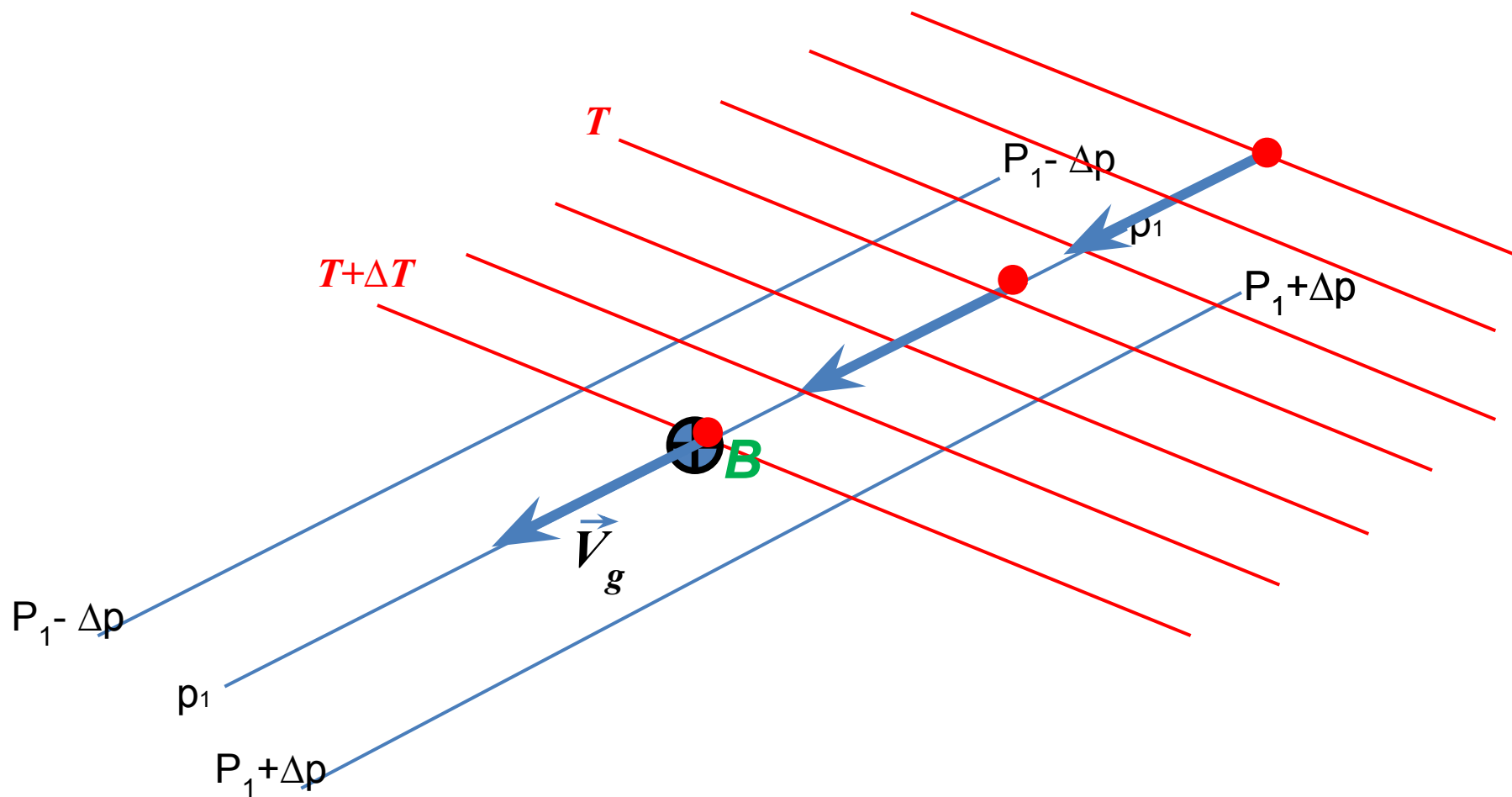
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

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

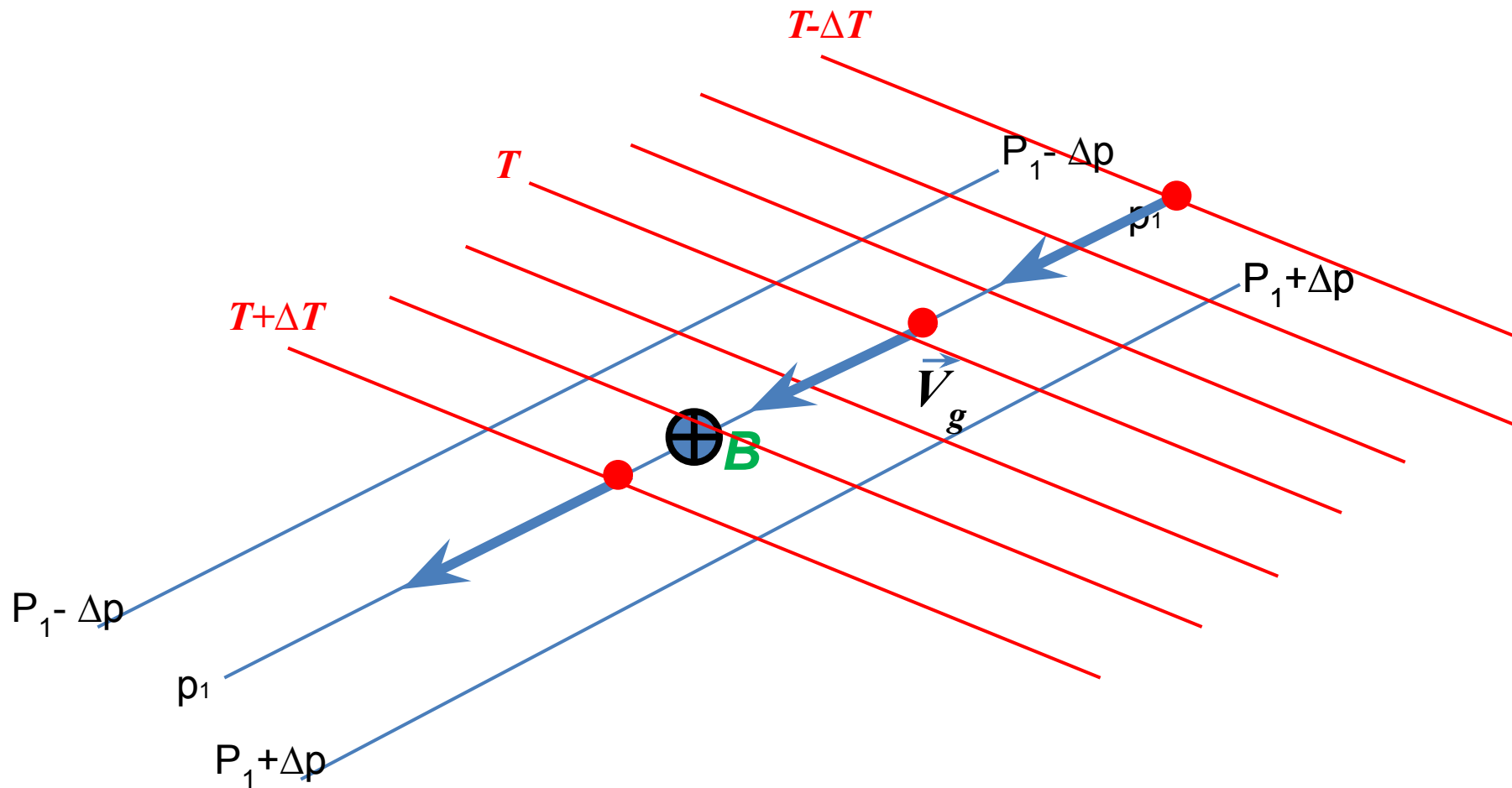
- *адвекция тепла*

# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

$T-\Delta T$

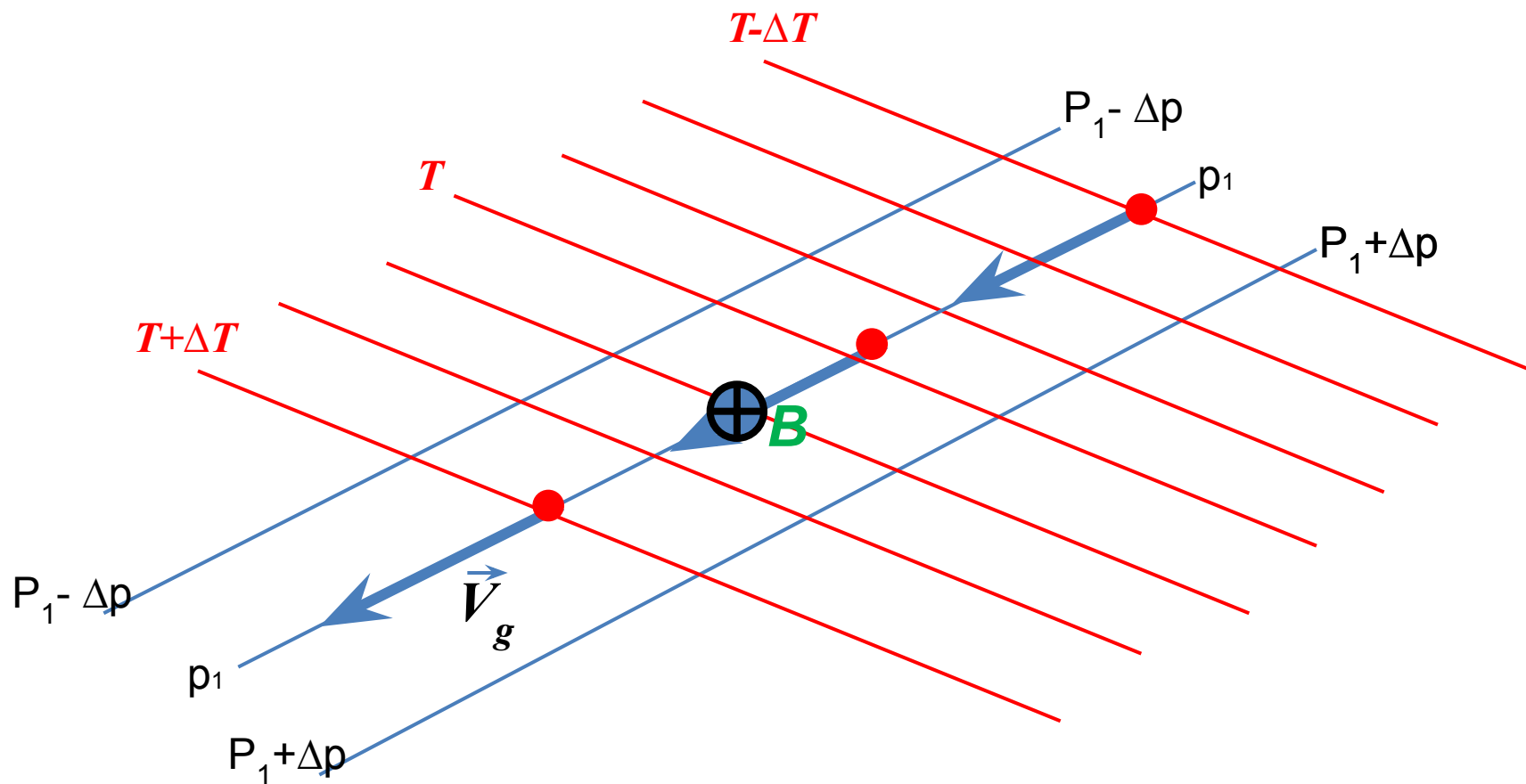


# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

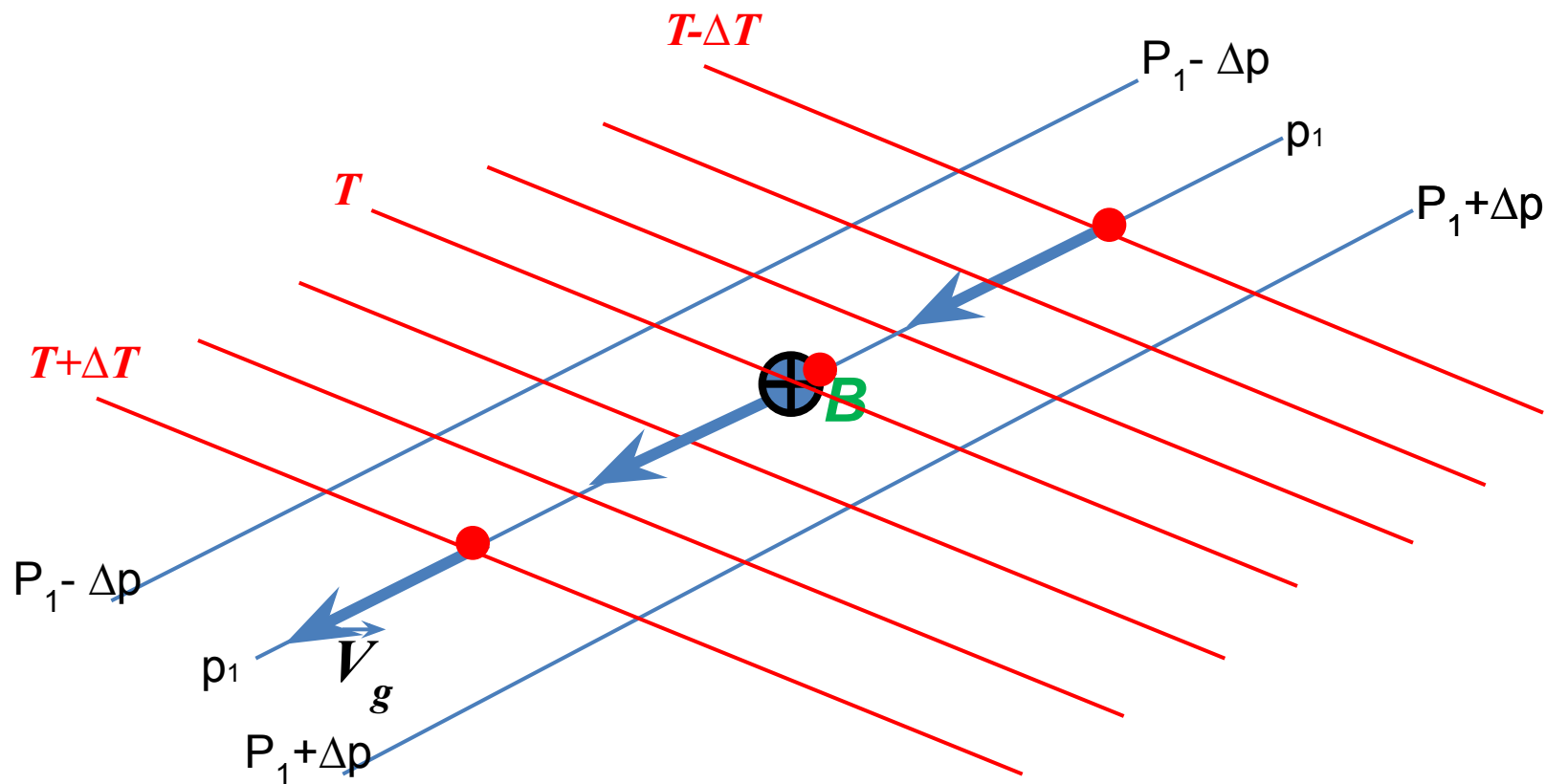




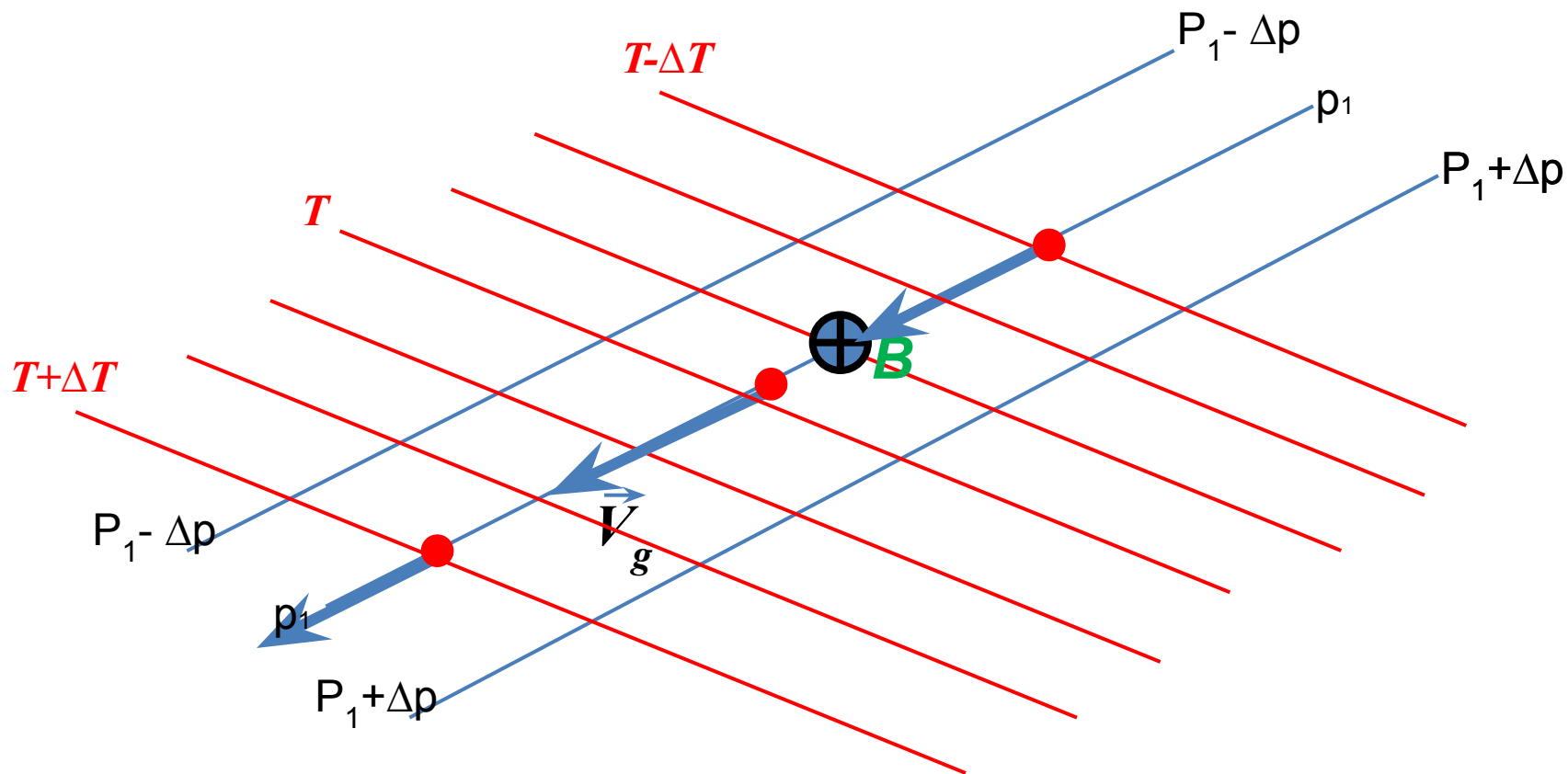
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



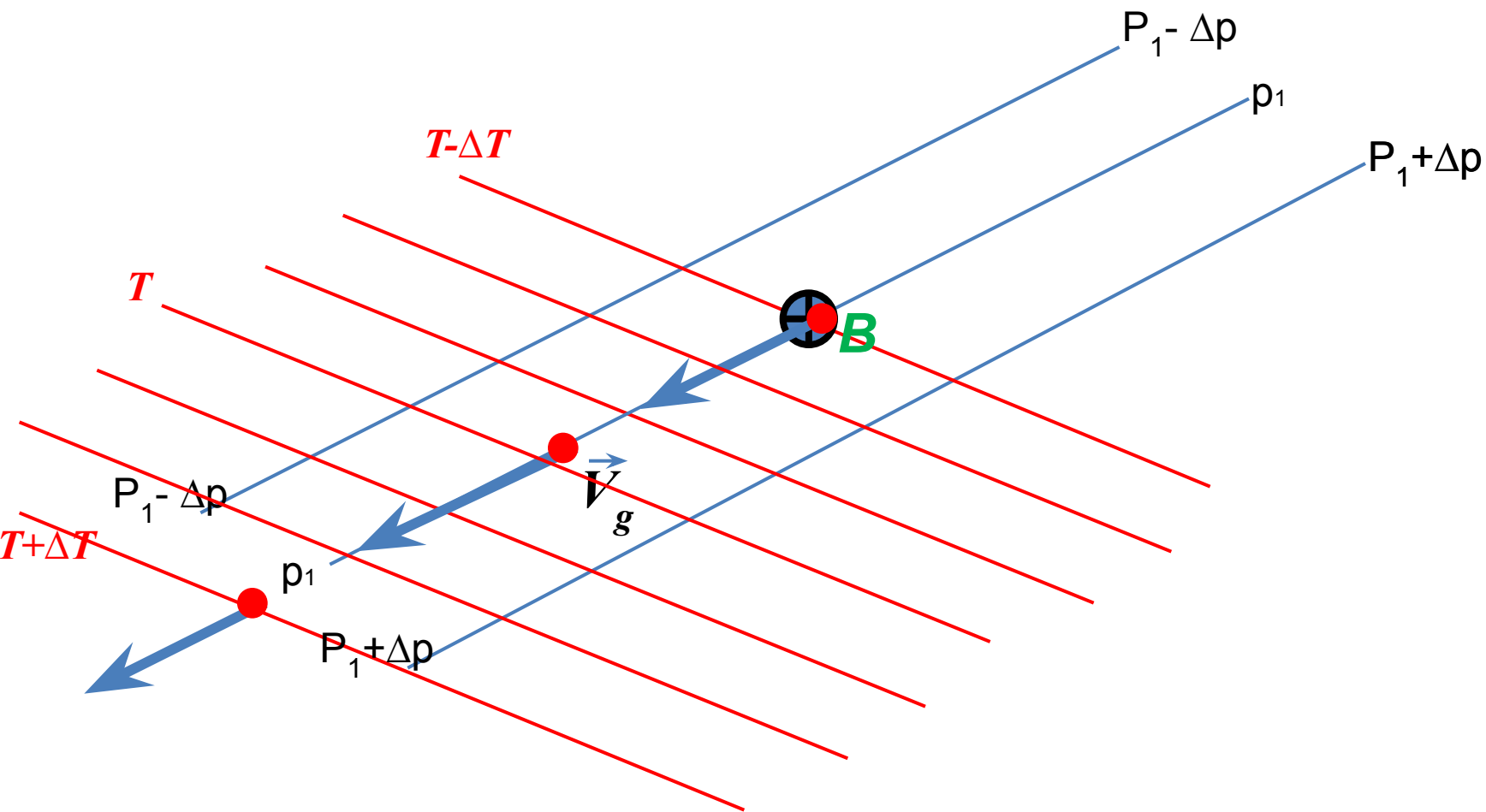
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



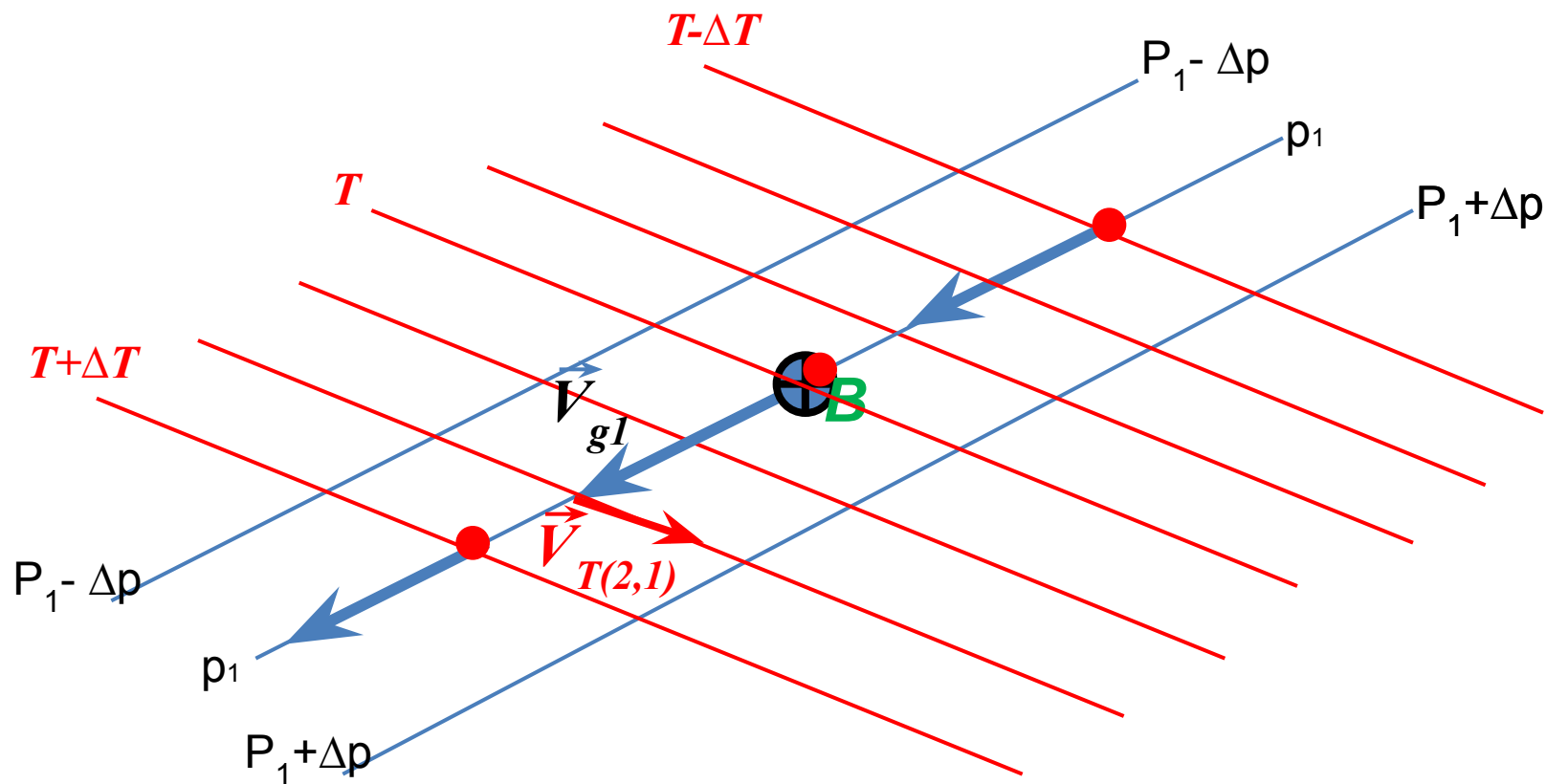
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



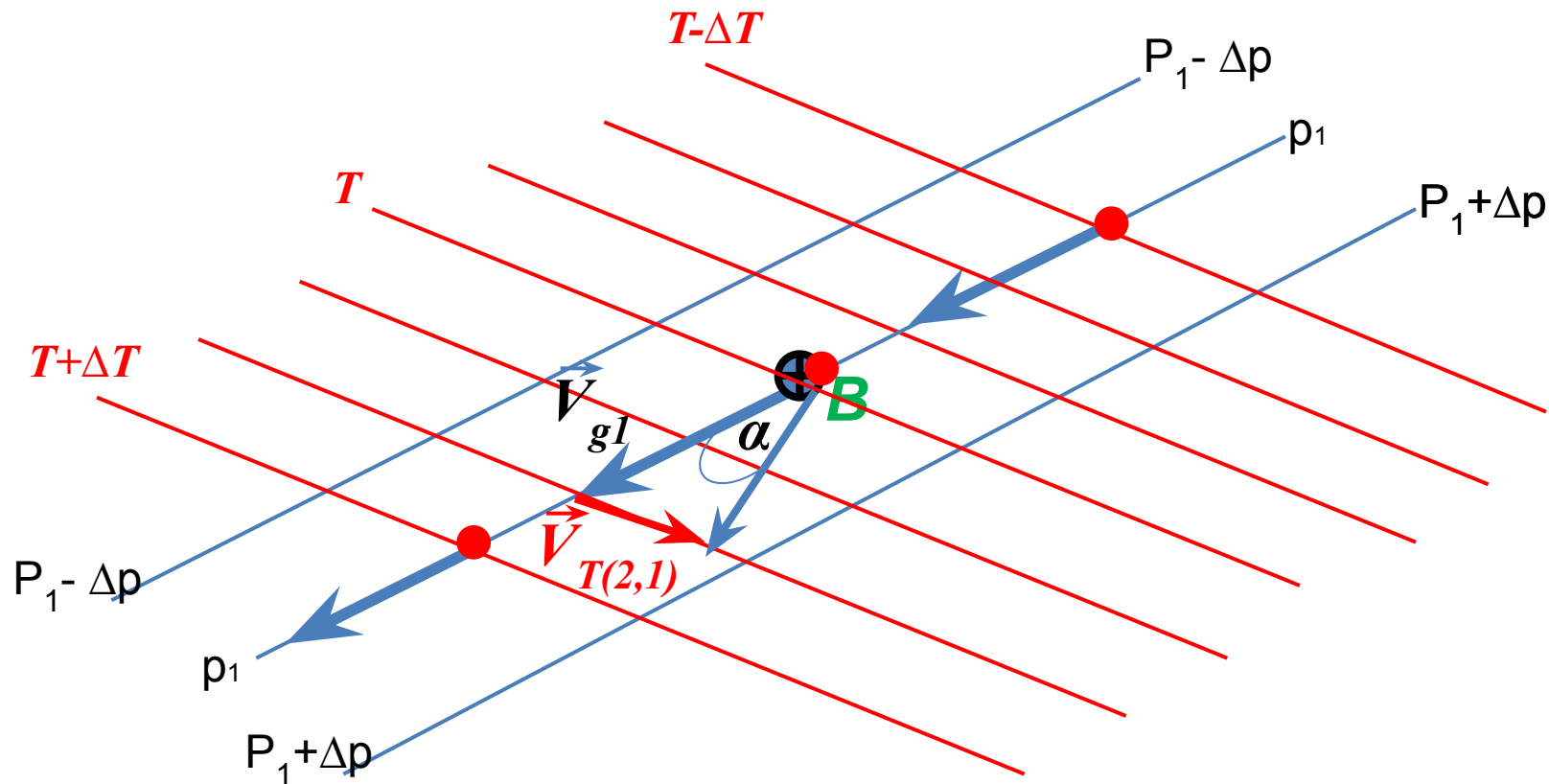
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



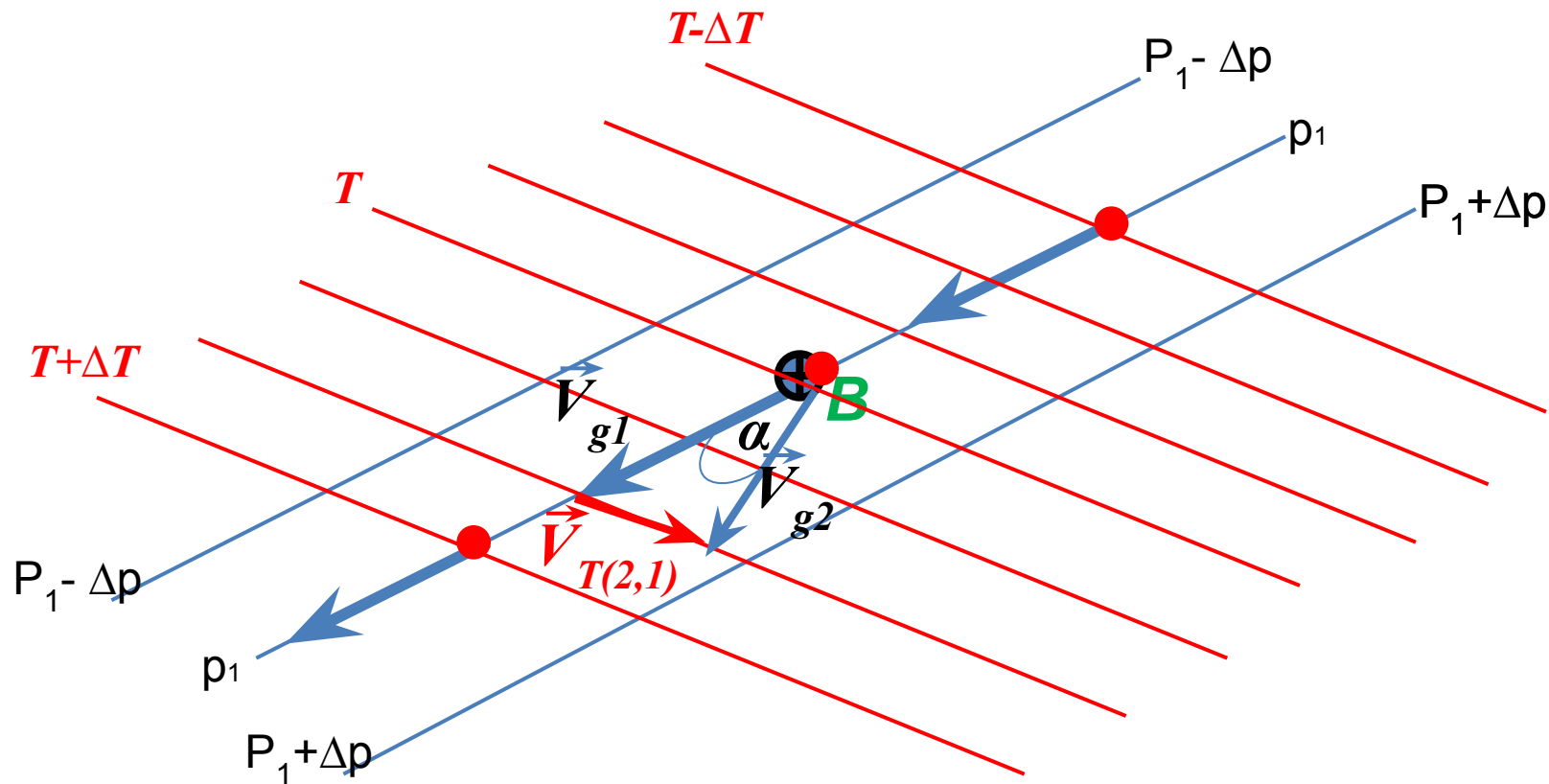
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

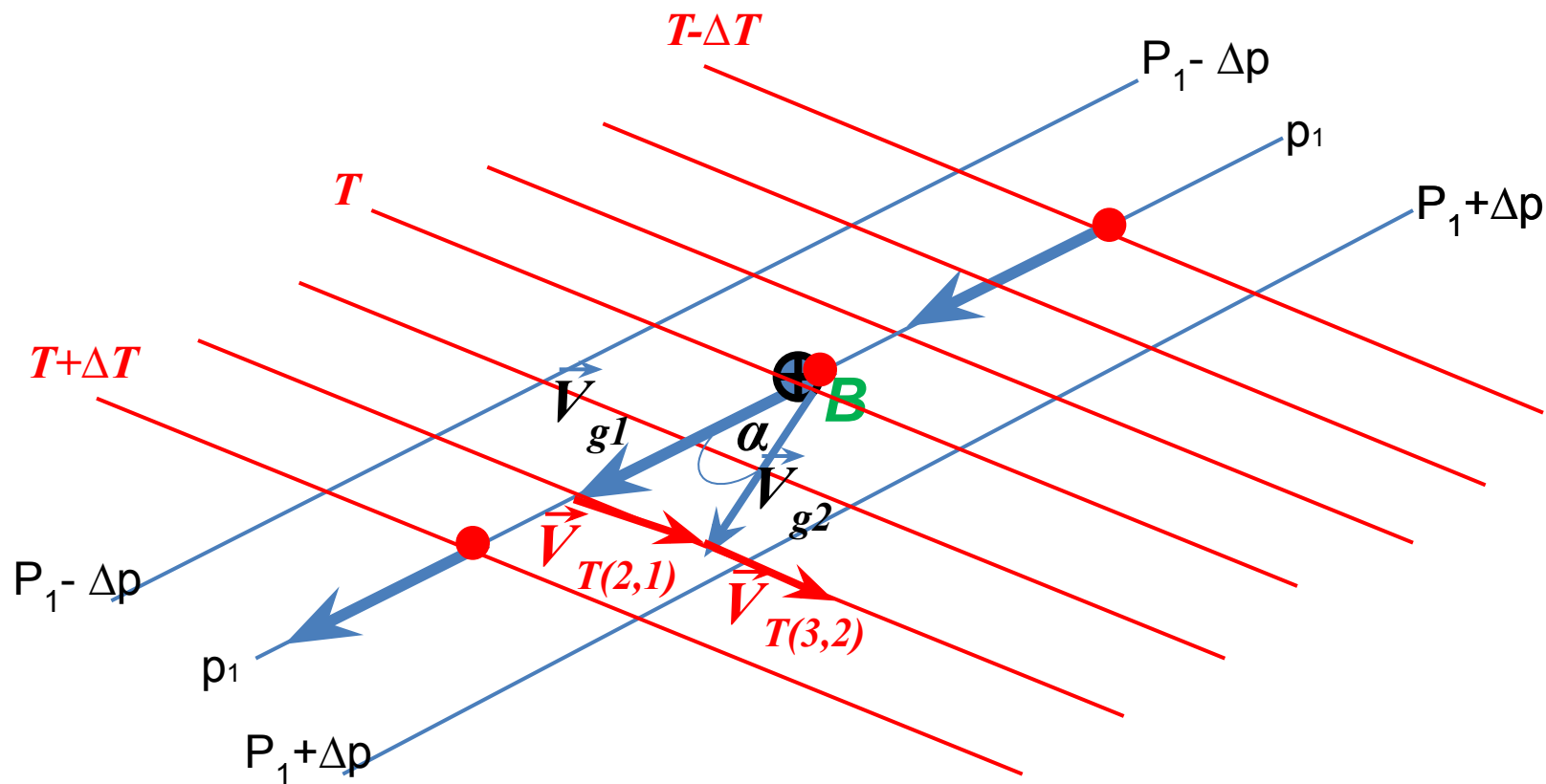


# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

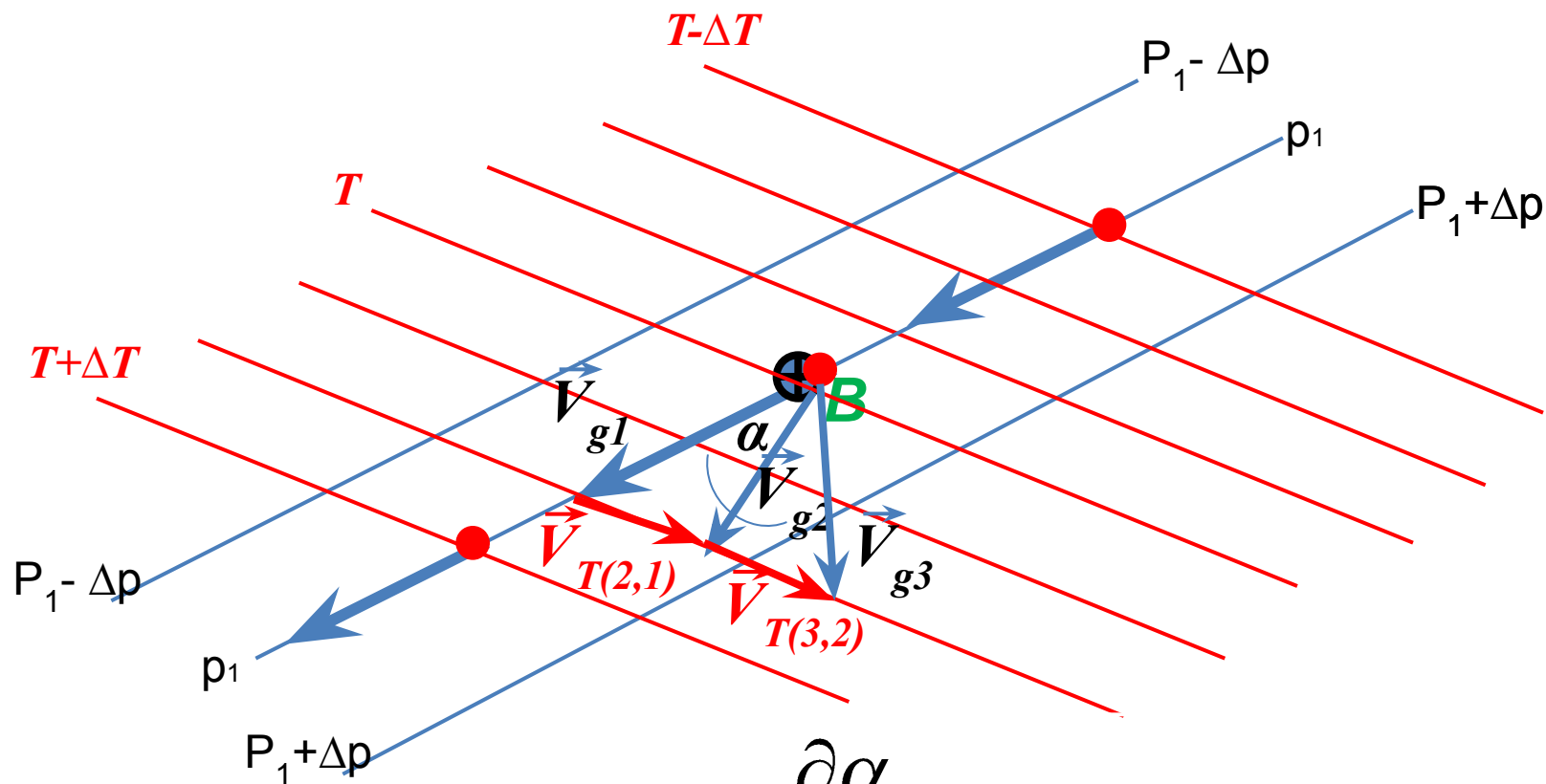




# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

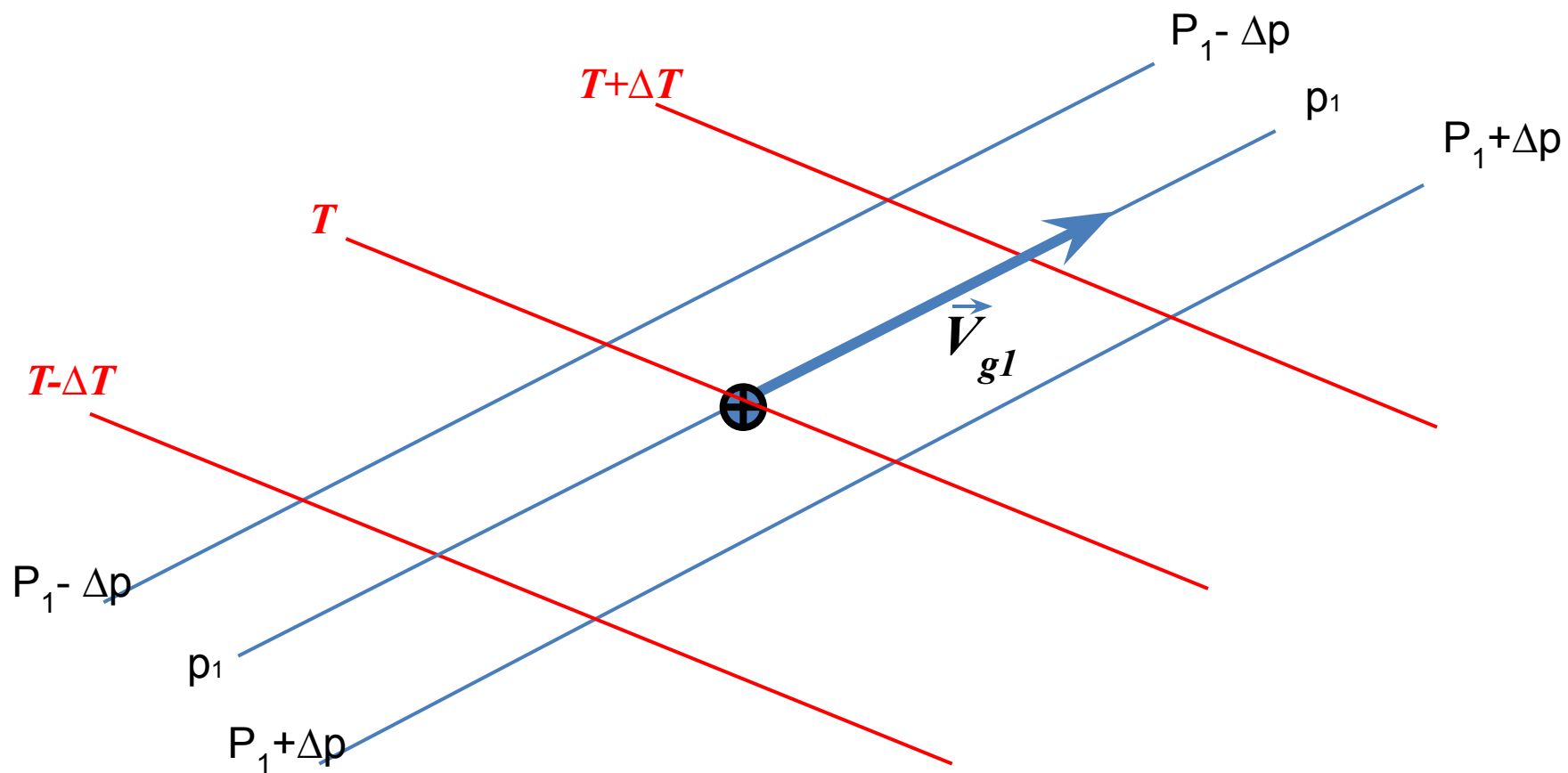


# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

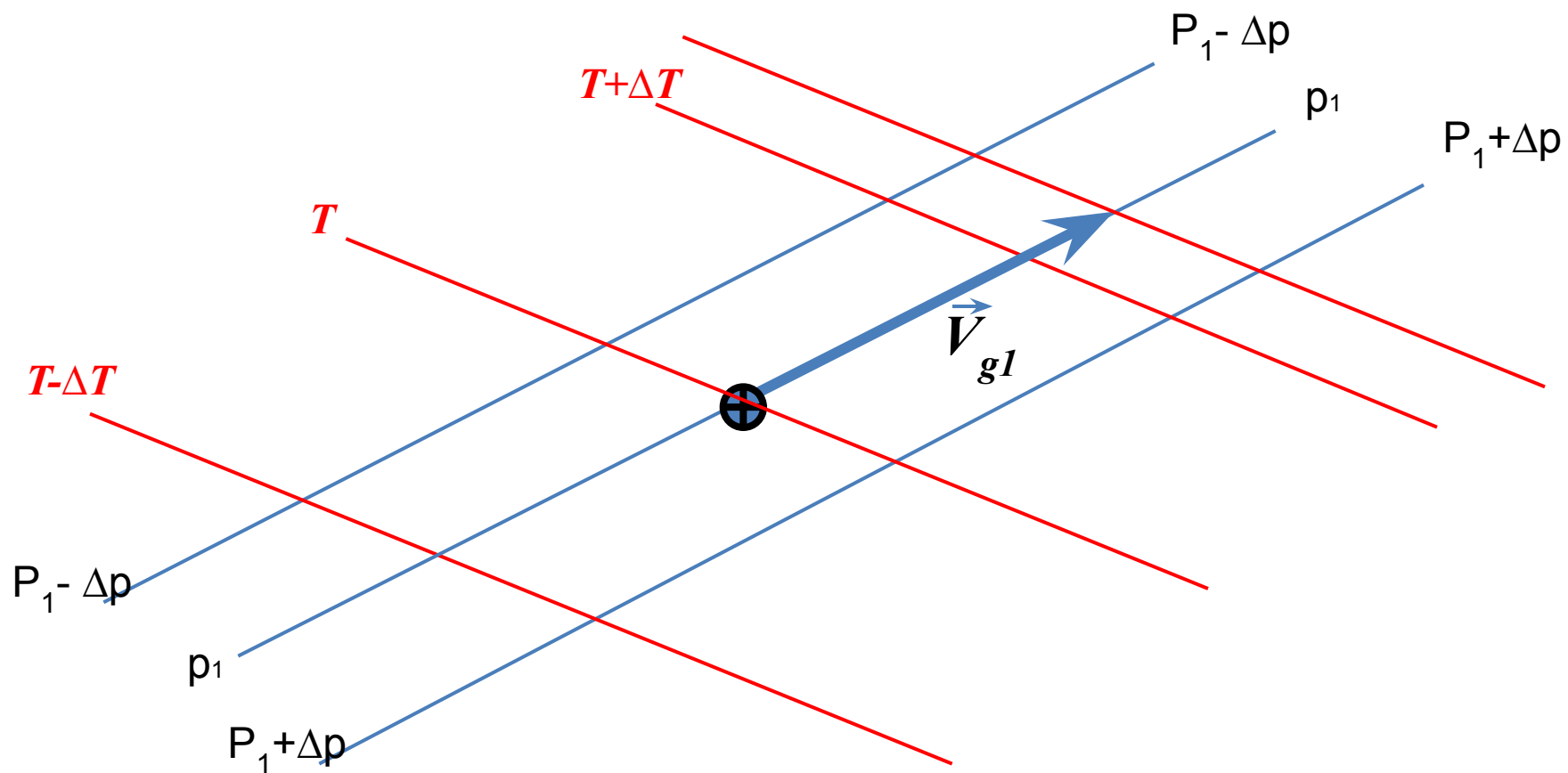


$$\frac{\partial \alpha}{\partial z} > 0 - \text{адвекция холода}$$

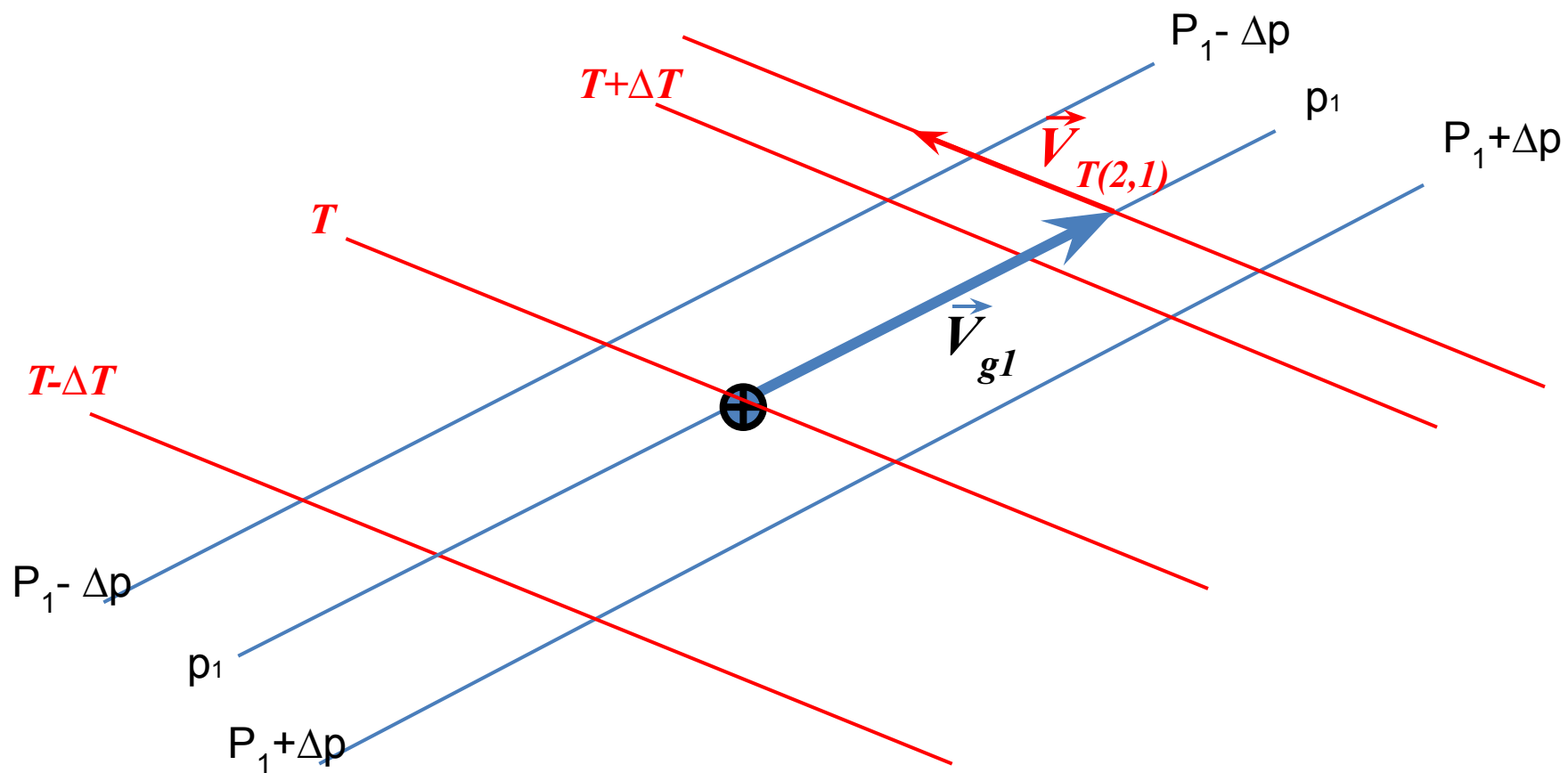
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



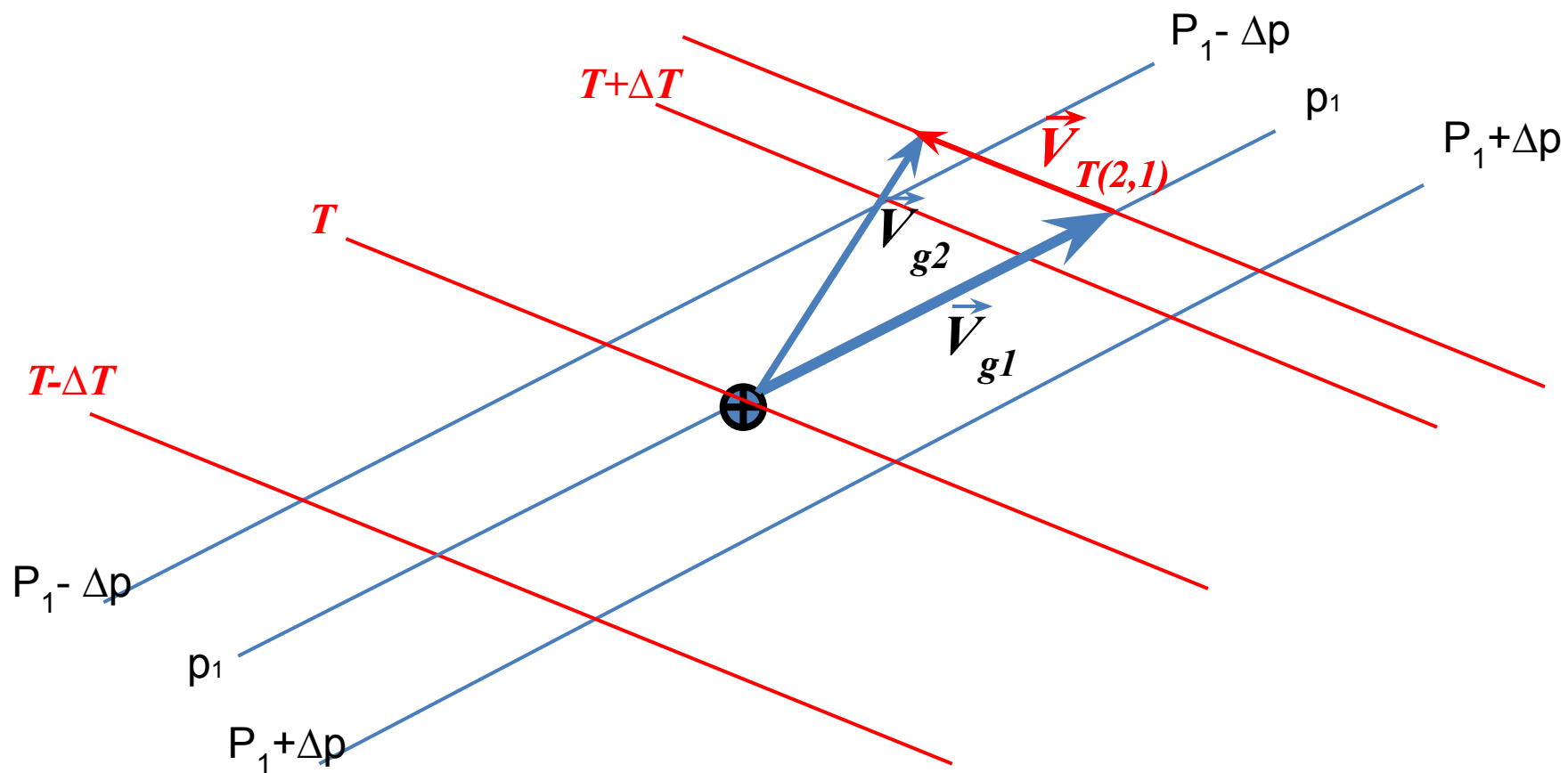
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



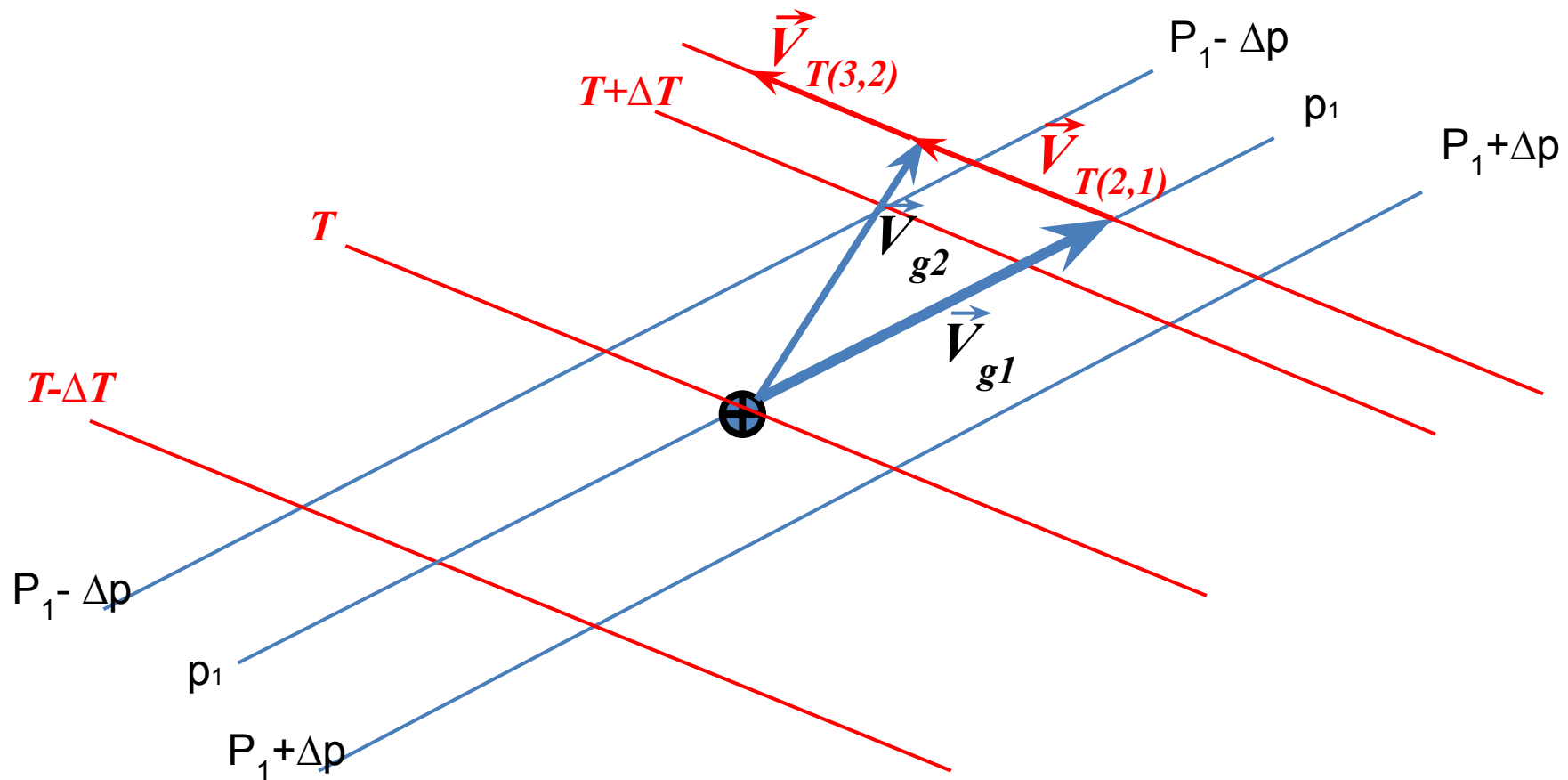
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

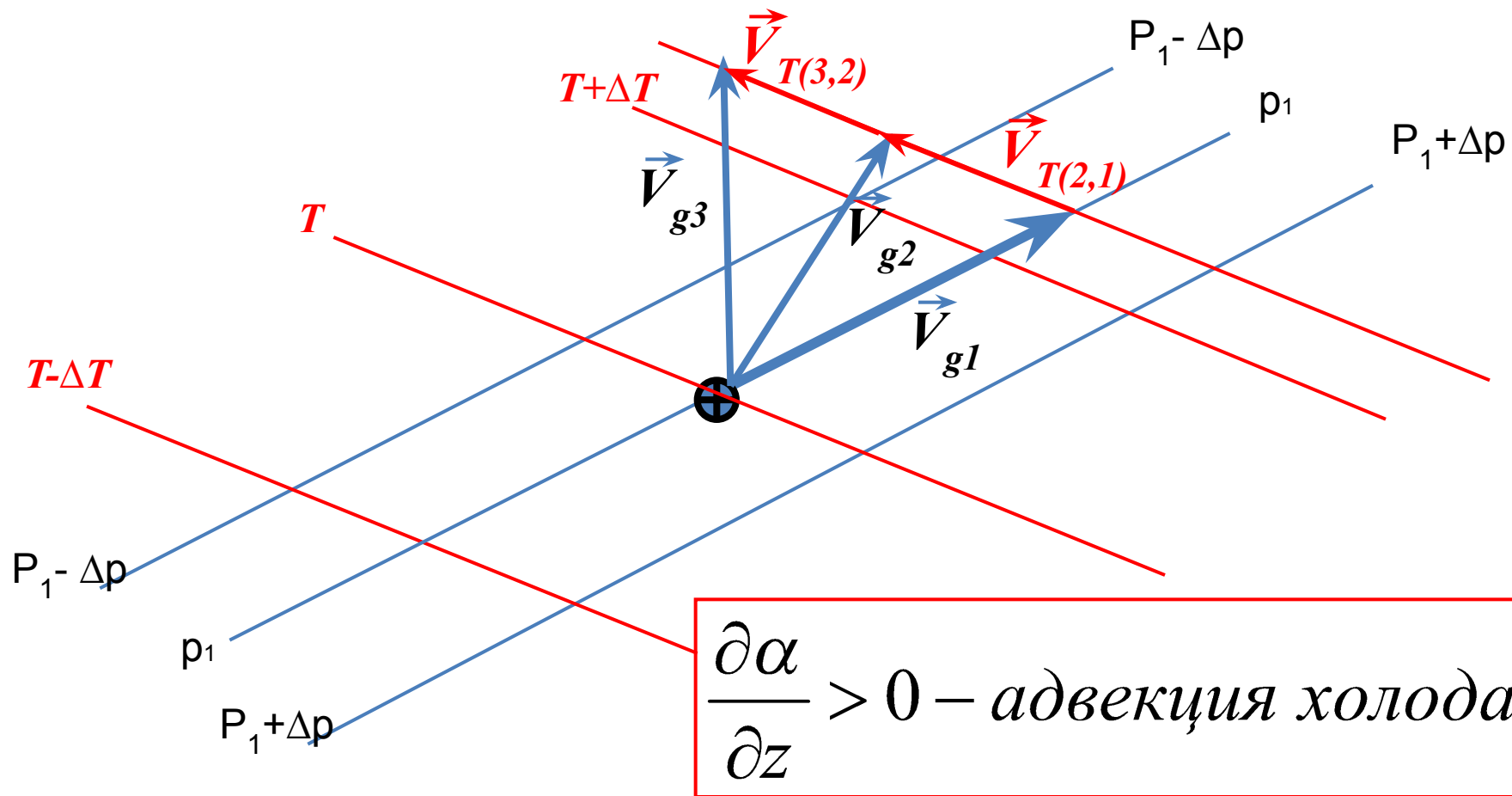


# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени





# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени





# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

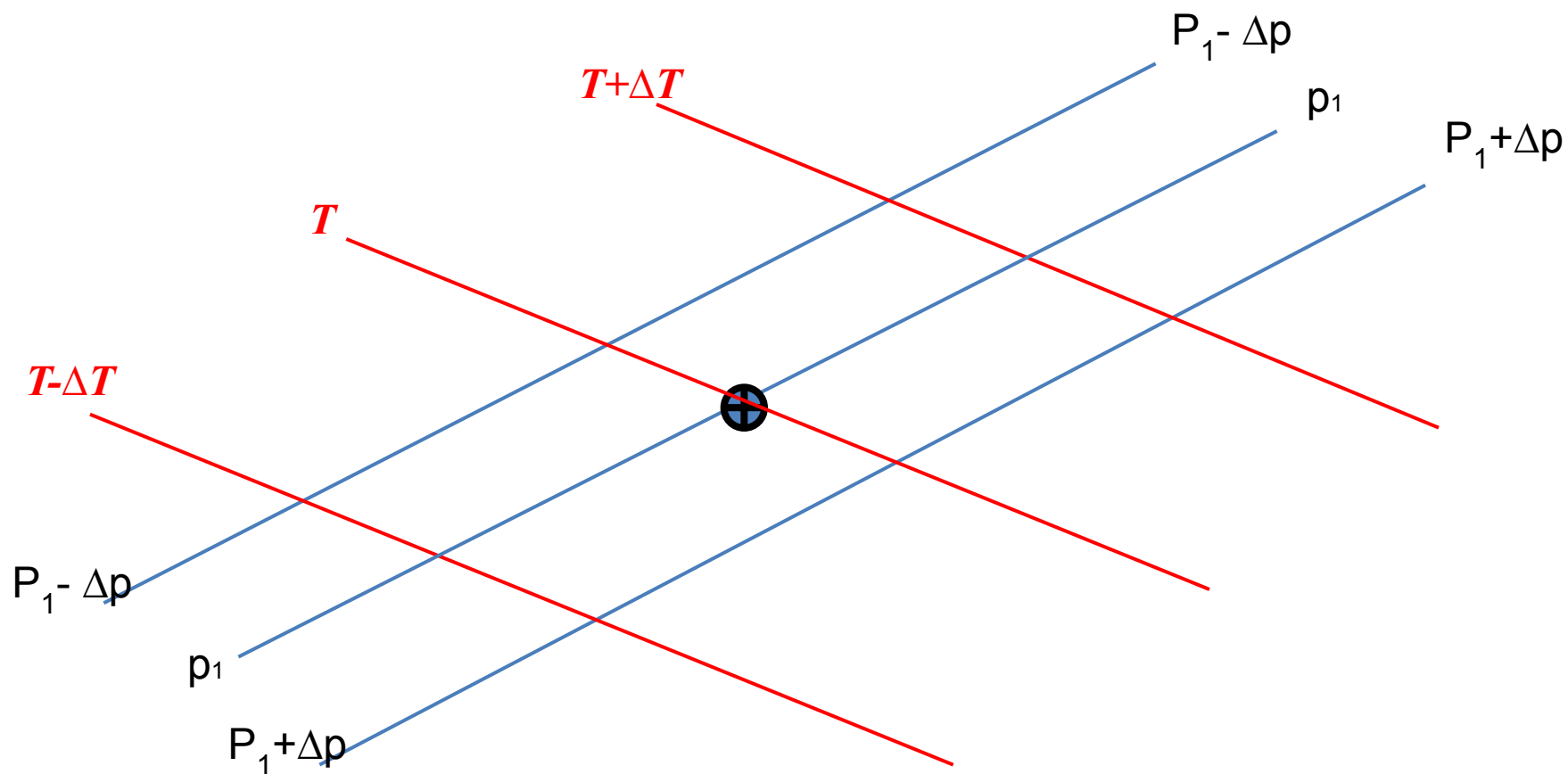
Ветер меняет направление с высотой с поворотом влево (против часовой стрелки) –

- *адвекция холода*

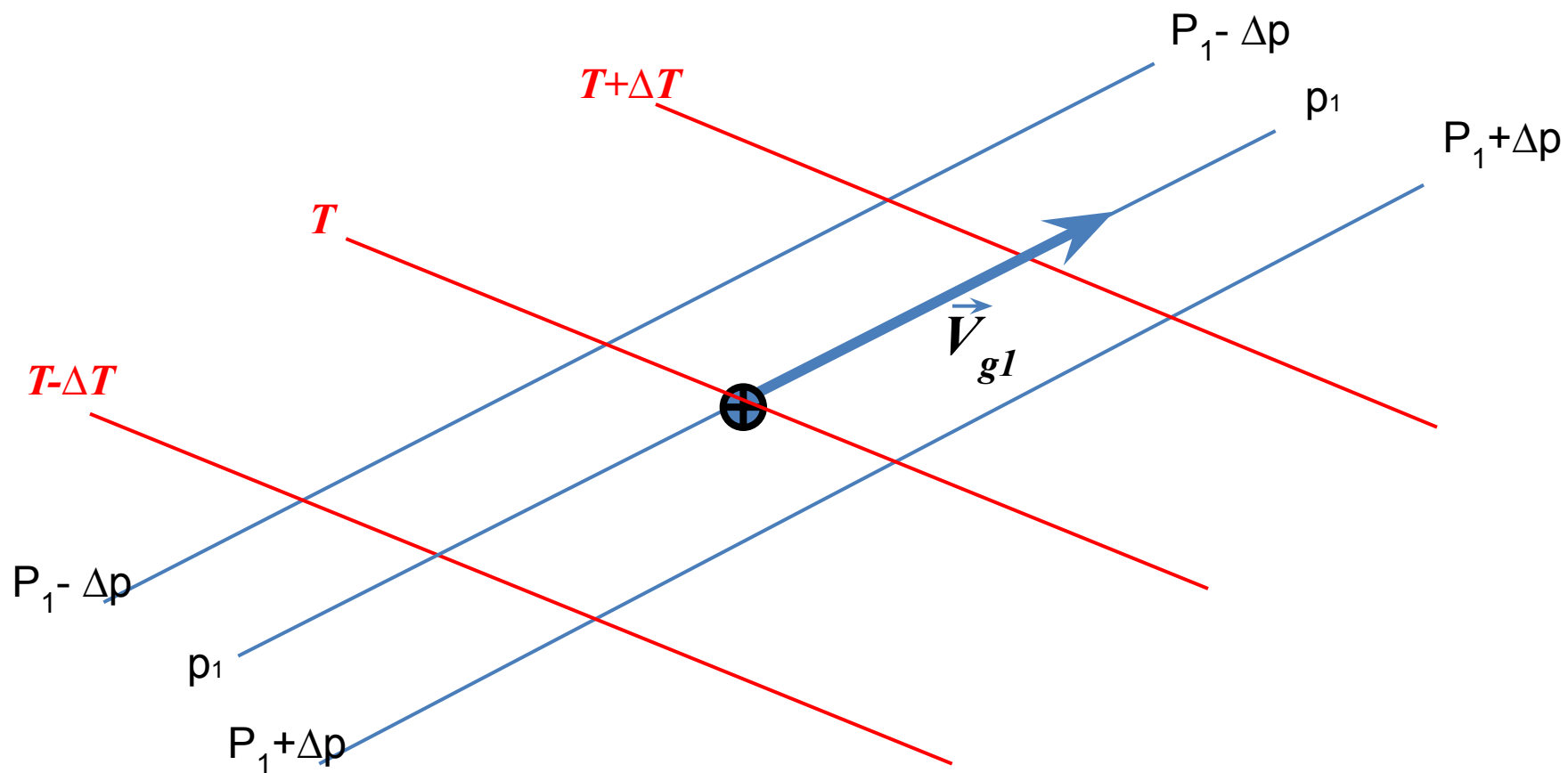
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

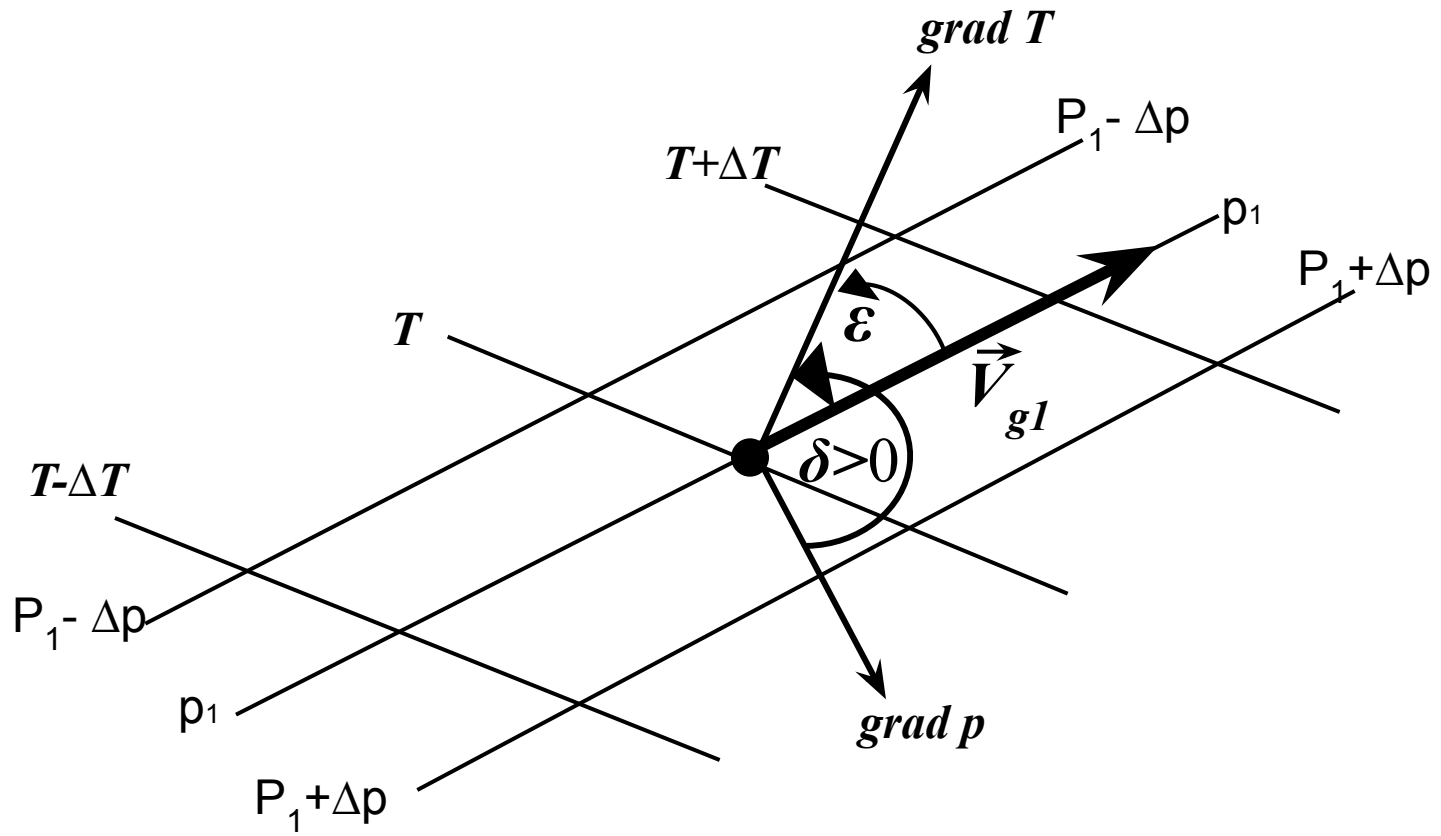
$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -grad_s T \cdot V = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot (V \cdot \cos \alpha) = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$

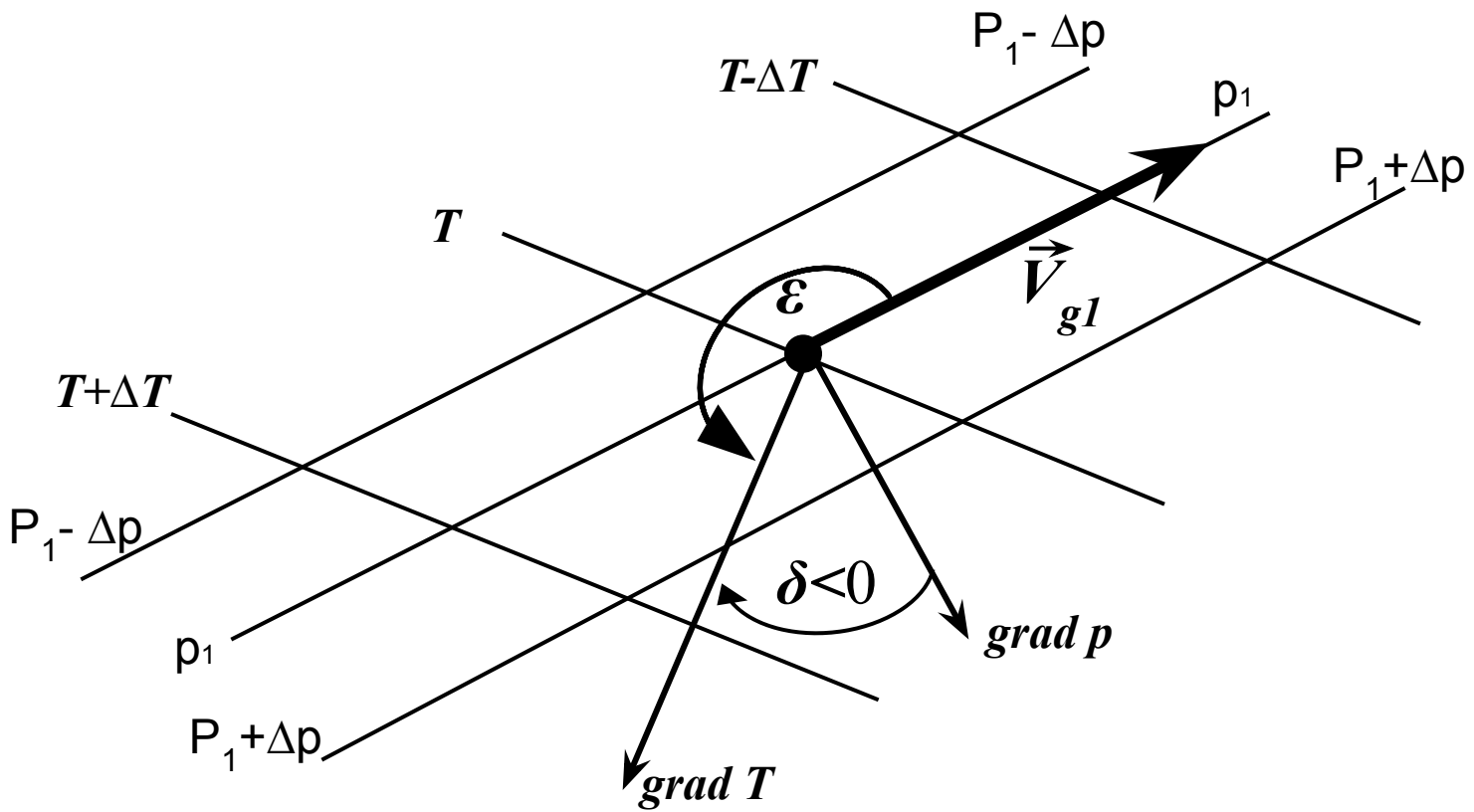
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

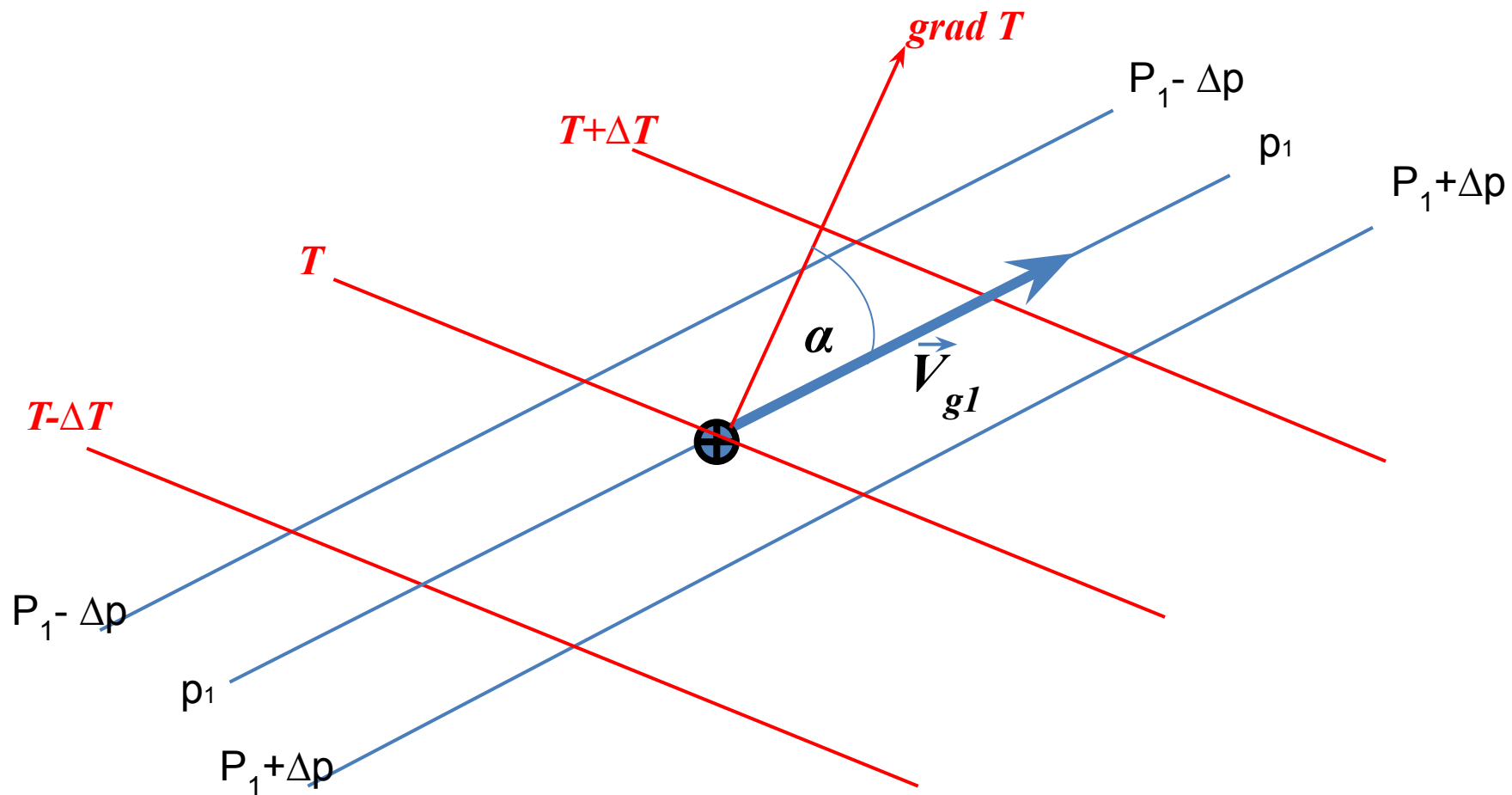


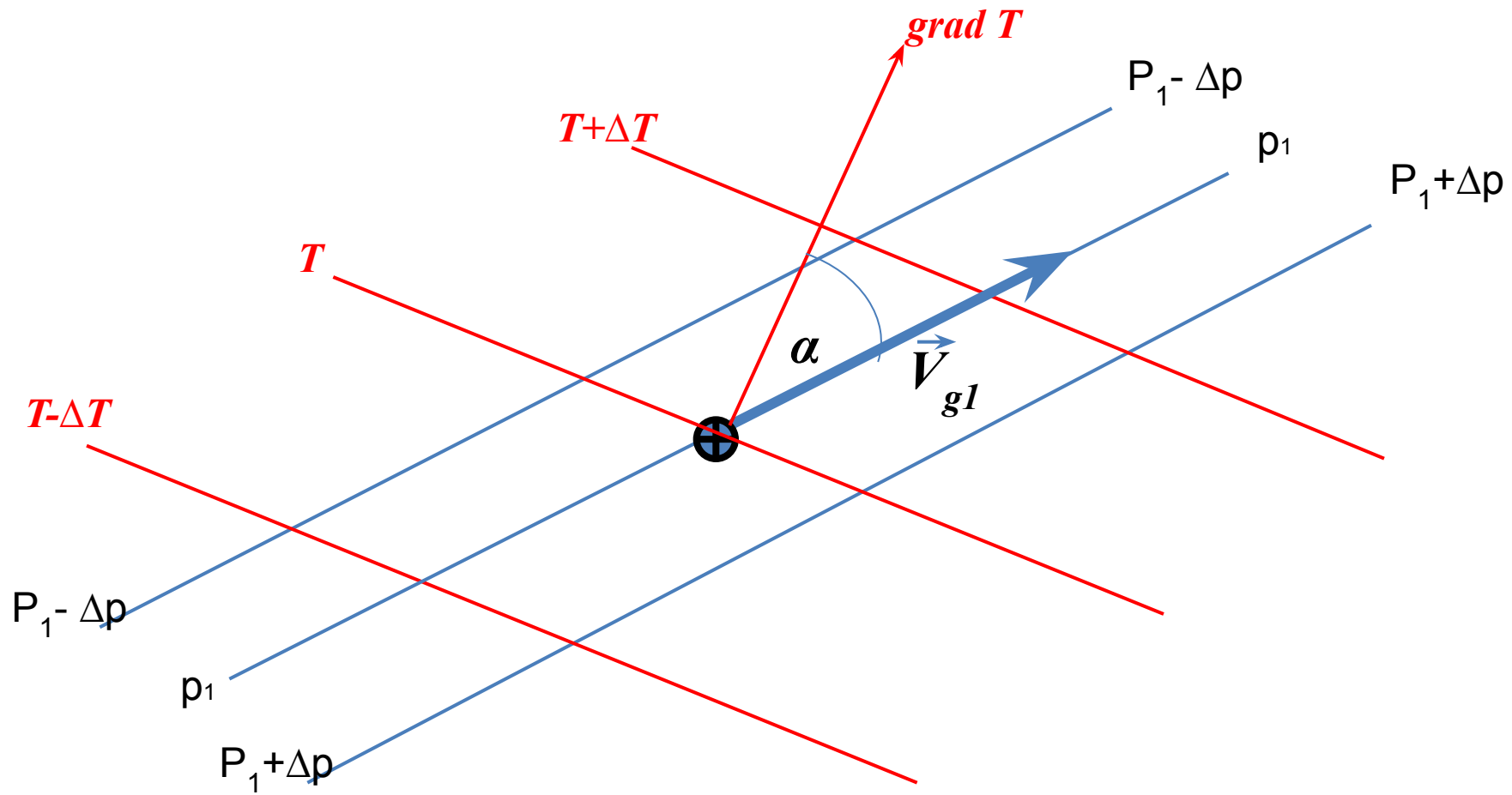




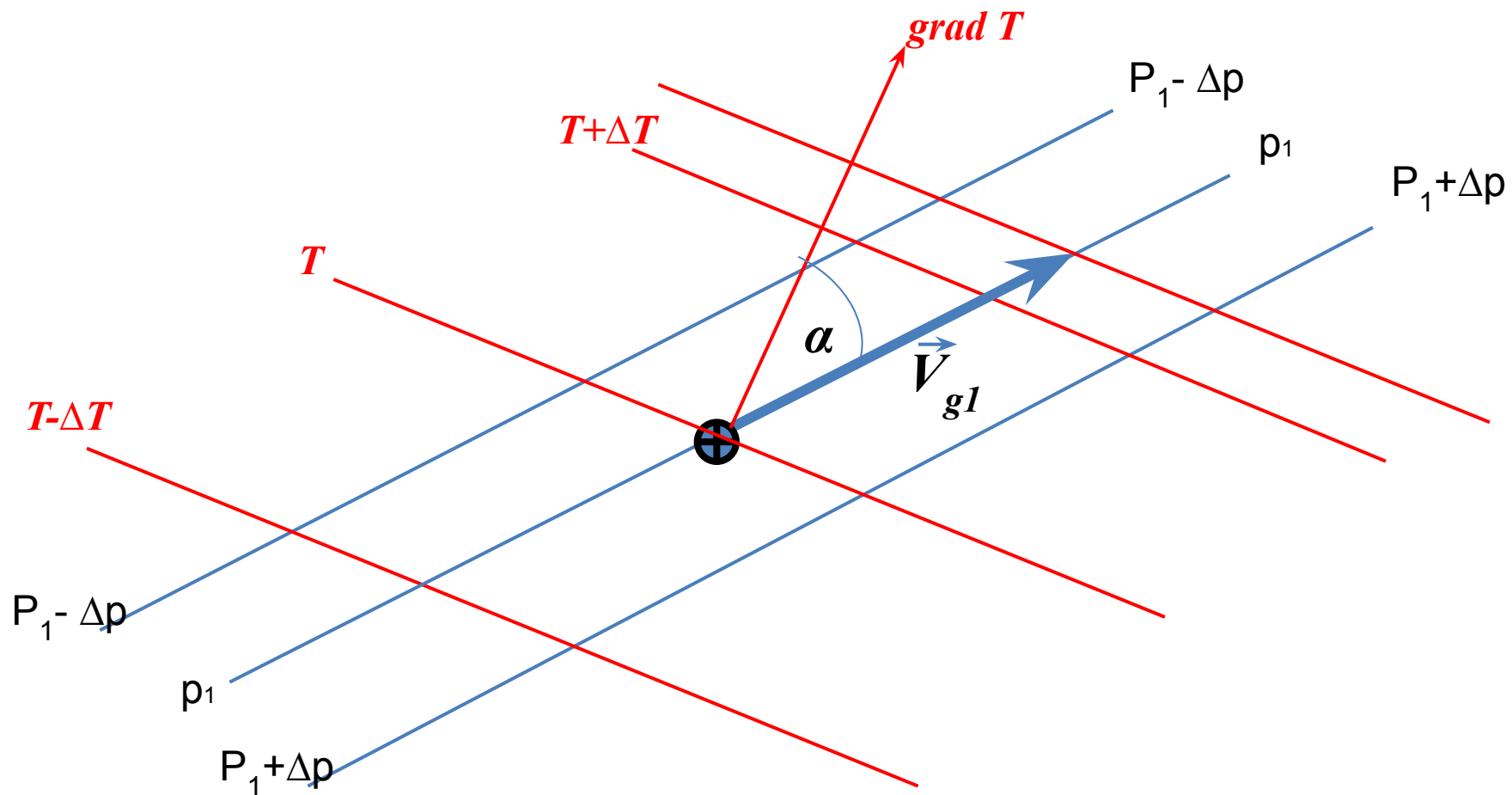


# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

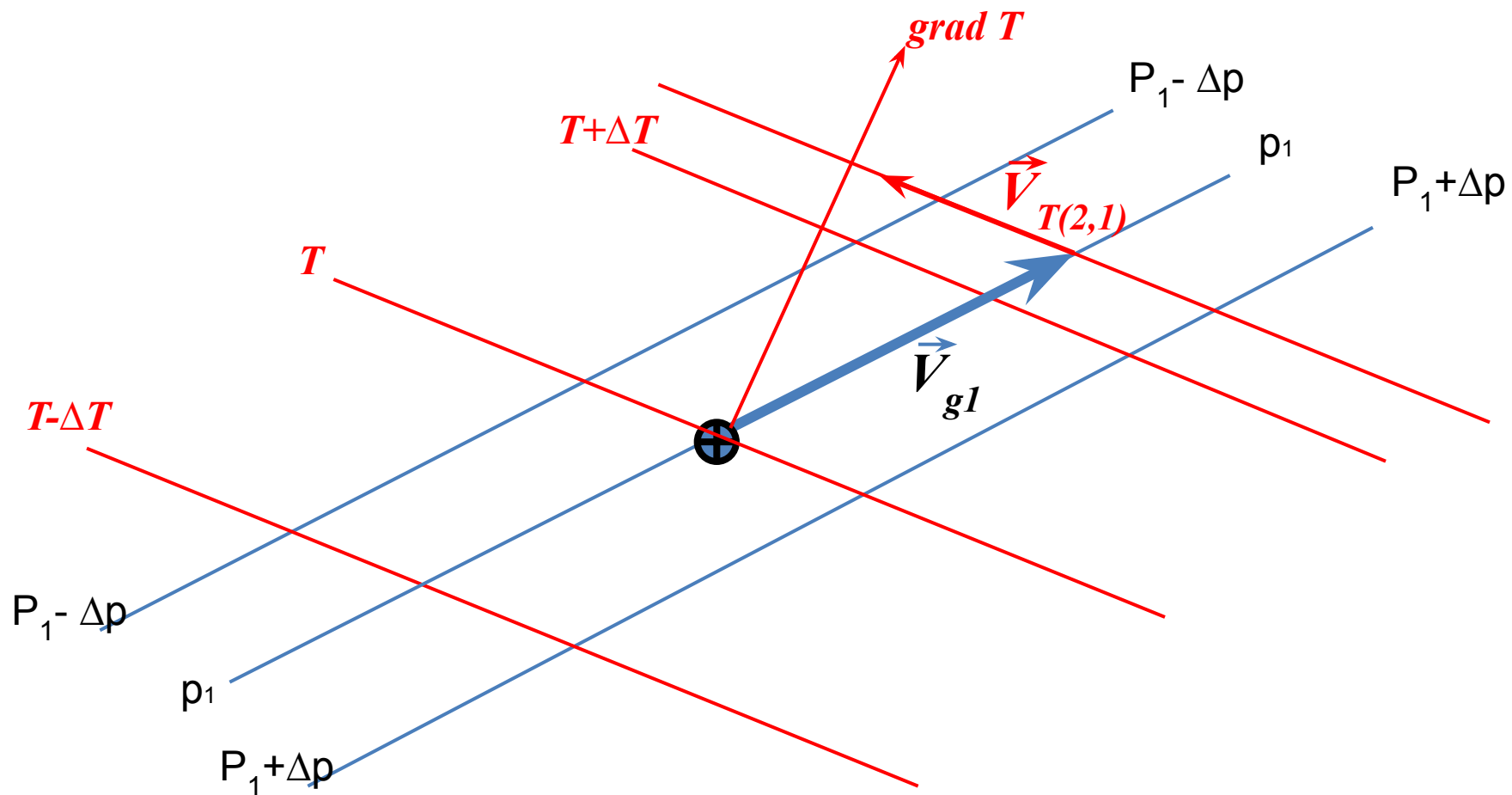




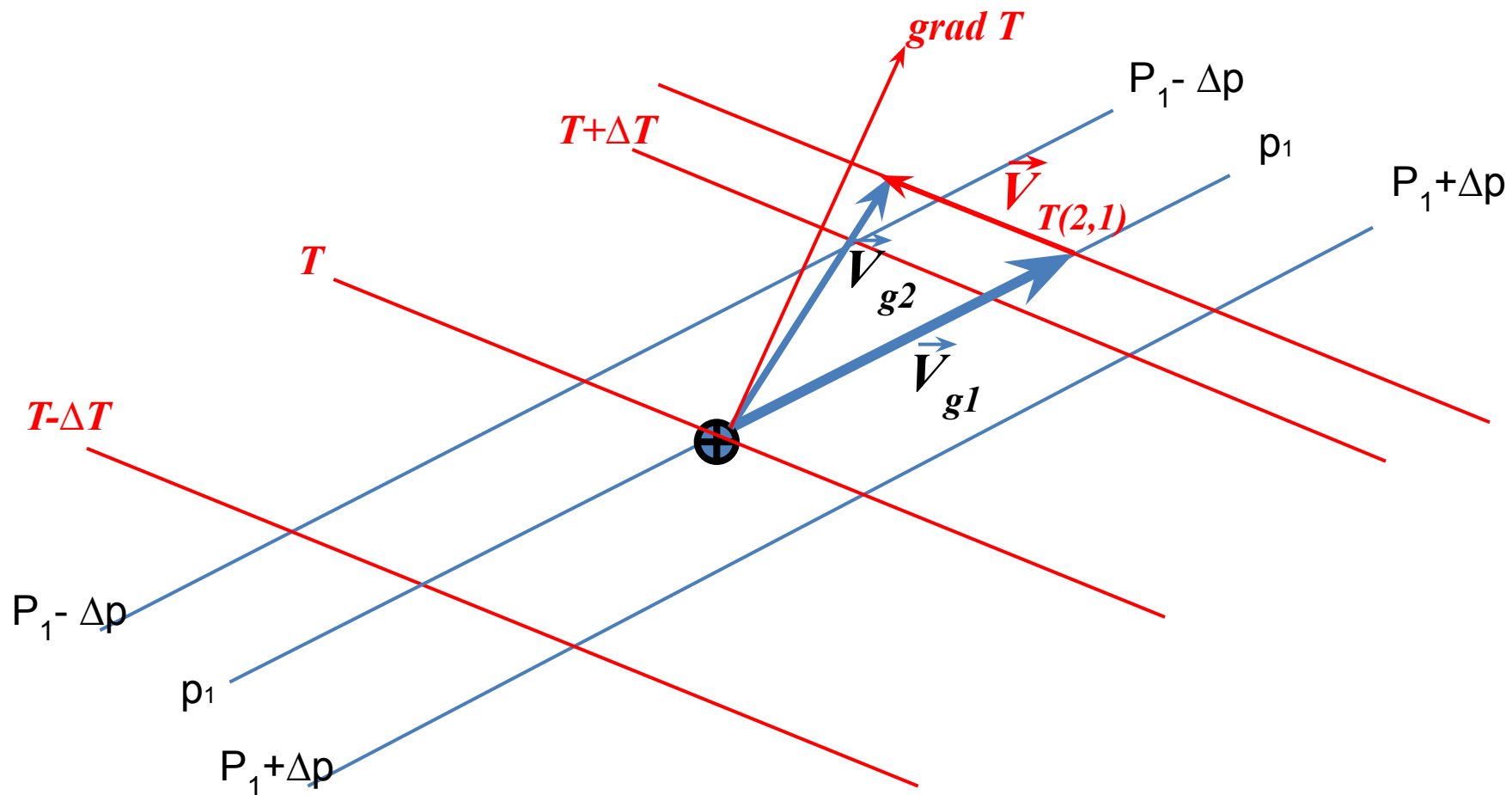
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



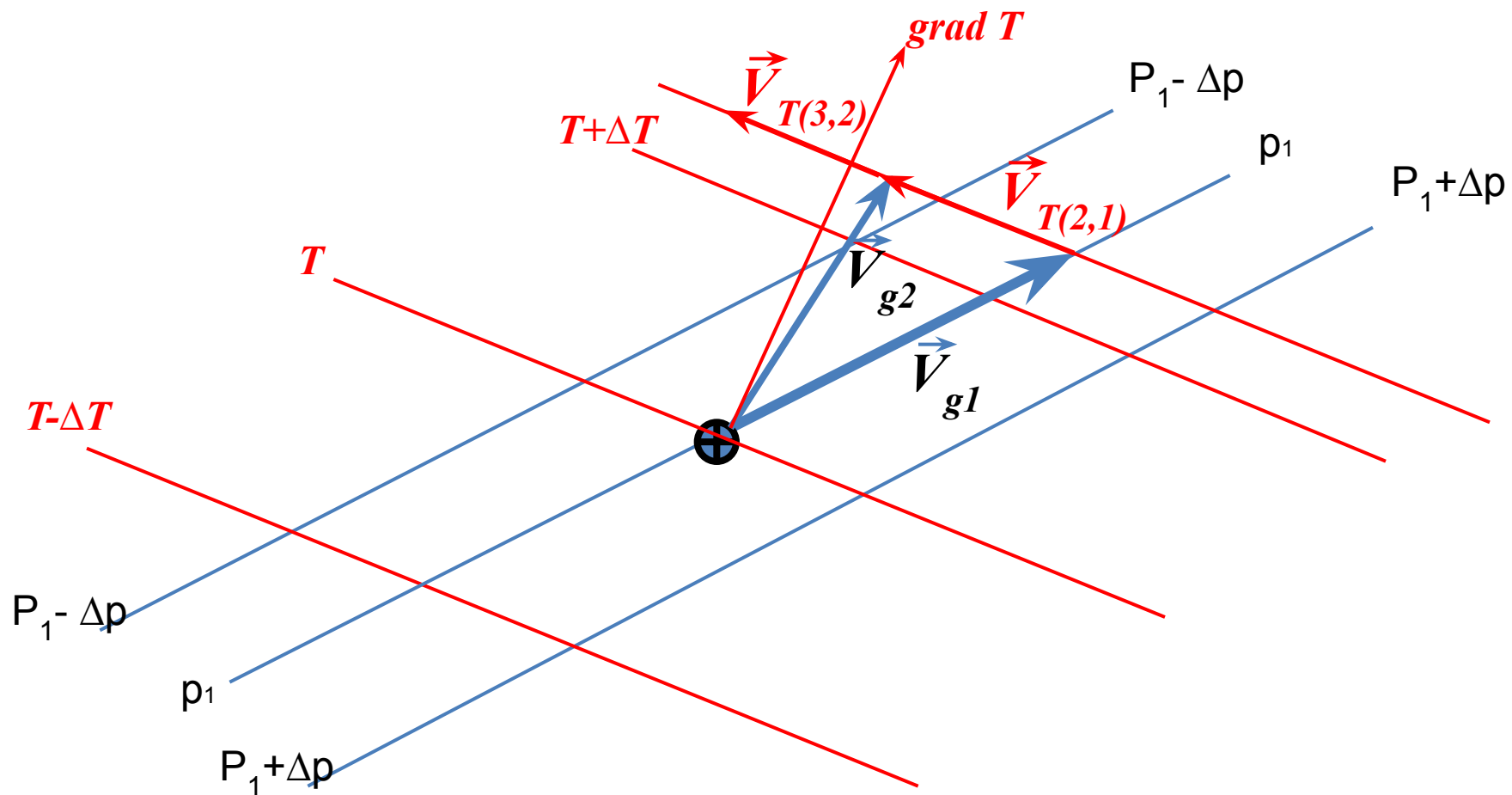
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



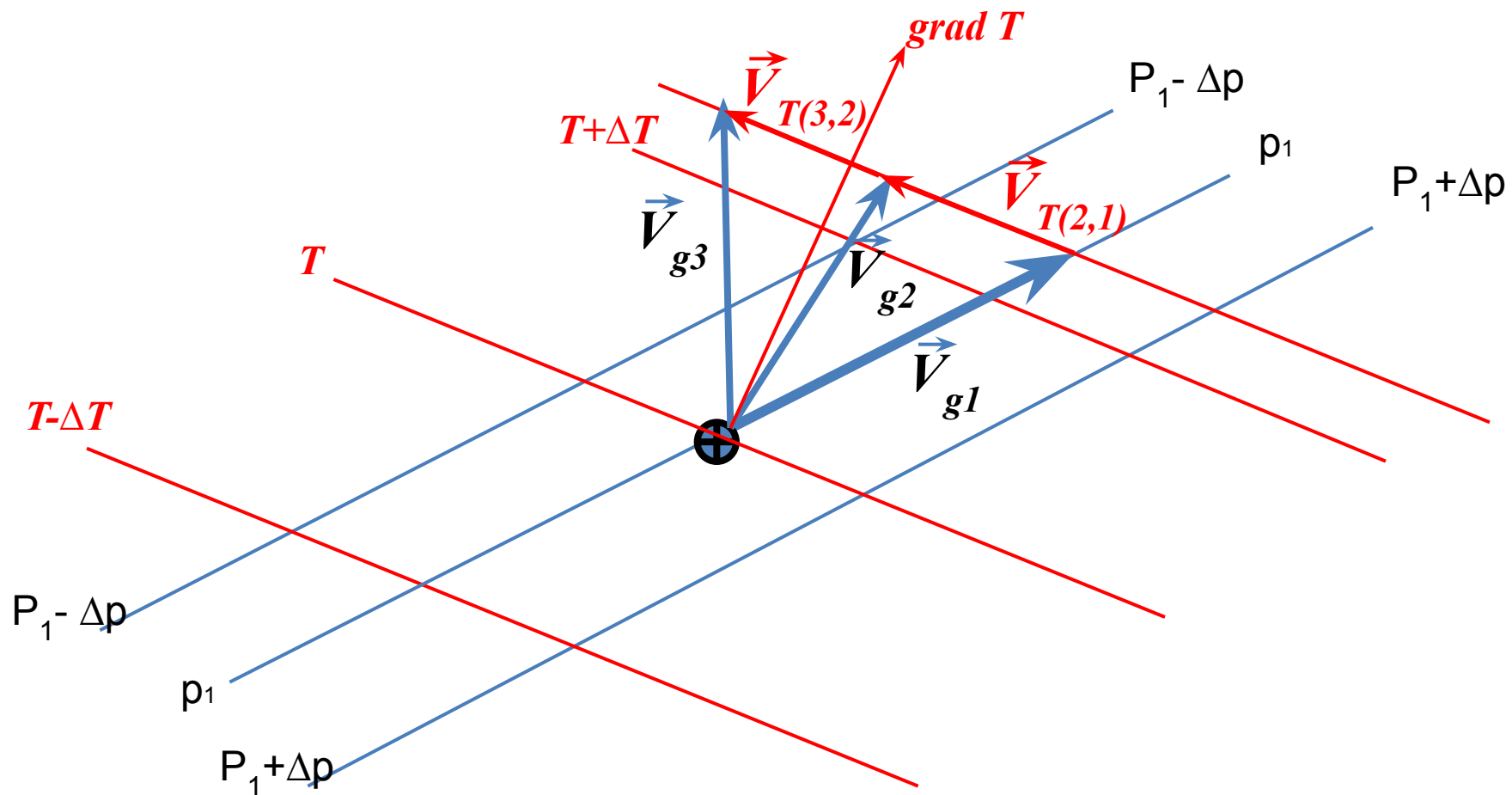
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

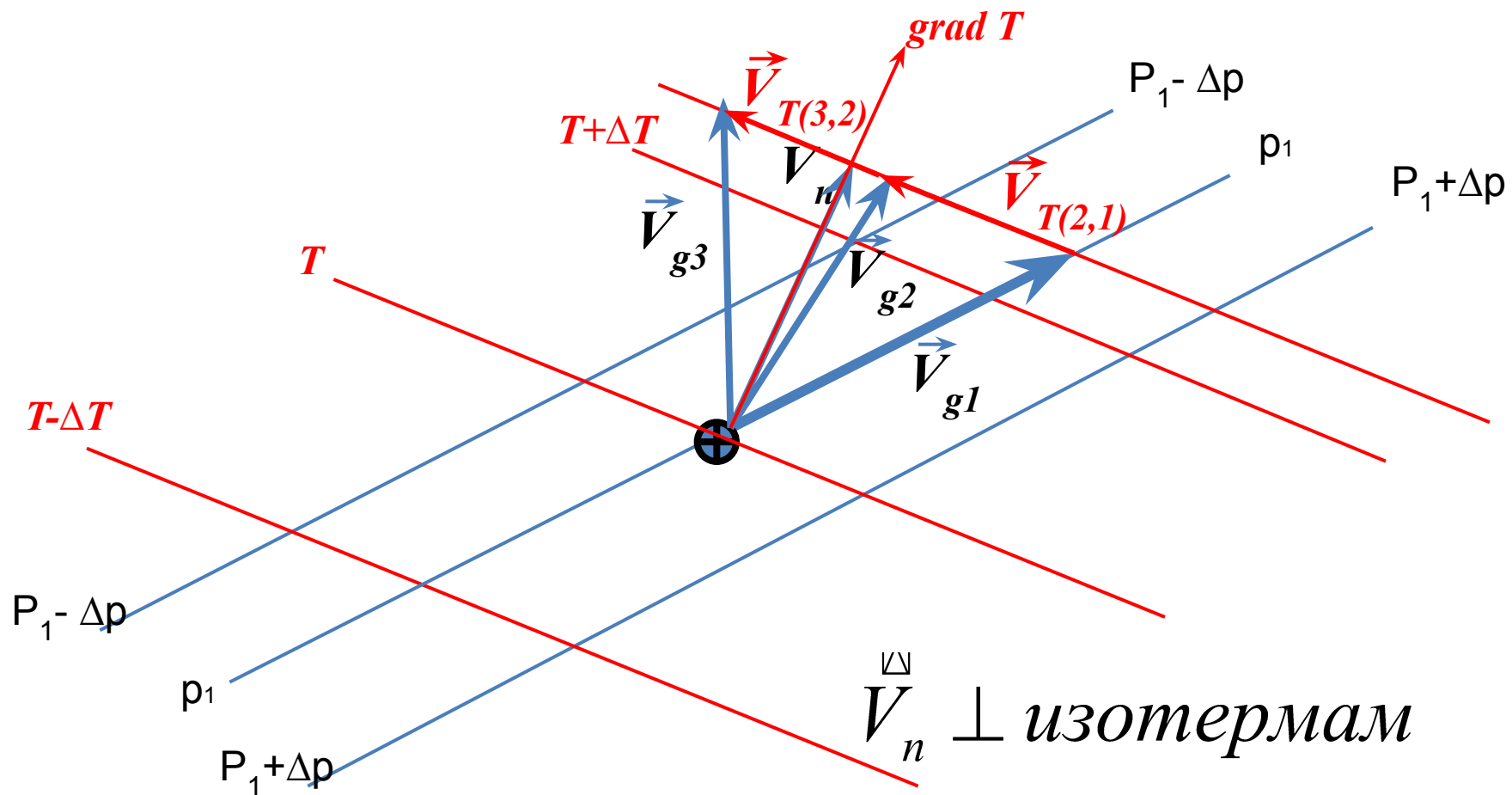


# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



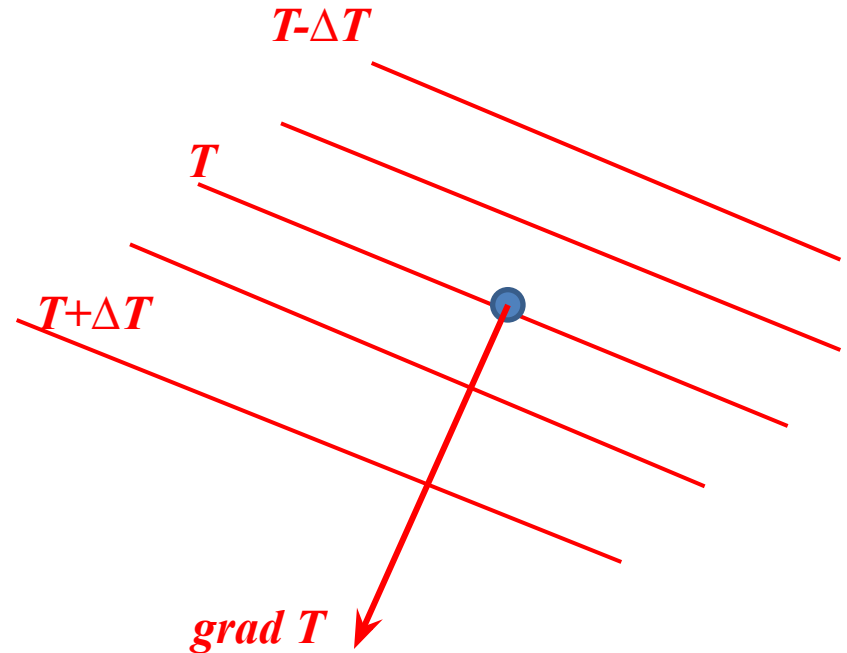
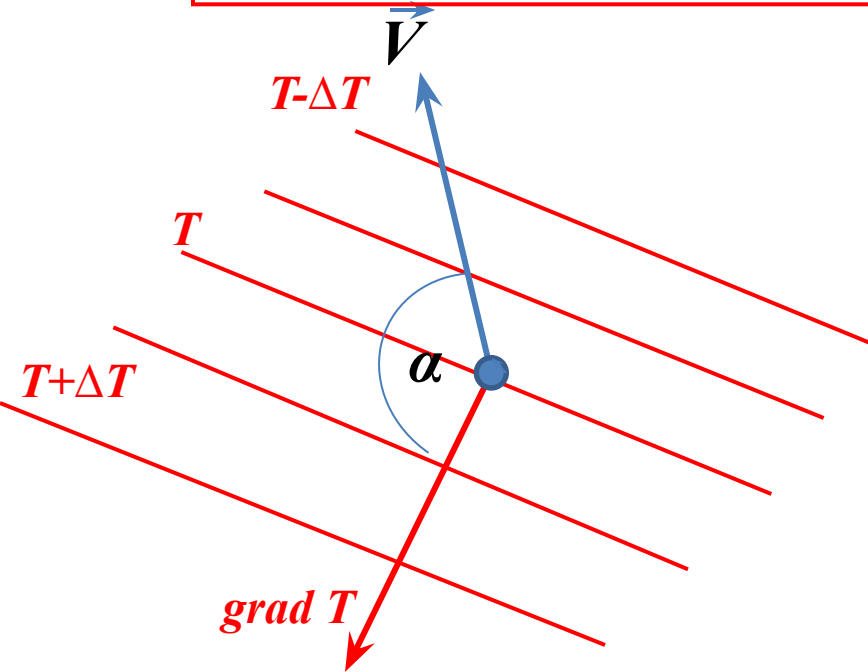


# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени



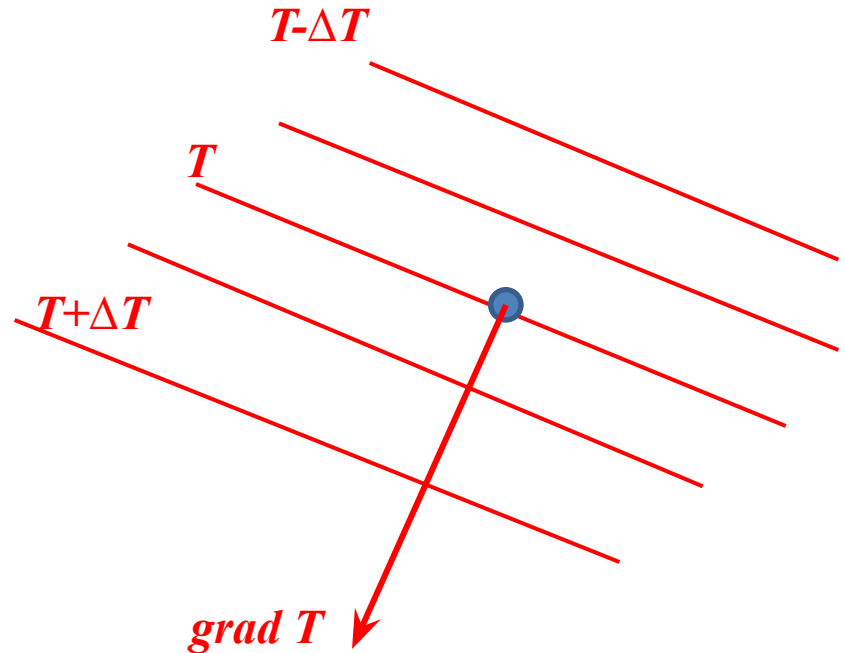
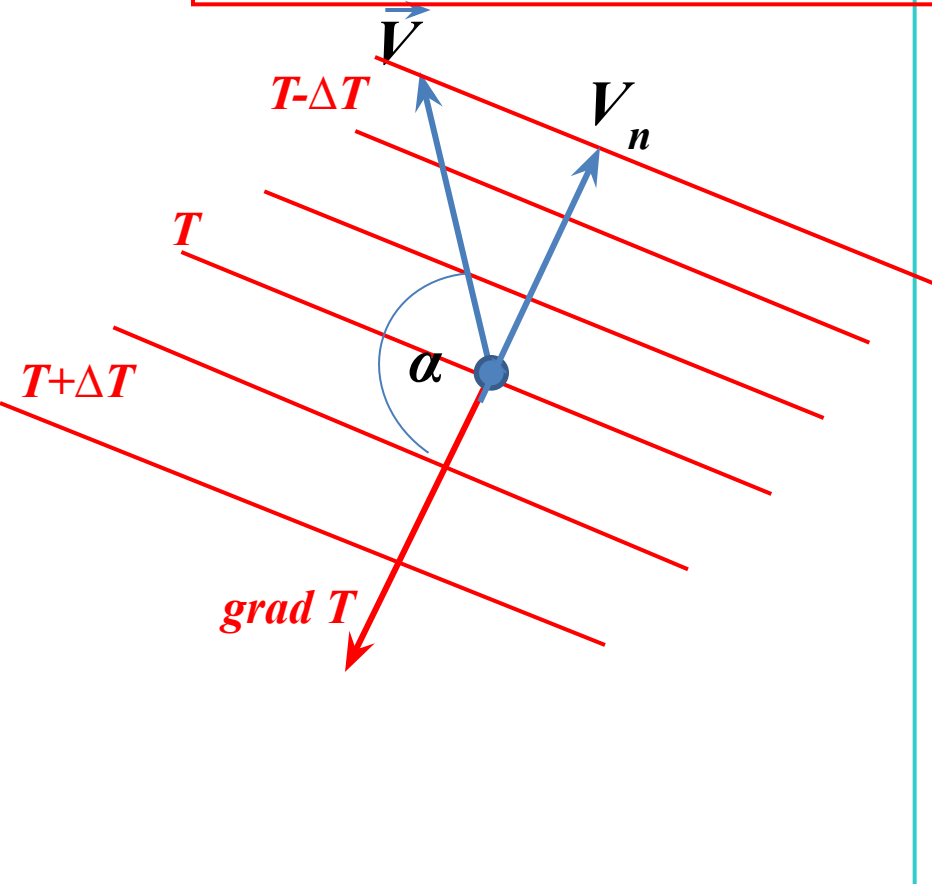
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

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



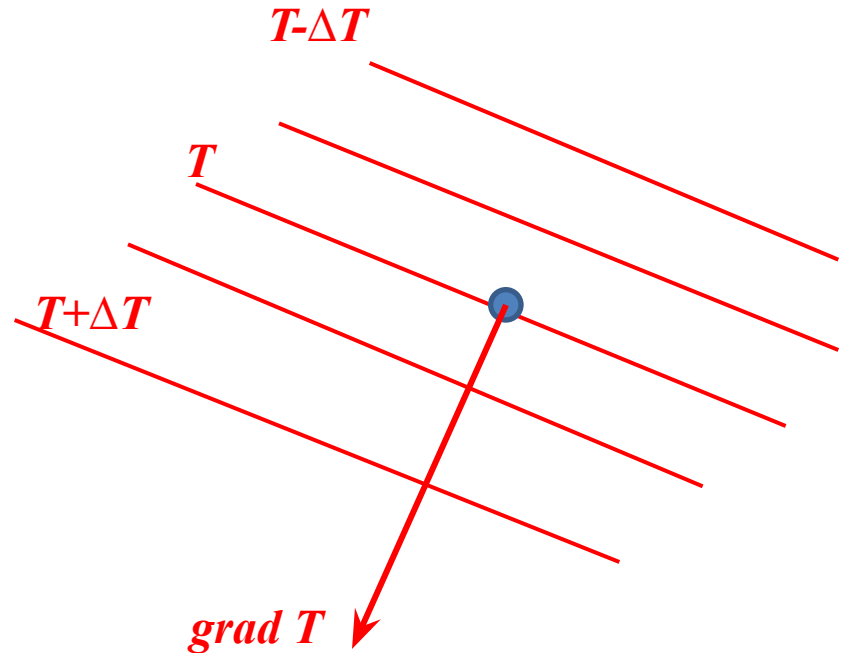
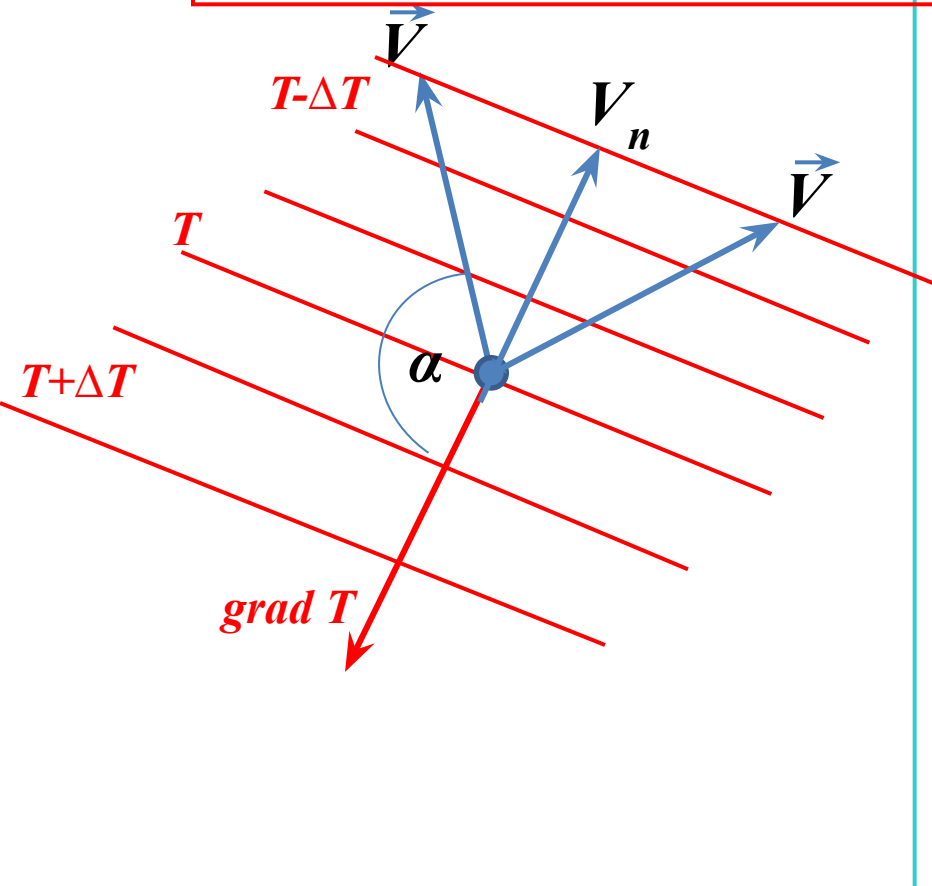
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

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



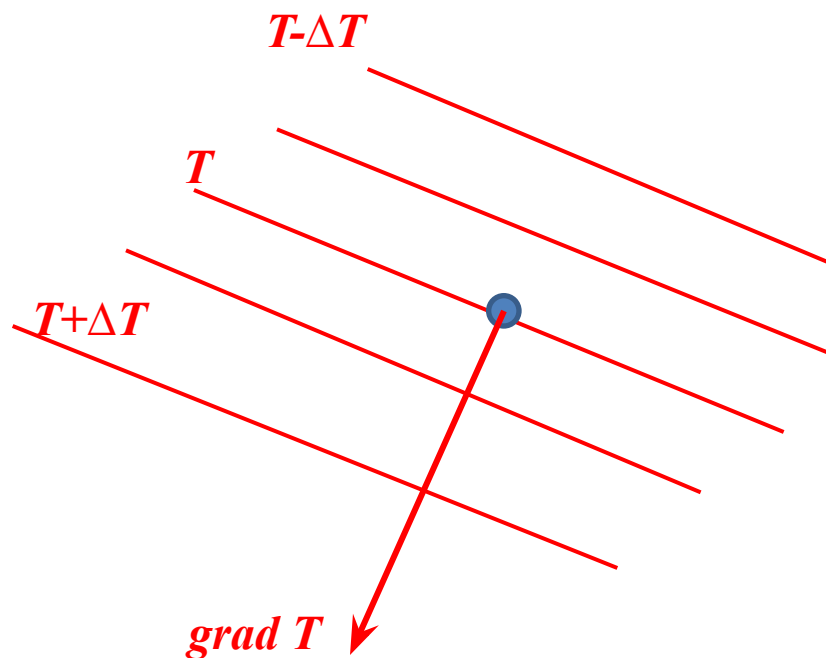
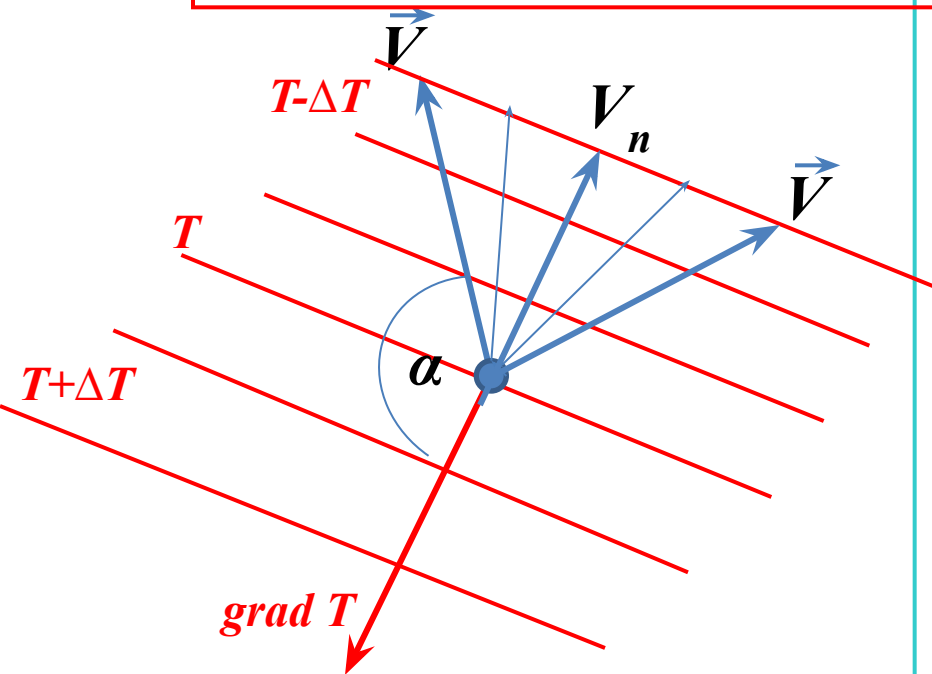
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

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



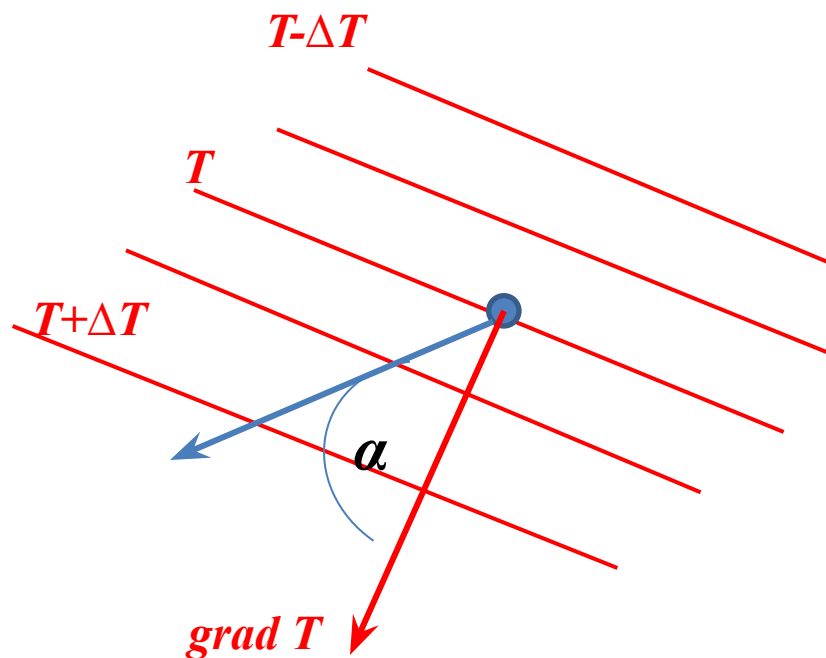
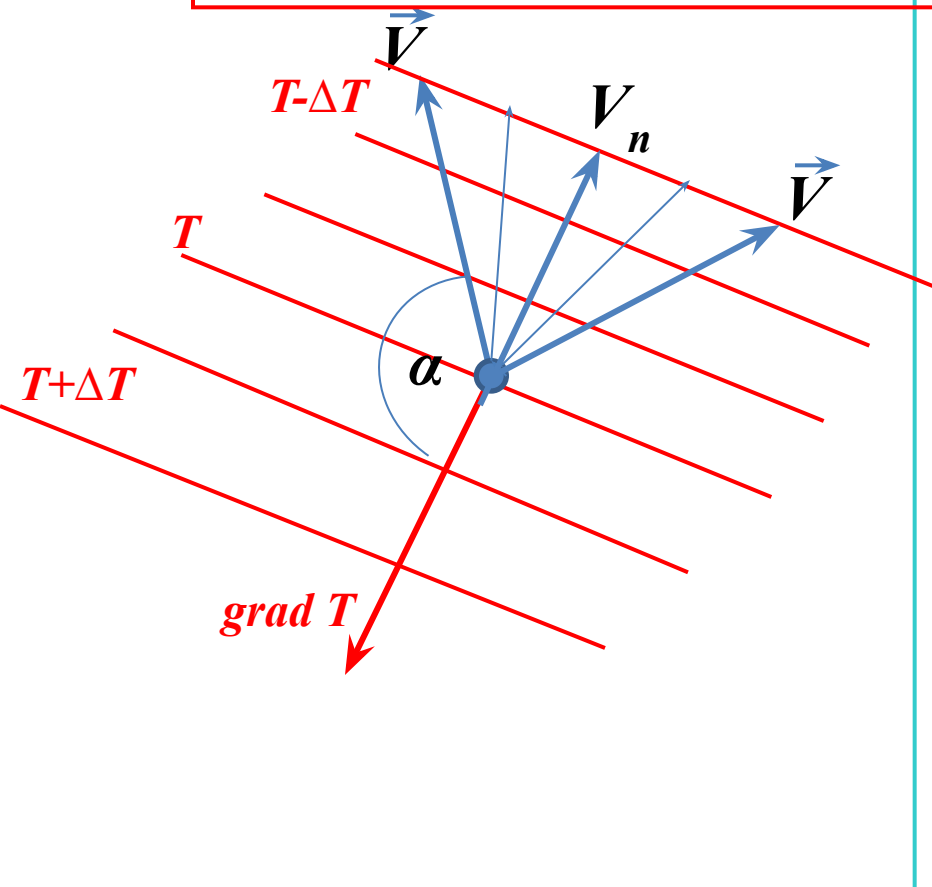
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

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



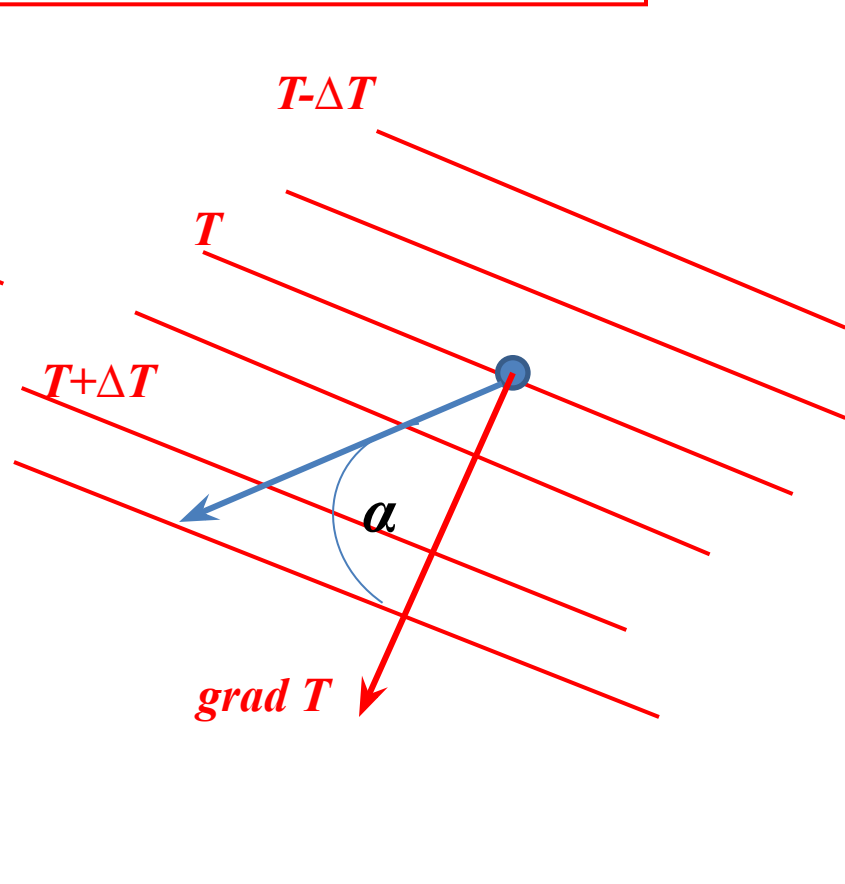
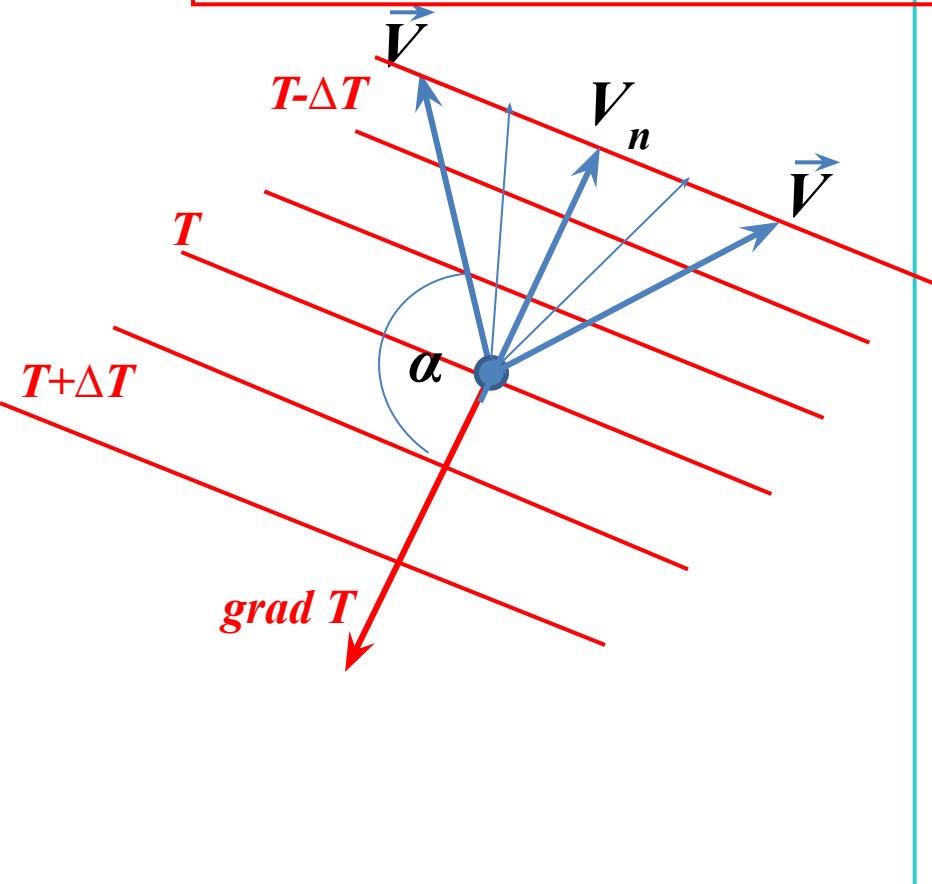
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

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



# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

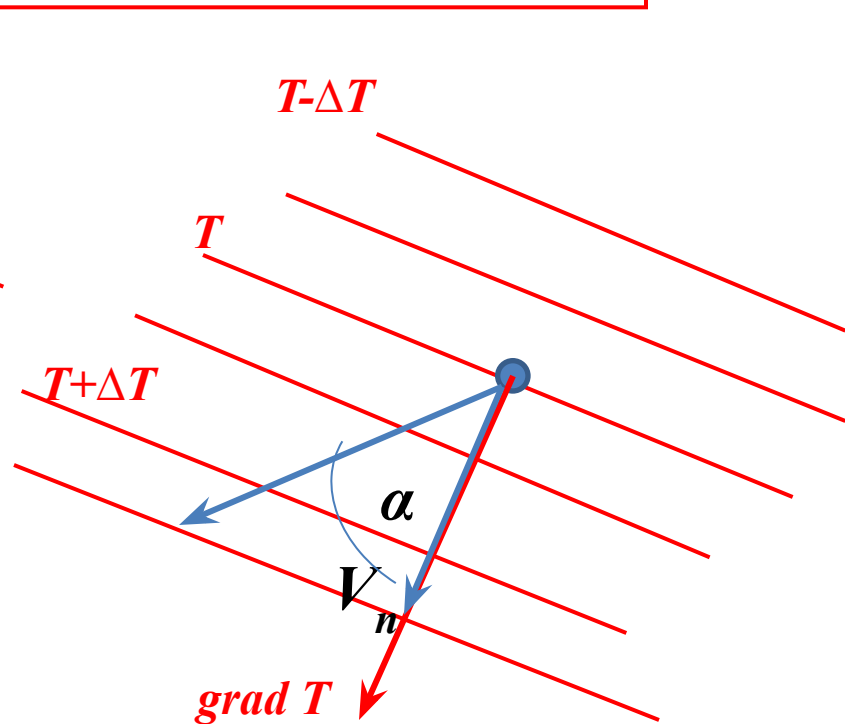
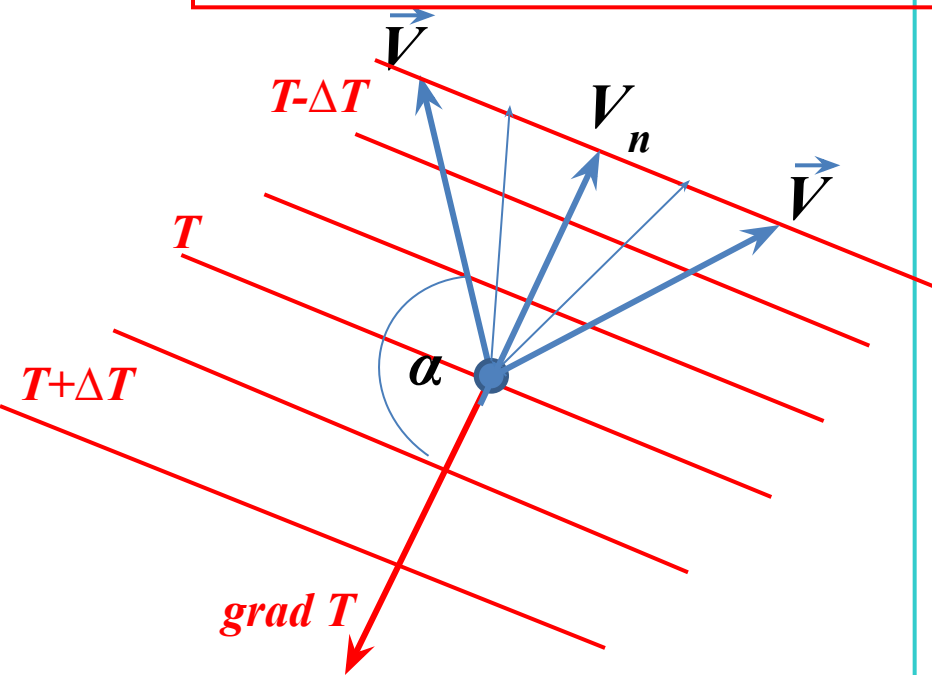
$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adv.} = -grad_s T \cdot \vec{V} = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot (V \cdot \cos \alpha) = -\frac{\partial T}{\partial n} \cdot V_n$$





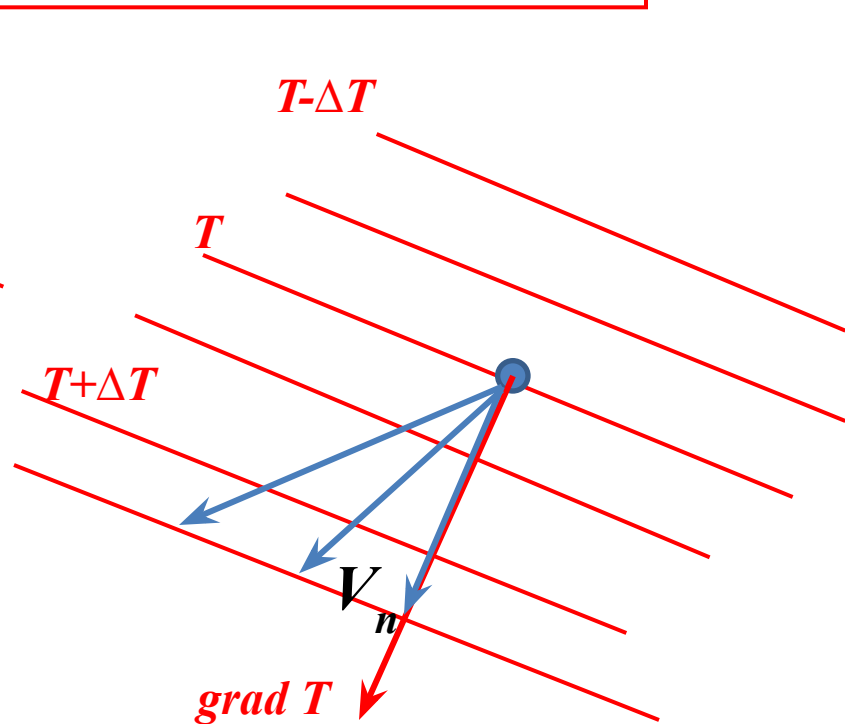
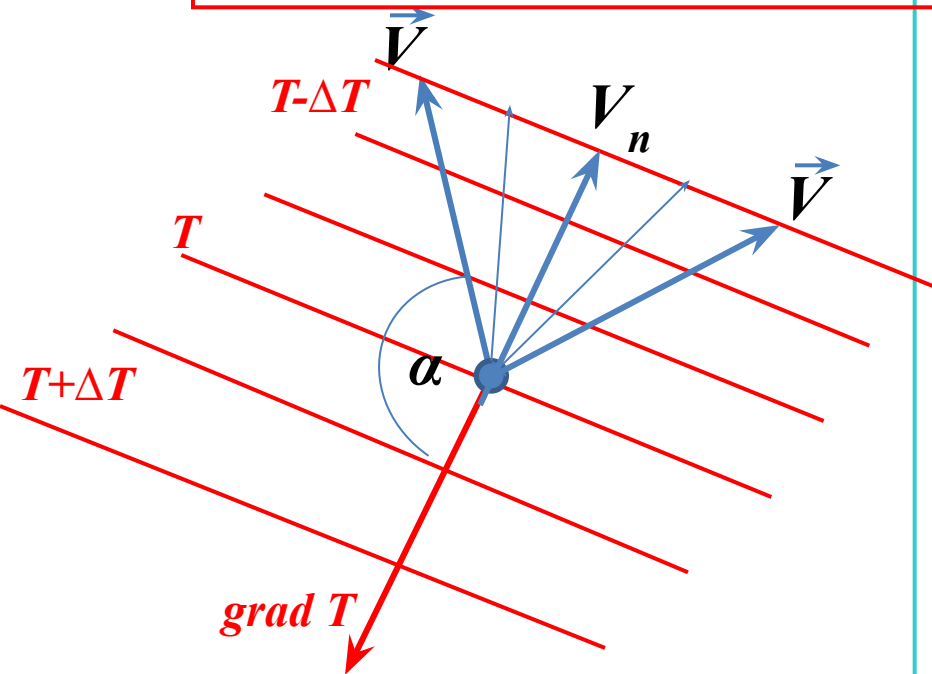
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

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



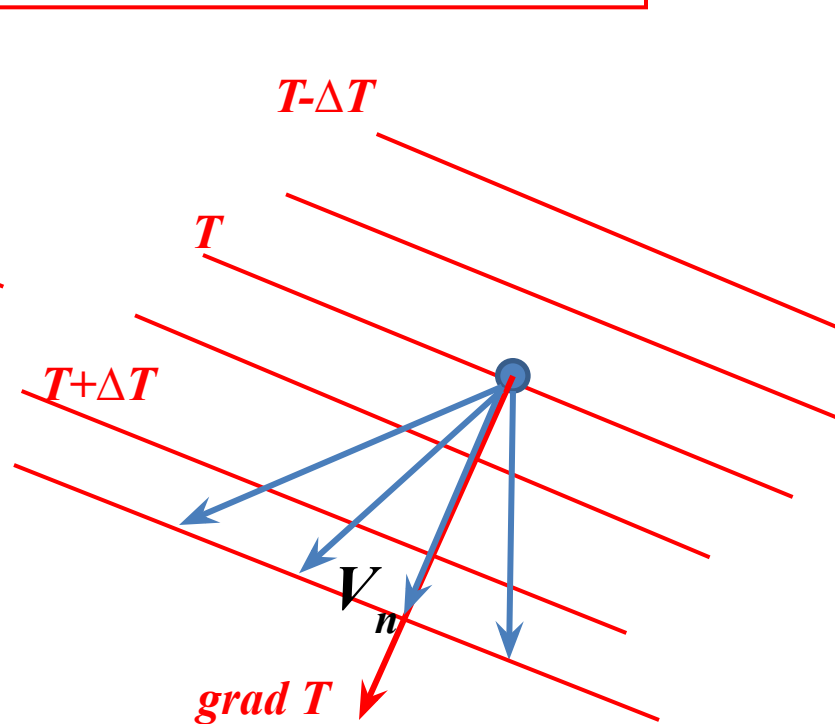
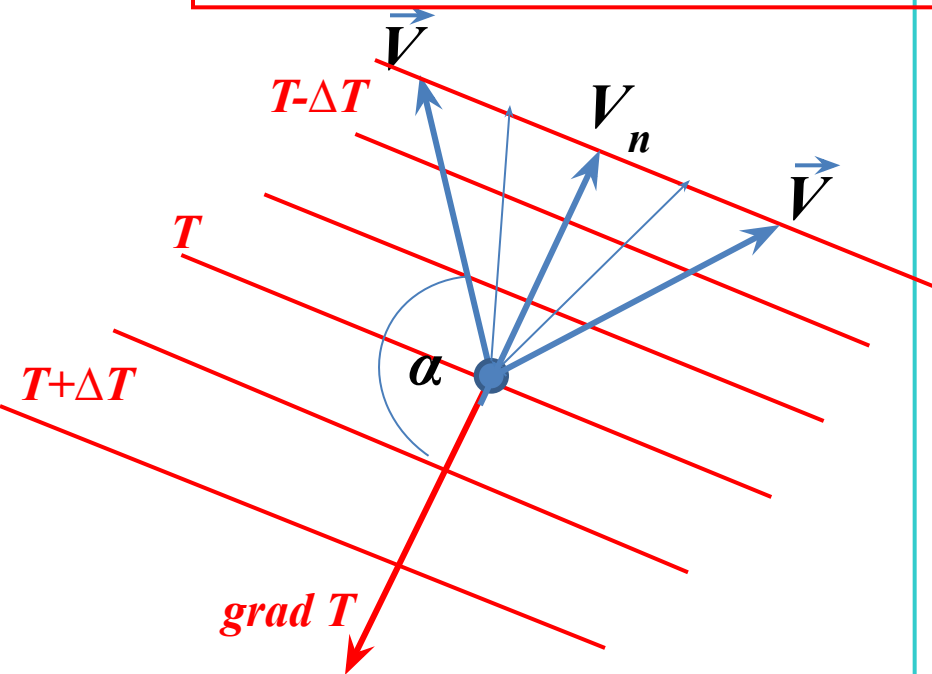
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

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



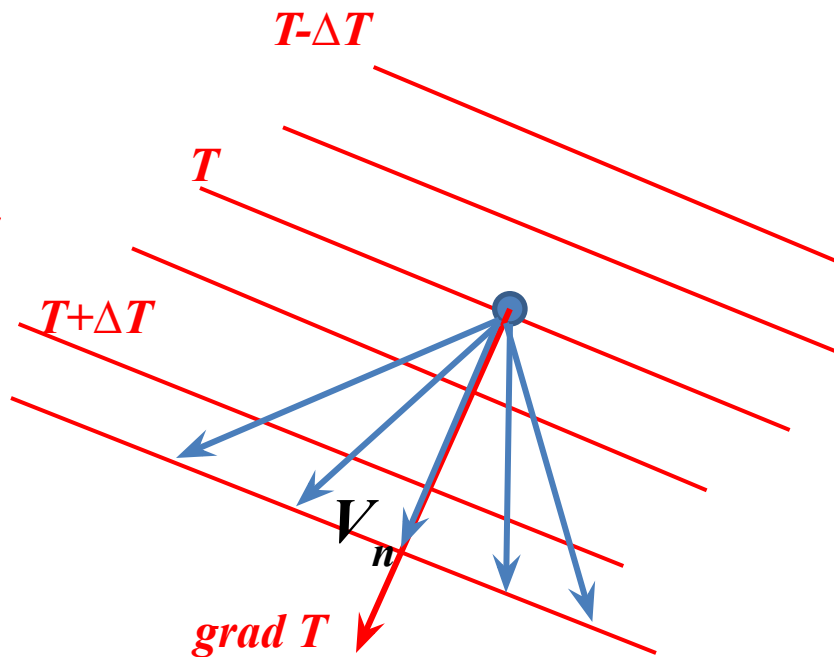
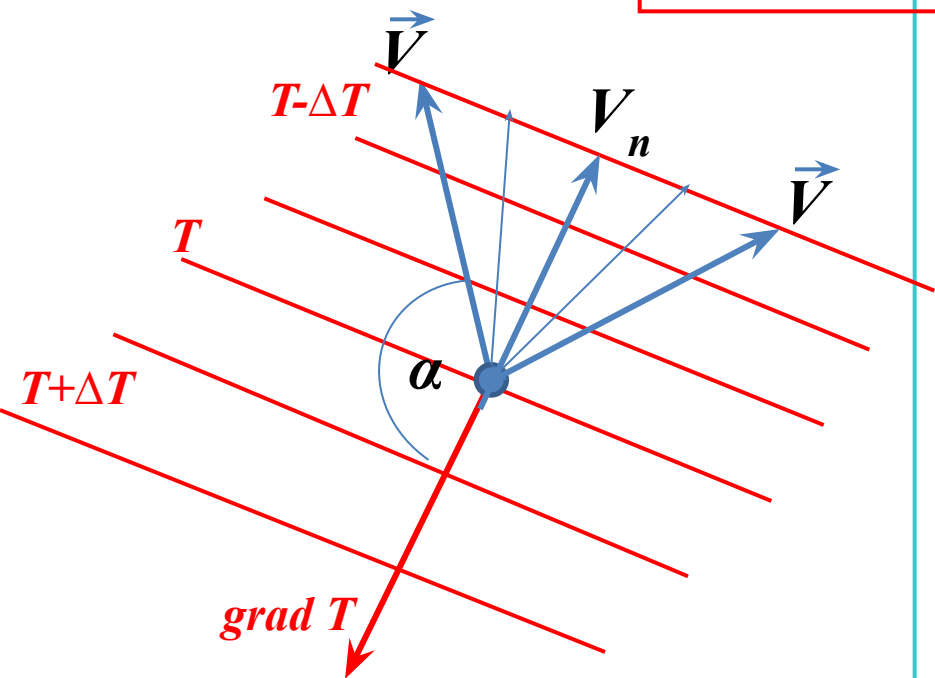
# Анализ примеров адвективных изменений температуры по времени

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



# 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>**