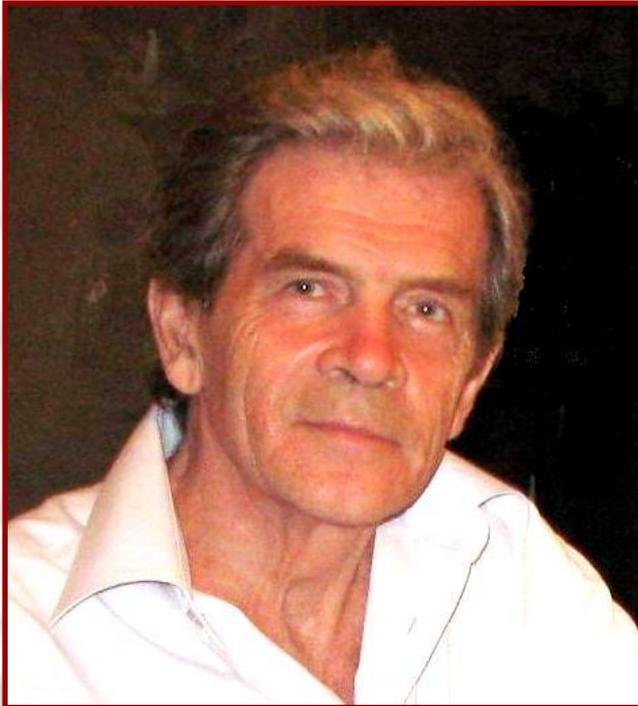




Российский государственный гидрометеорологический университет



## Егоров Кирилл Леонидович

кандидат физико-  
математических наук  
доцент кафедры ЭФА

### Контактная информация:

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)

т. кафедры: (812)444-59-47

**КУРС**  
**«Динамическая метеорология»**

**ТЕМА 3**

**Термический ветер**

**Часть 2**

# Изменение геострофического ветра с высотой

$$p(x, y, z_1) \equiv p_1, \quad p(x, y, z_2) \equiv p_2$$

$$\frac{1}{p_2} \frac{\partial p_2}{\partial x} - \frac{1}{p_1} \frac{\partial p_1}{\partial x} = \frac{g \Delta z}{R \bar{T}^2} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x},$$

$$\frac{1}{p_2} \frac{\partial p_2}{\partial y} - \frac{1}{p_1} \frac{\partial p_1}{\partial y} = \frac{g \Delta z}{R \bar{T}^2} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y},$$

$$\times \frac{1}{2\omega_z R}$$

$$p_1 = \rho_1 R T_1, \quad p_2 = \rho_2 R T_2$$

# Изменение геострофического ветра с высотой

$$\frac{1}{T_2} \frac{1}{2\omega_z \rho_2} \frac{\partial p_2}{\partial x} - \frac{1}{T_1} \frac{1}{2\omega_z \rho_1} \frac{\partial p_1}{\partial x} = \frac{g\Delta z}{2\omega_z \bar{T}^2} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x},$$

$$\frac{1}{T_2} \frac{1}{2\omega_z \rho_2} \frac{\partial p_2}{\partial y} - \frac{1}{T_1} \frac{1}{2\omega_z \rho_1} \frac{\partial p_1}{\partial y} = \frac{g\Delta z}{2\omega_z \bar{T}^2} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y},$$

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

# Изменение геострофического ветра с высотой

$$\frac{1}{T_2} \frac{1}{2\omega_z \rho_2} \frac{\partial p_2}{\partial x} - \frac{1}{T_1} \frac{1}{2\omega_z \rho_1} \frac{\partial p_1}{\partial x} = \frac{g\Delta z}{2\omega_z \bar{T}^2} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x}, \quad | \times \bar{T}$$

$$v_{g2} = \frac{1}{2\omega_z \rho_2} \frac{\partial p_2}{\partial x},$$

$$v_{g1} = \frac{1}{2\omega_z \rho_1} \frac{\partial p_1}{\partial x}$$

$$\frac{\bar{T}}{T_2} v_{g2} - \frac{\bar{T}}{T_1} v_{g1} = \frac{g\Delta z}{2\omega_z \bar{T}} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x},$$

$$\frac{\bar{T}}{T_2} \approx 1, \quad \frac{\bar{T}}{T_1} \approx 1$$

$$v_{g2} - v_{g1} = \frac{g\Delta z}{2\omega_z \bar{T}} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x}$$

# Изменение геострофического ветра с высотой

$$\frac{1}{T_2} \frac{1}{2\omega_z \rho_2} \frac{\partial p_2}{\partial y} - \frac{1}{T_1} \frac{1}{2\omega_z \rho_1} \frac{\partial p_1}{\partial y} = \frac{g\Delta z}{2\omega_z \bar{T}^2} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y}, \quad | \times \bar{T}$$

$$-u_{g2} = \frac{1}{2\omega_z \rho_2} \frac{\partial p_2}{\partial y}, \quad -u_{g1} = \frac{1}{2\omega_z \rho_1} \frac{\partial p_1}{\partial y}$$

$$\frac{\bar{T}}{T_2} u_{g2} - \frac{\bar{T}}{T_1} u_{g1} = -\frac{g\Delta z}{2\omega_z \bar{T}} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y}, \quad \frac{\bar{T}}{T_2} \approx 1, \quad \frac{\bar{T}}{T_1} \approx 1$$

$$u_{g2} - u_{g1} = -\frac{g\Delta z}{2\omega_z \bar{T}} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y}$$

# Определение термического ветра

$$u_{g2} - u_{g1} = -\frac{g\Delta z}{2\omega_z \bar{T}} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y},$$

$$v_{g2} - v_{g1} = \frac{g\Delta z}{2\omega_z \bar{T}} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x},$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta u_g &\equiv u_{g2} - u_{g1} \\ \Delta v_g &\equiv v_{g2} - v_{g1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Delta \overset{\nabla}{V}_g = \overset{\nabla}{V}_{g2} - \overset{\nabla}{V}_{g1}$$

$$\overset{\nabla}{V}_T \equiv \Delta \overset{\nabla}{V}_g = \overset{\nabla}{V}_{g2} - \overset{\nabla}{V}_{g1}$$

# Определение термического ветра

$$\overline{V}_T = \overline{i} \cdot \overline{u}_T + \overline{j} \cdot \overline{v}_T$$

$$\overline{u}_T \equiv \Delta \overline{u}_g = \overline{u}_{g2} - \overline{u}_{g1}, \quad \overline{v}_T \equiv \Delta \overline{v}_g = \overline{v}_{g2} - \overline{v}_{g1}$$

$$\overline{u}_T = -\frac{g\Delta z}{2\omega_z \overline{T}} \frac{\partial \overline{T}}{\partial y},$$

$$\overline{v}_T = \frac{g\Delta z}{2\omega_z \overline{T}} \frac{\partial \overline{T}}{\partial x},$$

$$|\overline{V}_T| \equiv \overline{V}_T = \frac{g\Delta z}{2\omega_z \overline{T}} \frac{\partial \overline{T}}{\partial n},$$

$$\frac{\partial \overline{T}}{\partial n} \equiv |\text{grad}_s \overline{T}|$$

# Направление термического ветра

$$\vec{V}_T = i \cdot u_T + j \cdot v_T, \quad \text{grad}_s \bar{T} = i \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + j \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial y}$$

$$\vec{V}_T \cdot \text{grad}_s \bar{T} = u_T \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + v_T \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} =$$

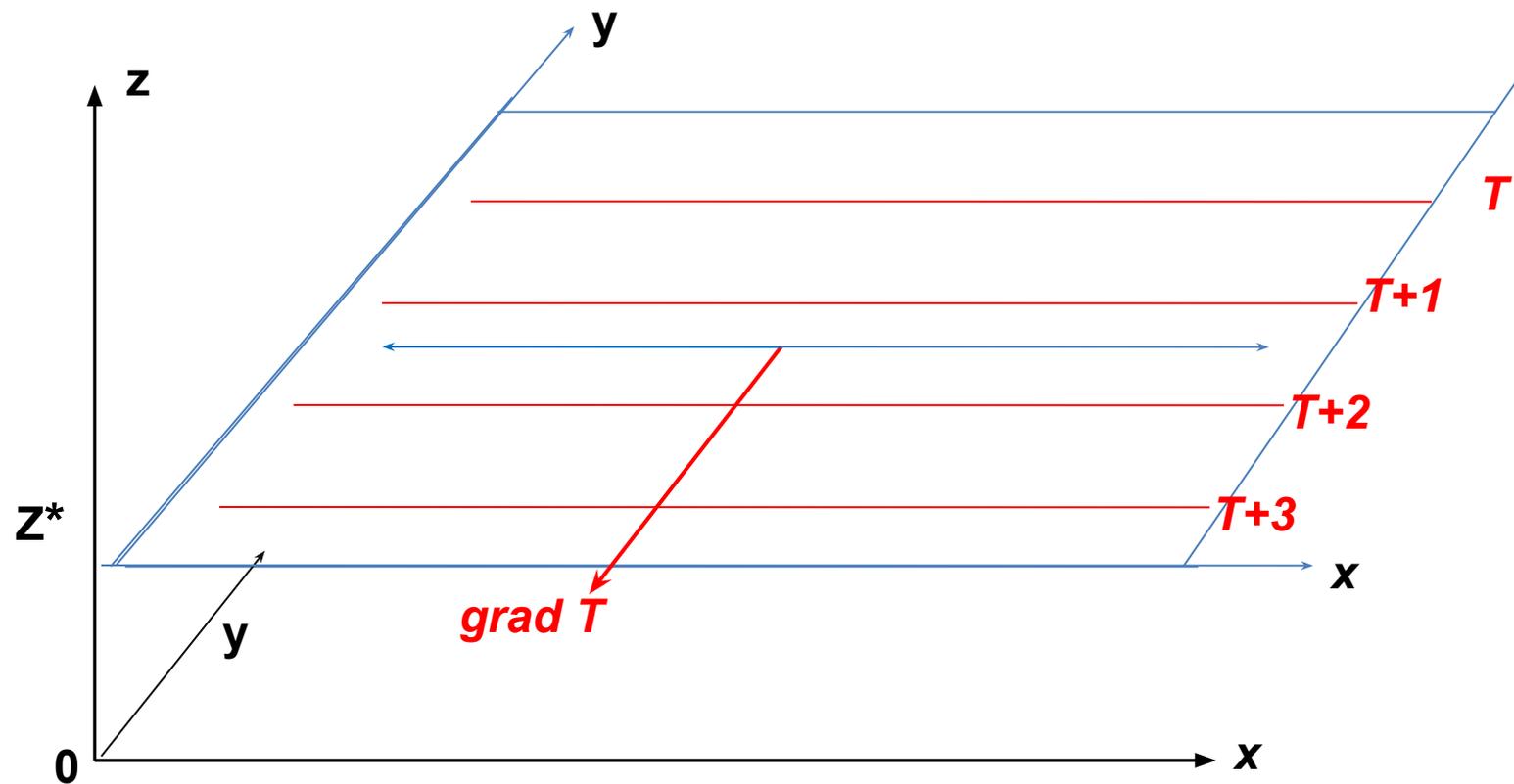
$$= \frac{g \Delta z}{2 \omega_z \bar{T}} \left( - \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} \right) = 0$$

$$\vec{V}_T \perp \text{grad}_s \bar{T}$$

# Направление термического ветра

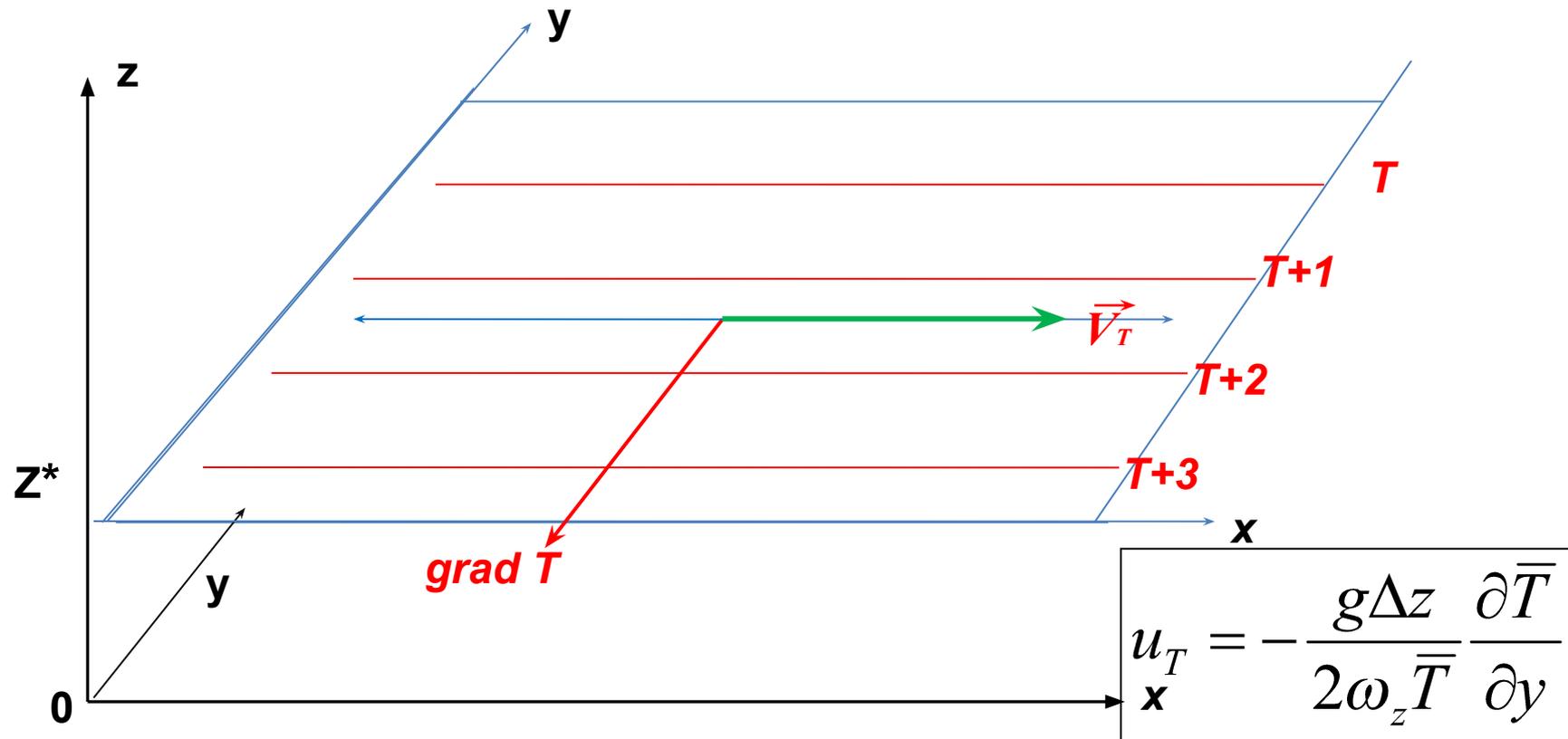
- **Термический ветер** (или вектор разности векторов геострофического ветра на двух высотах) направлен параллельно изотермам так, что **в северном полушарии** слева располагается область более низких температур.
- **В южном полушарии** направление противоположно.

# Термический ветер в трехмерном пространстве



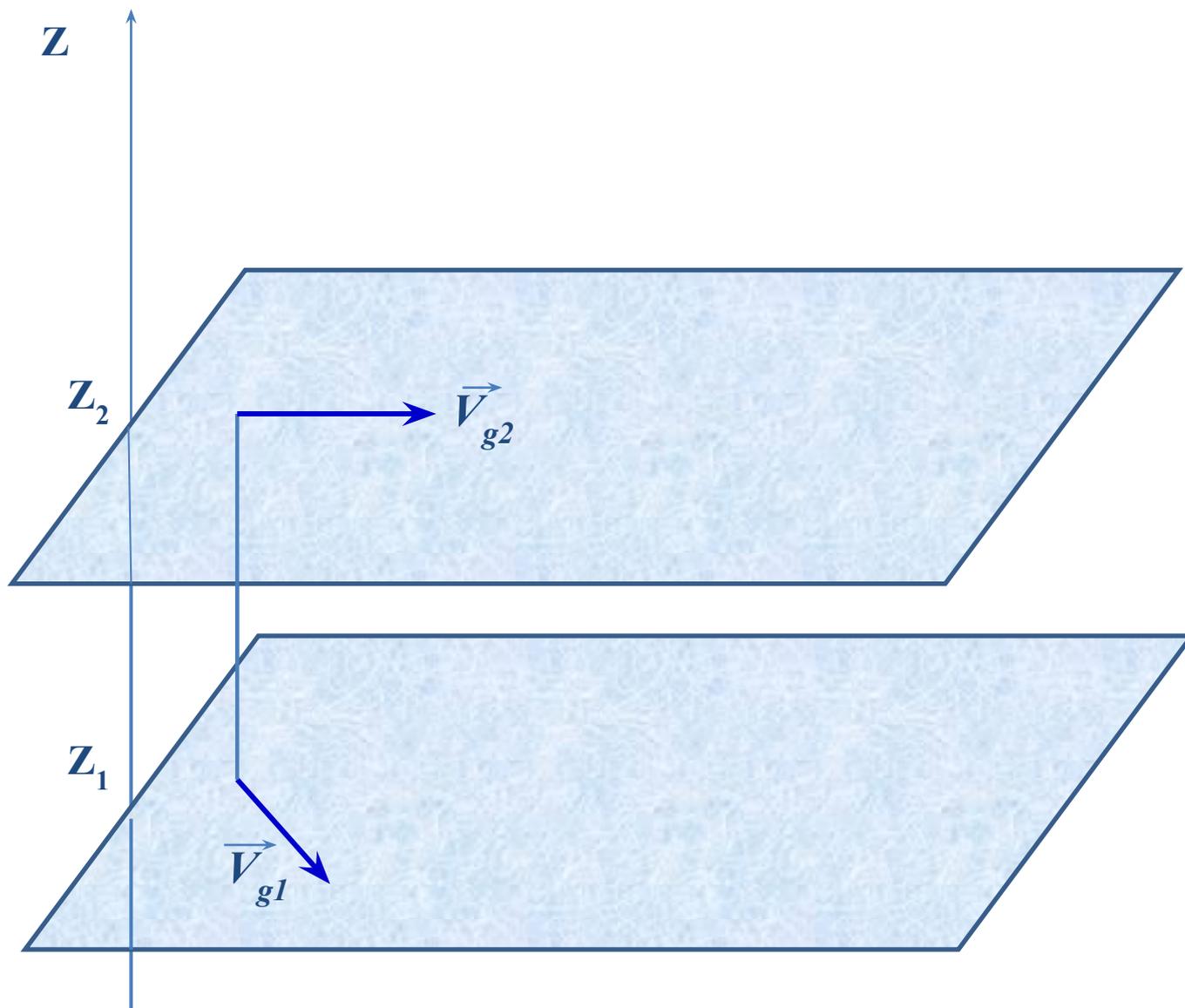
$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial x} = 0 \rightarrow v_T = 0, \quad \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} < 0, \quad \text{С.П.: } \omega_z > 0 \rightarrow u_T > 0$$

# Термический ветер в трехмерном пространстве

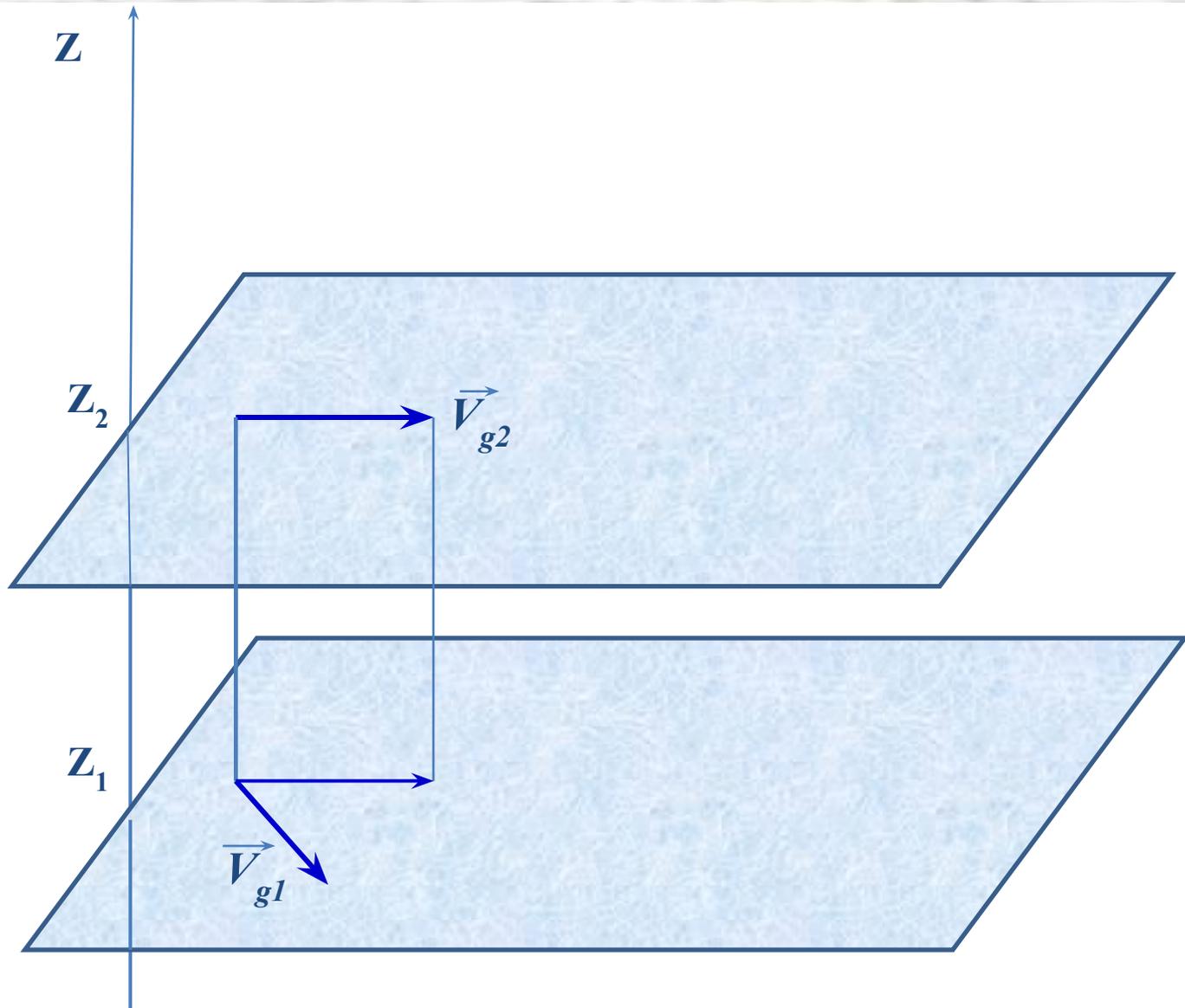


$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial x} = 0 \rightarrow v_T = 0, \quad \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} < 0, \quad \text{С.П.: } \omega_z > 0 \rightarrow u_T > 0$$

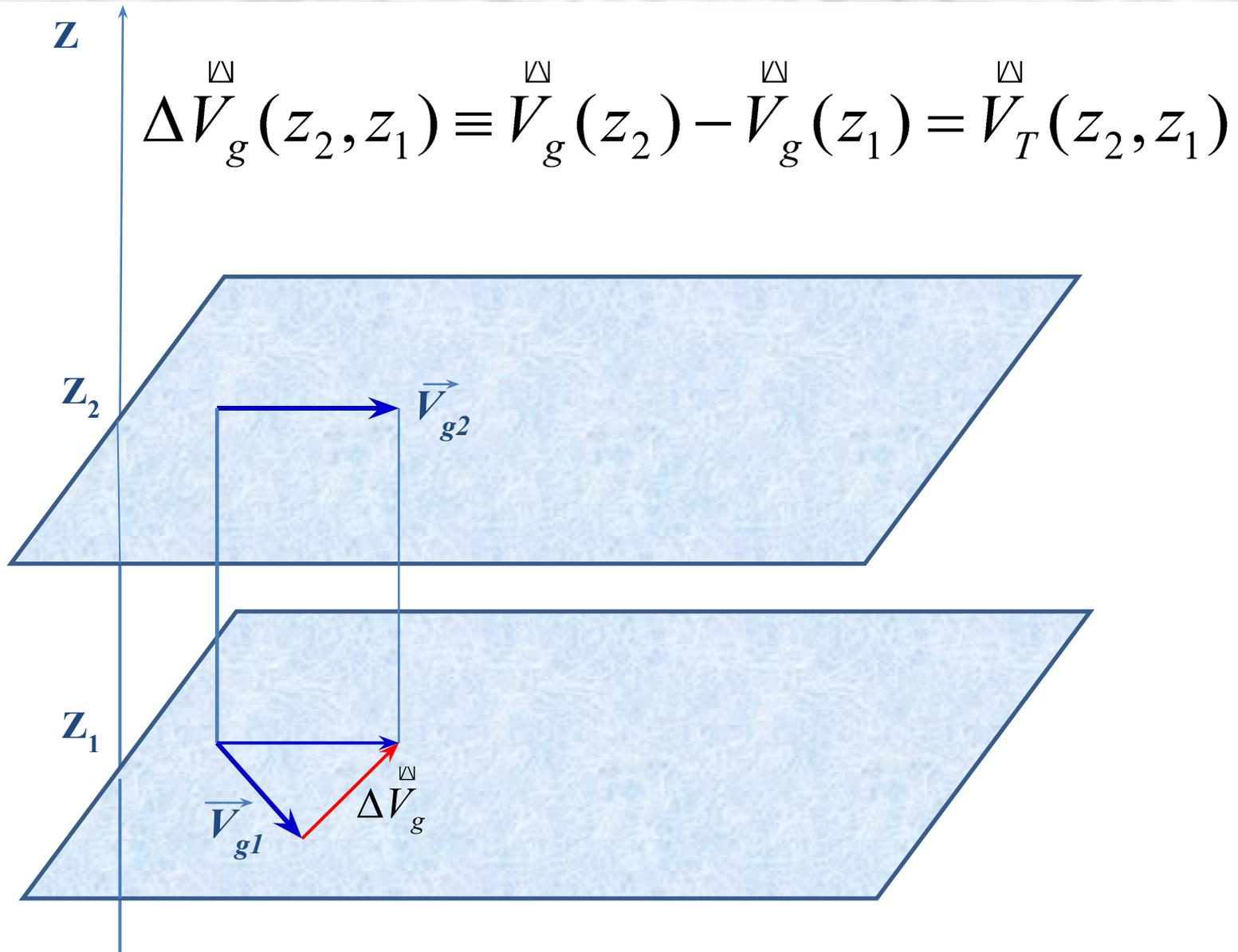
# Изменение геострофического ветра с высотой



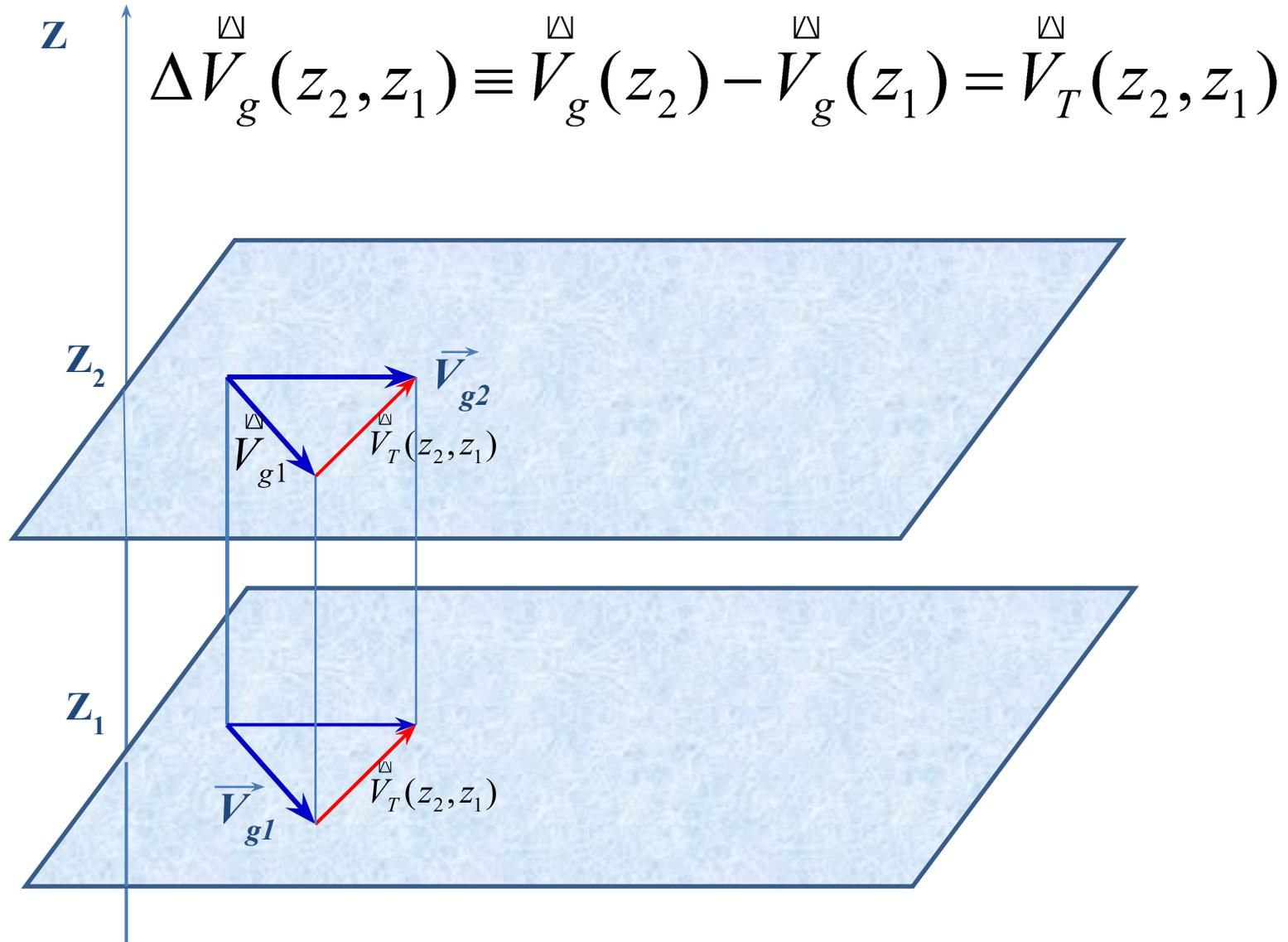
# Изменение геострофического ветра с высотой



# Изменение геострофического ветра с высотой



# Изменение геострофического ветра с высотой

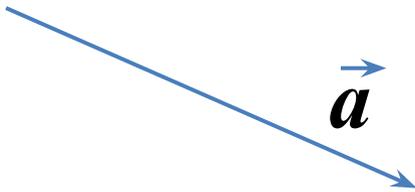


# Построение геострофического ветра на более высоких уровнях

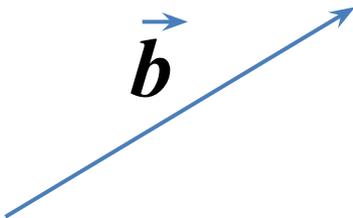
$$\Delta \overset{\nabla}{V}_g(z_2, z_1) \equiv \overset{\nabla}{V}_g(z_2) - \overset{\nabla}{V}_g(z_1) = \overset{\nabla}{V}_T(z_2, z_1)$$

$$\overset{\nabla}{V}_g(z_2) = \overset{\nabla}{V}_g(z_1) + \overset{\nabla}{V}_T(z_2, z_1)$$

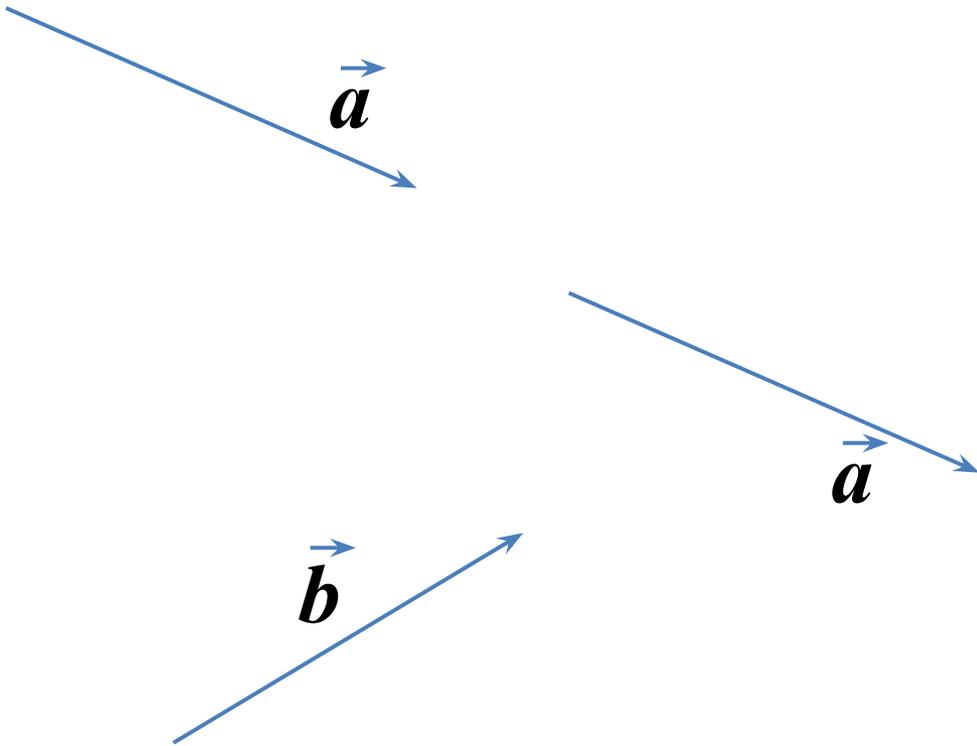
# Сложение векторов



$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}, \quad ??$$

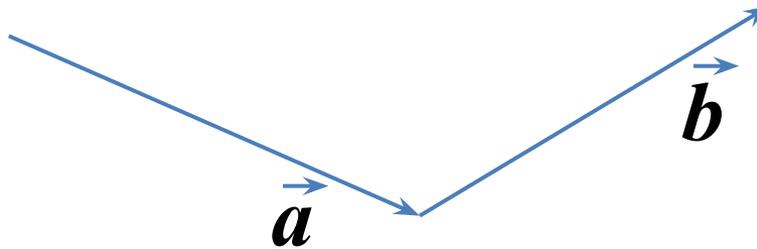
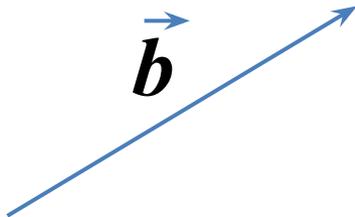
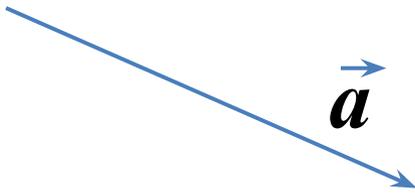


# Сложение векторов



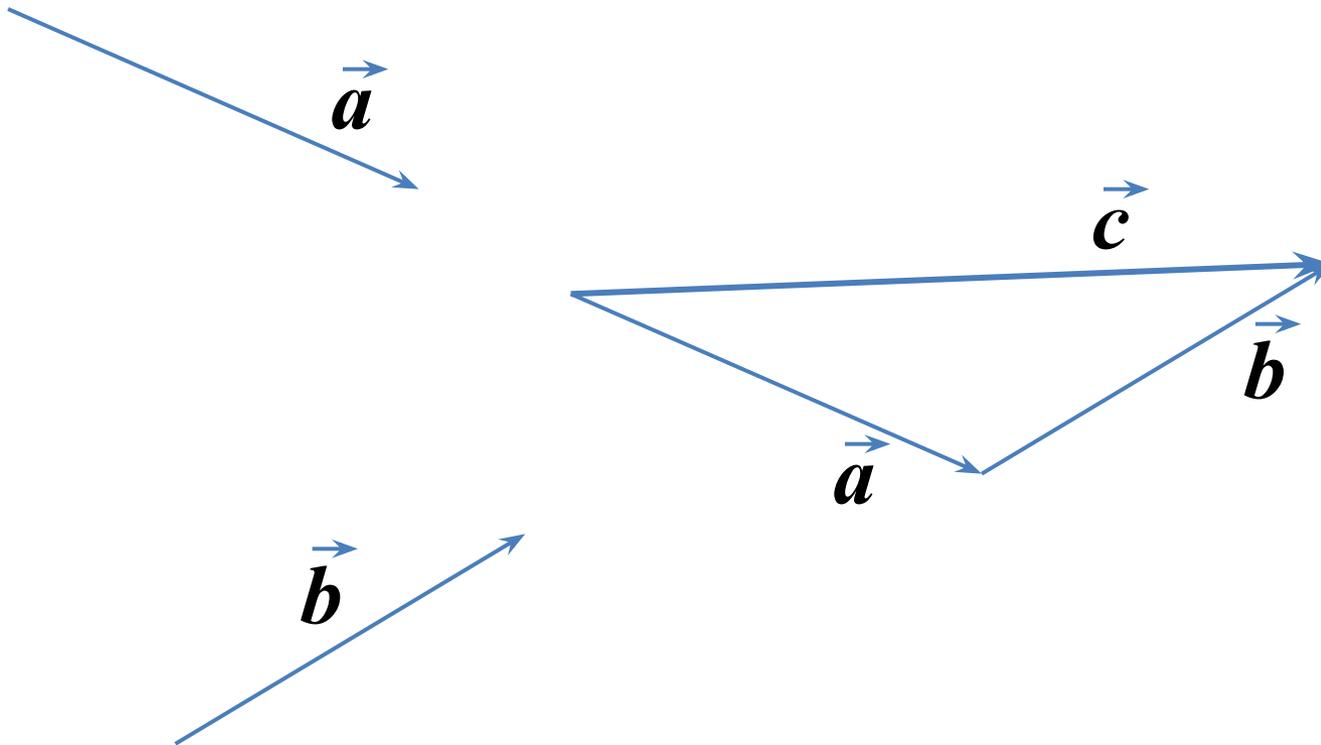
$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$$

# Сложение векторов



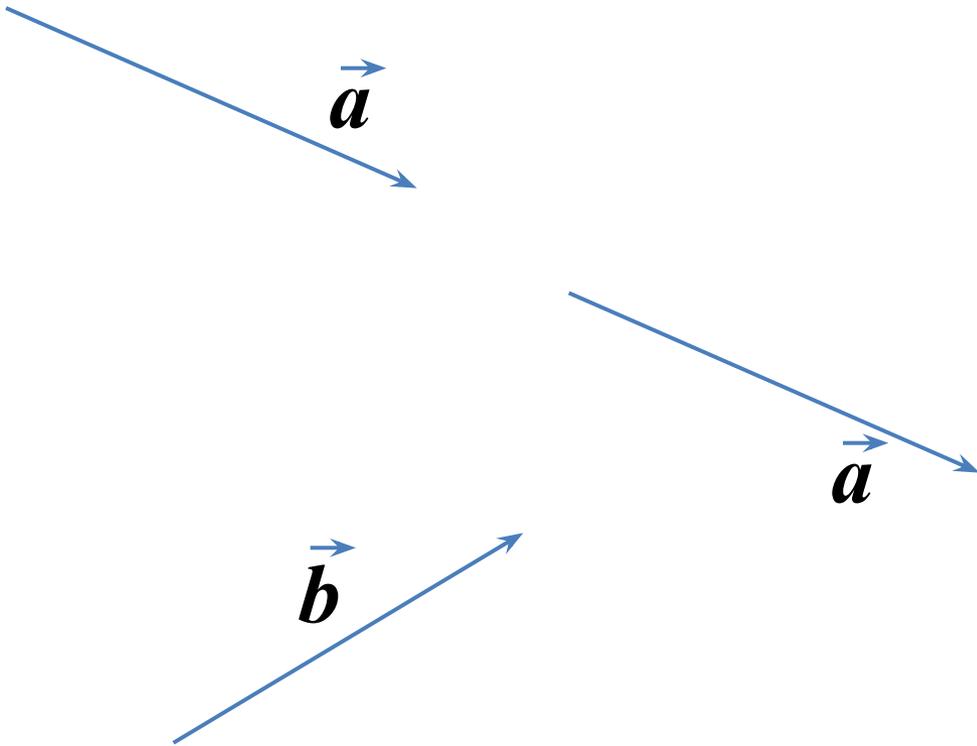
$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$$

# Сложение векторов

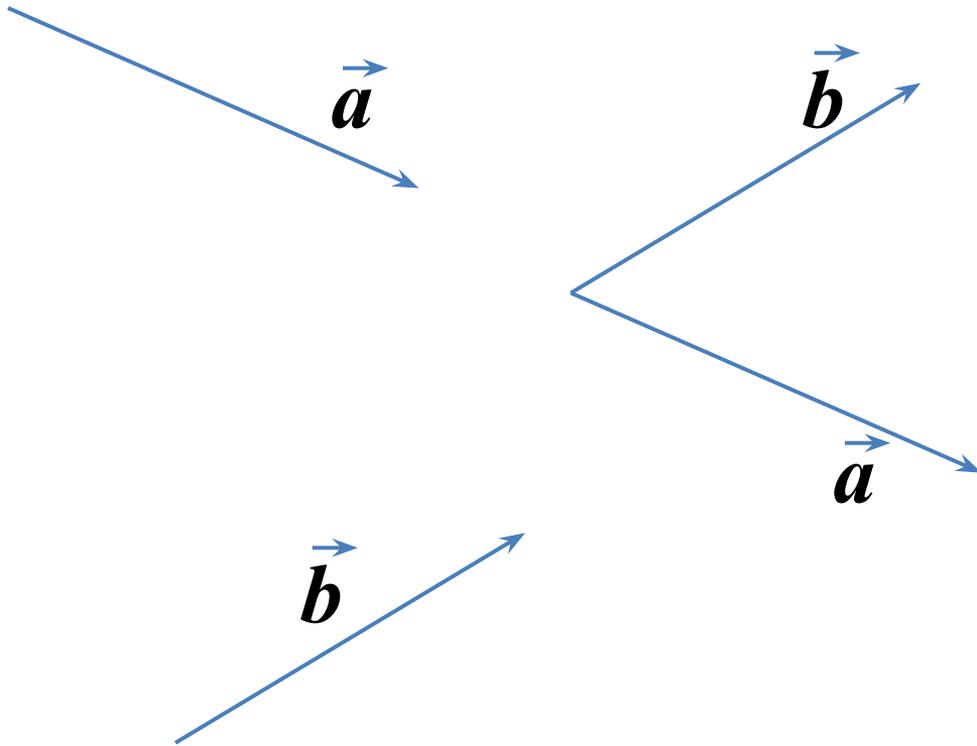


$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$$

# Сложение векторов

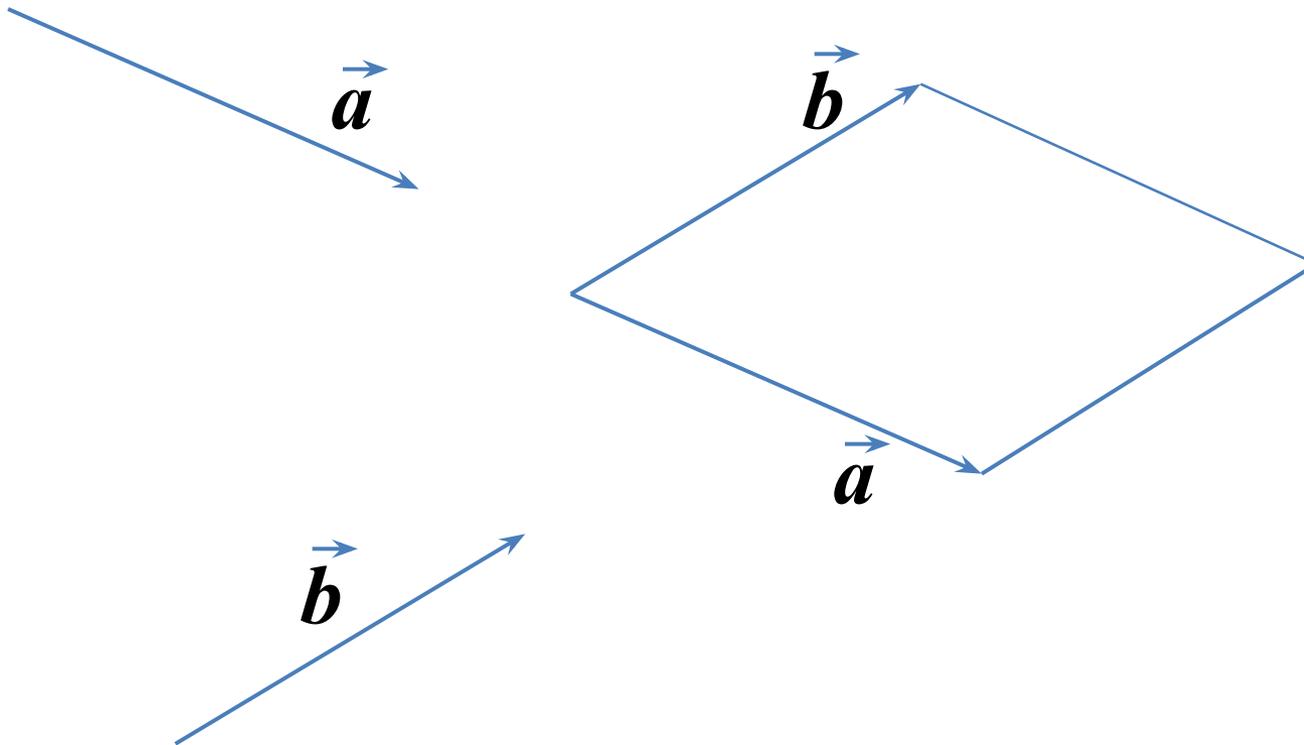


# Сложение векторов



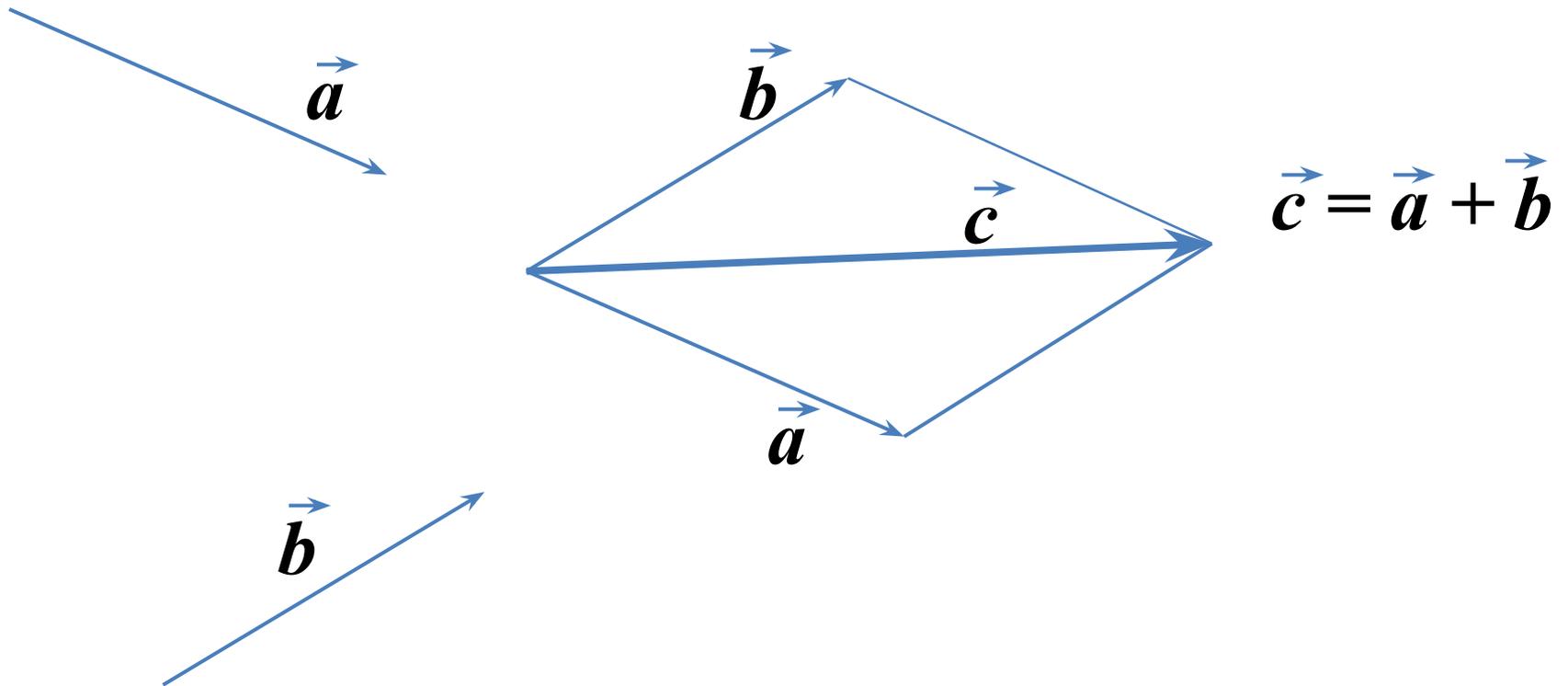
$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}, ?$$

# Сложение векторов

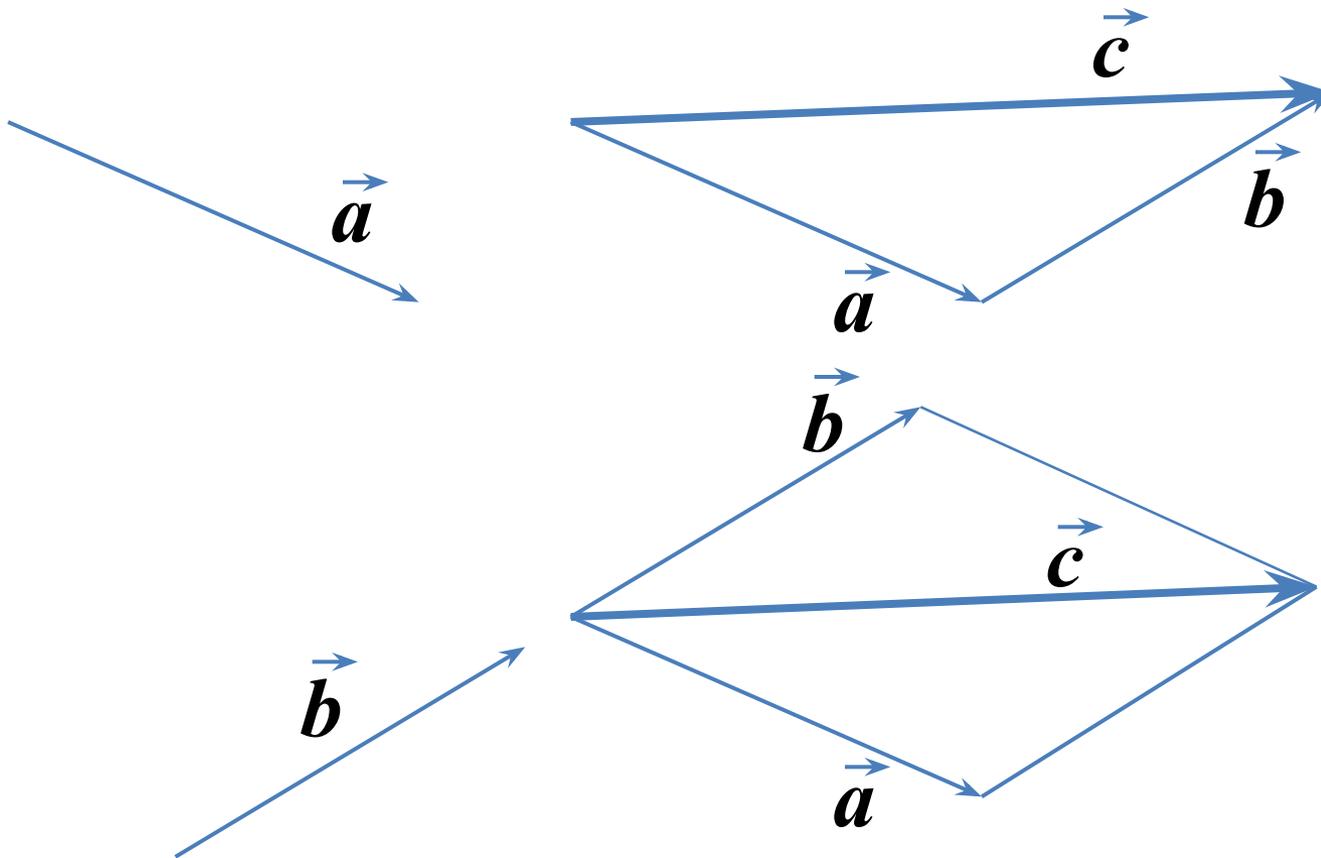


$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}, ?$$

# Сложение векторов

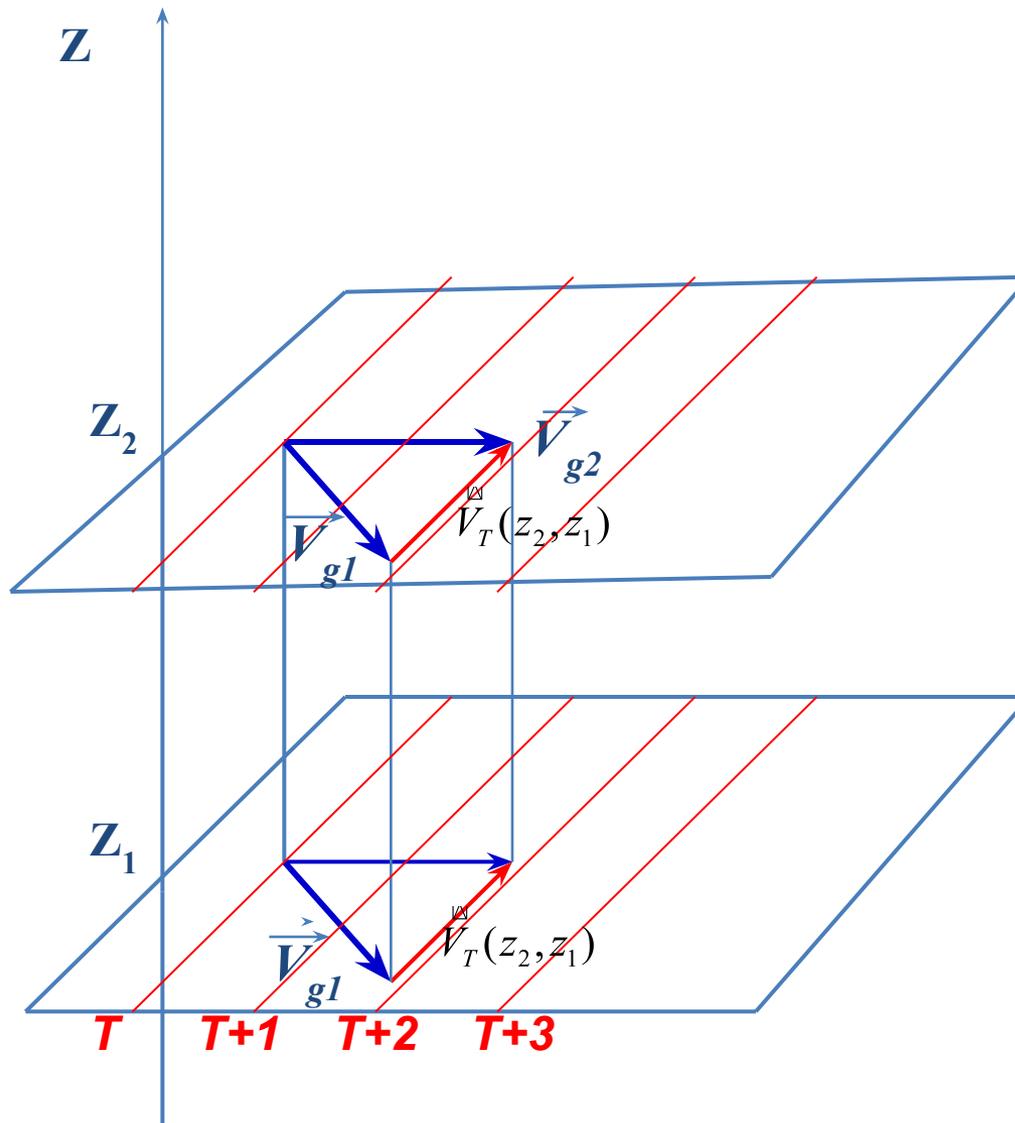


# Сложение векторов

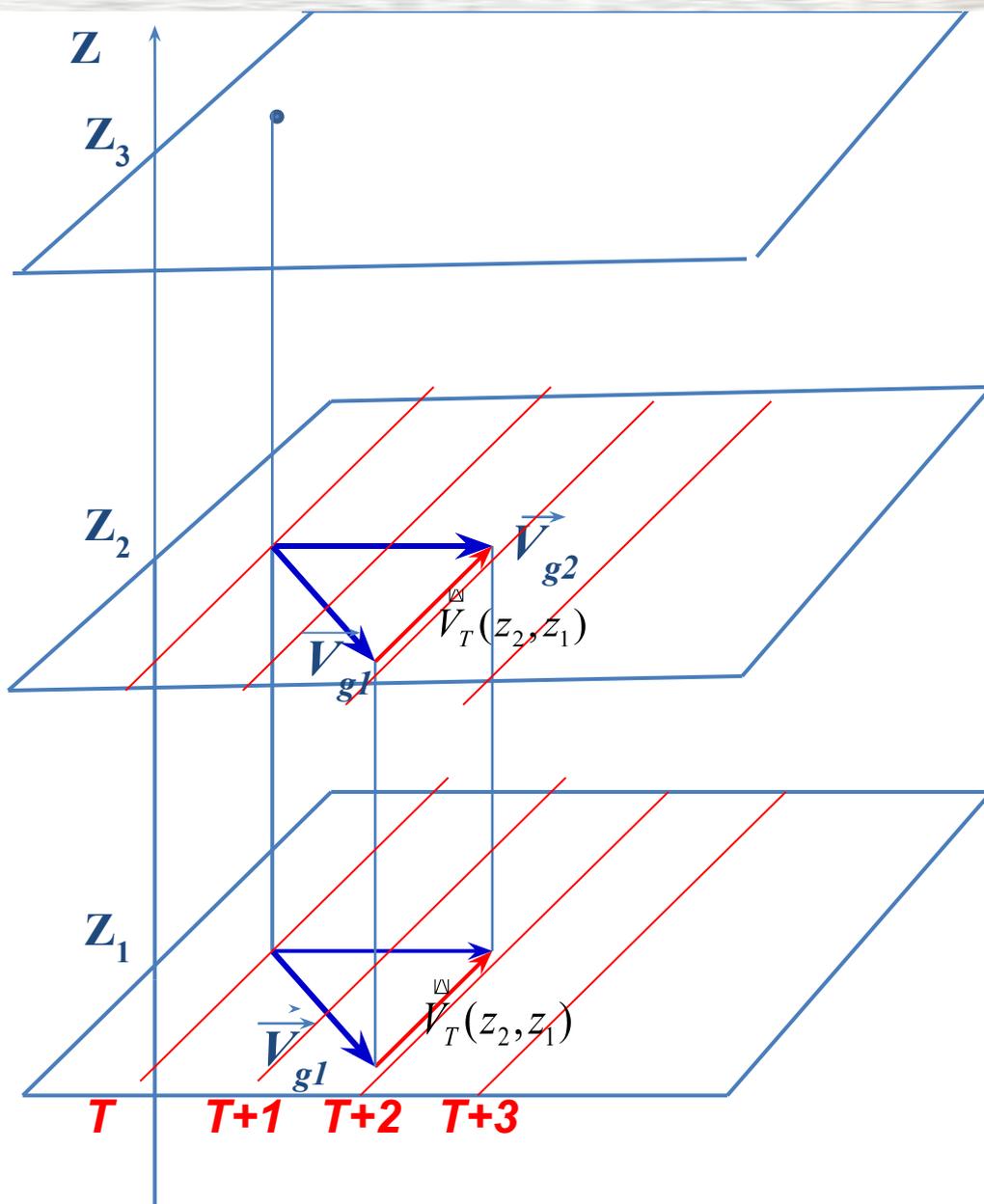


$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$$

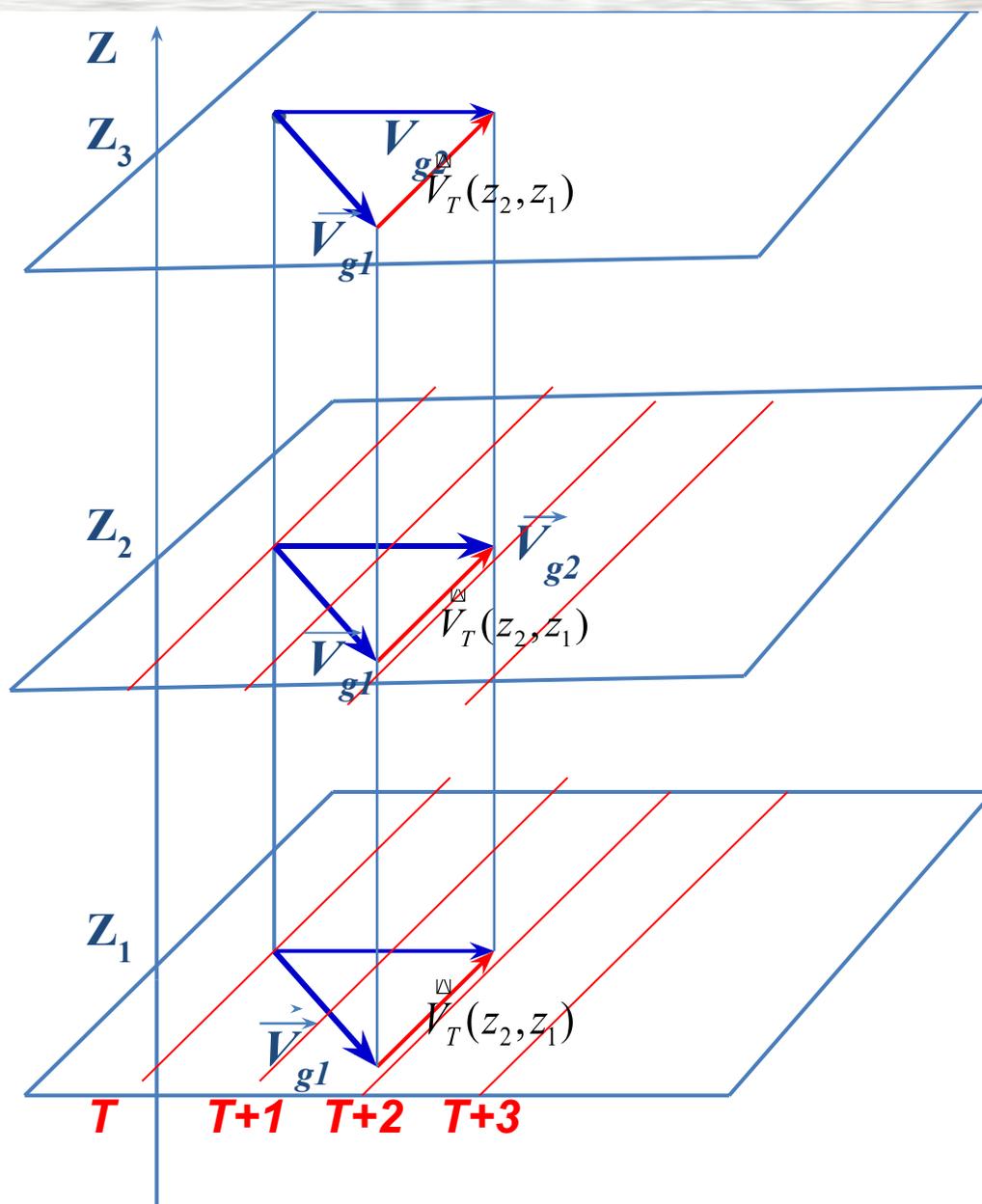
# Изменение геострофического ветра с высотой



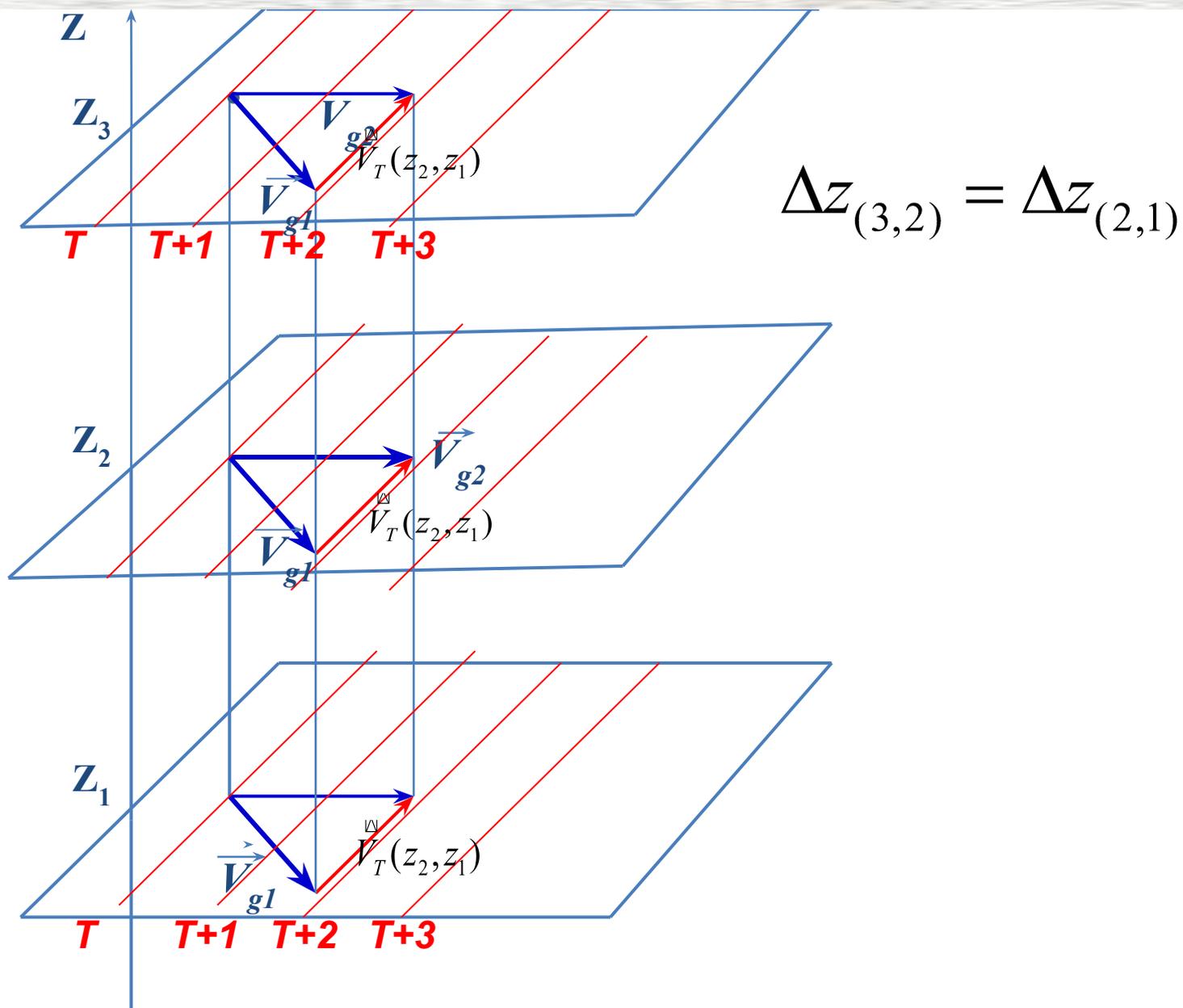
# Изменение геострофического ветра с высотой



# Изменение геострофического ветра с высотой



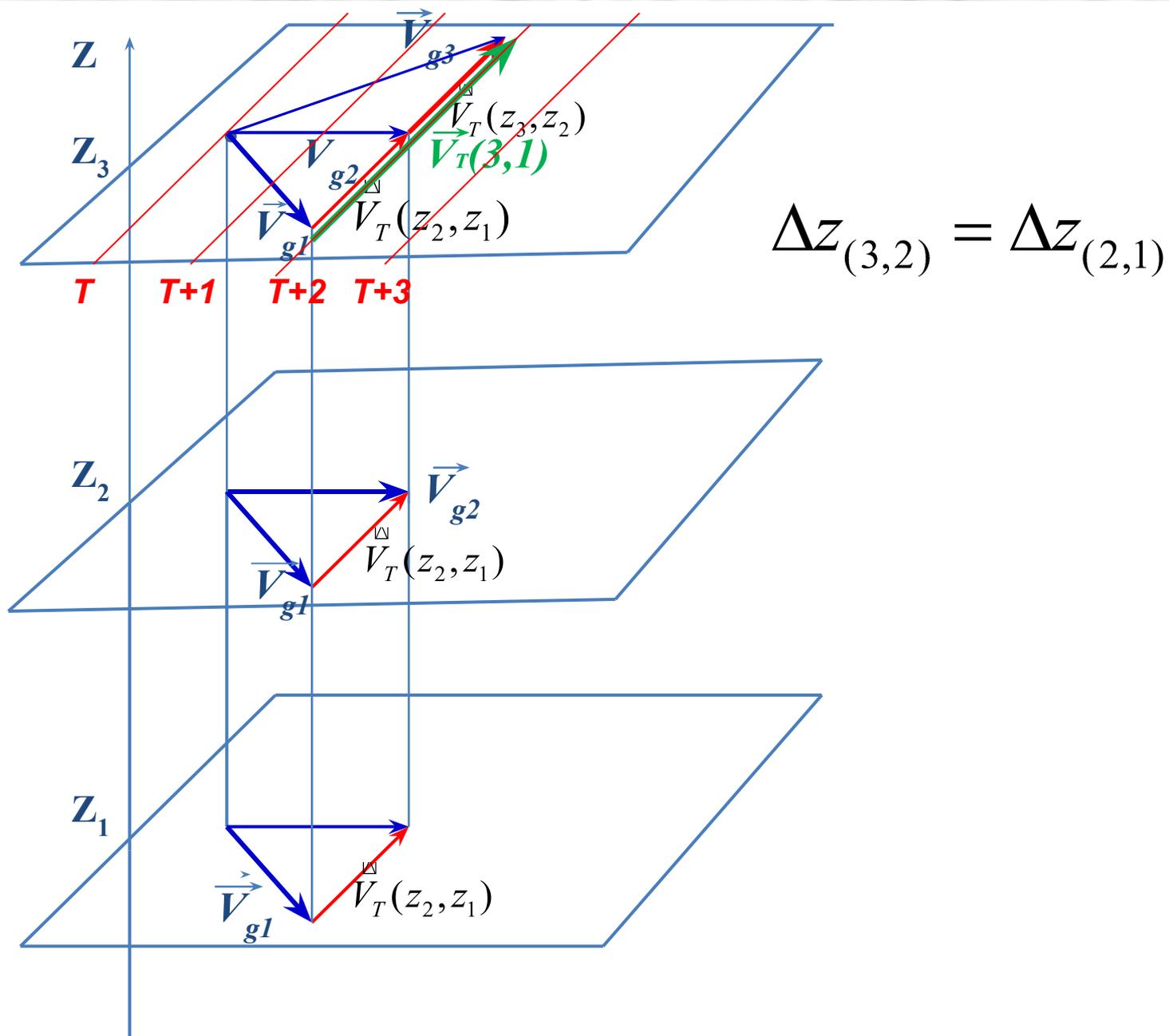
# Изменение геострофического ветра с высотой



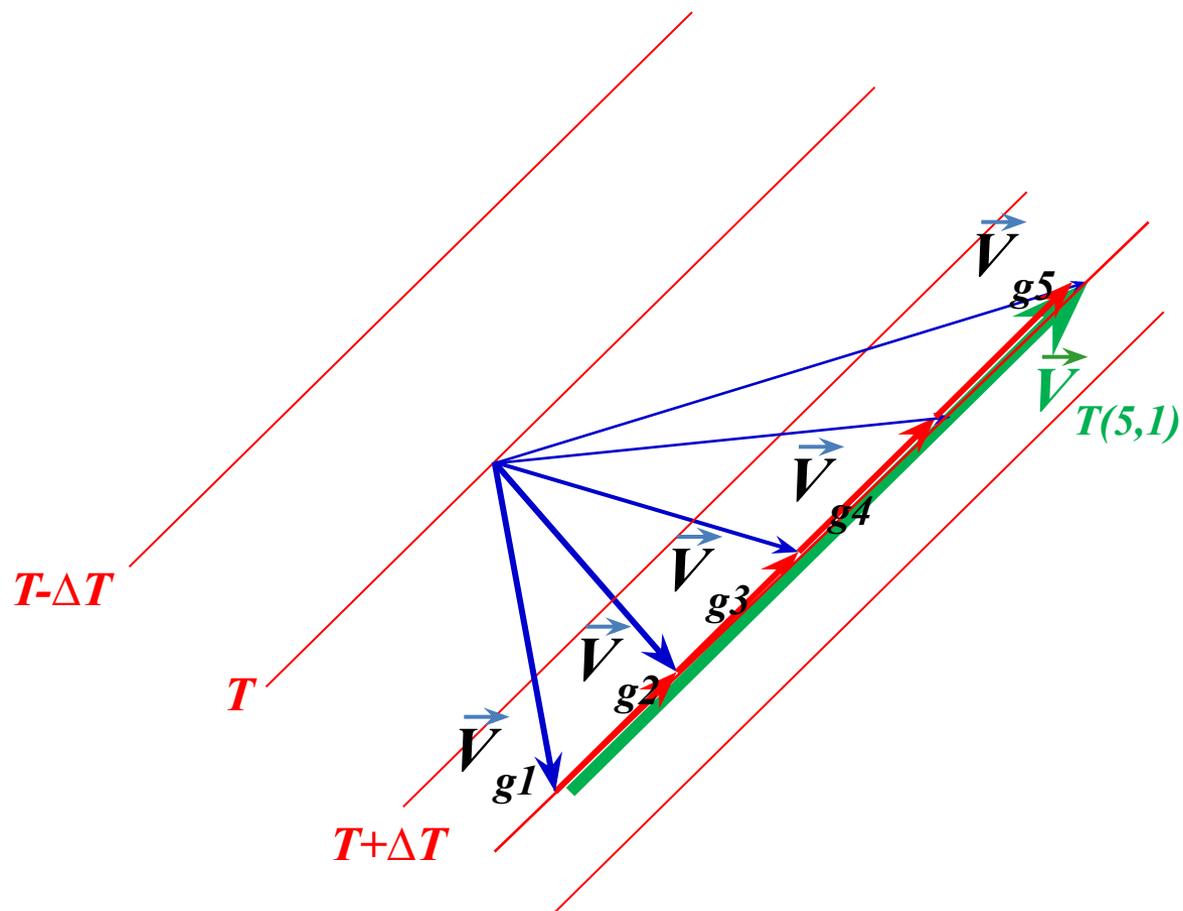




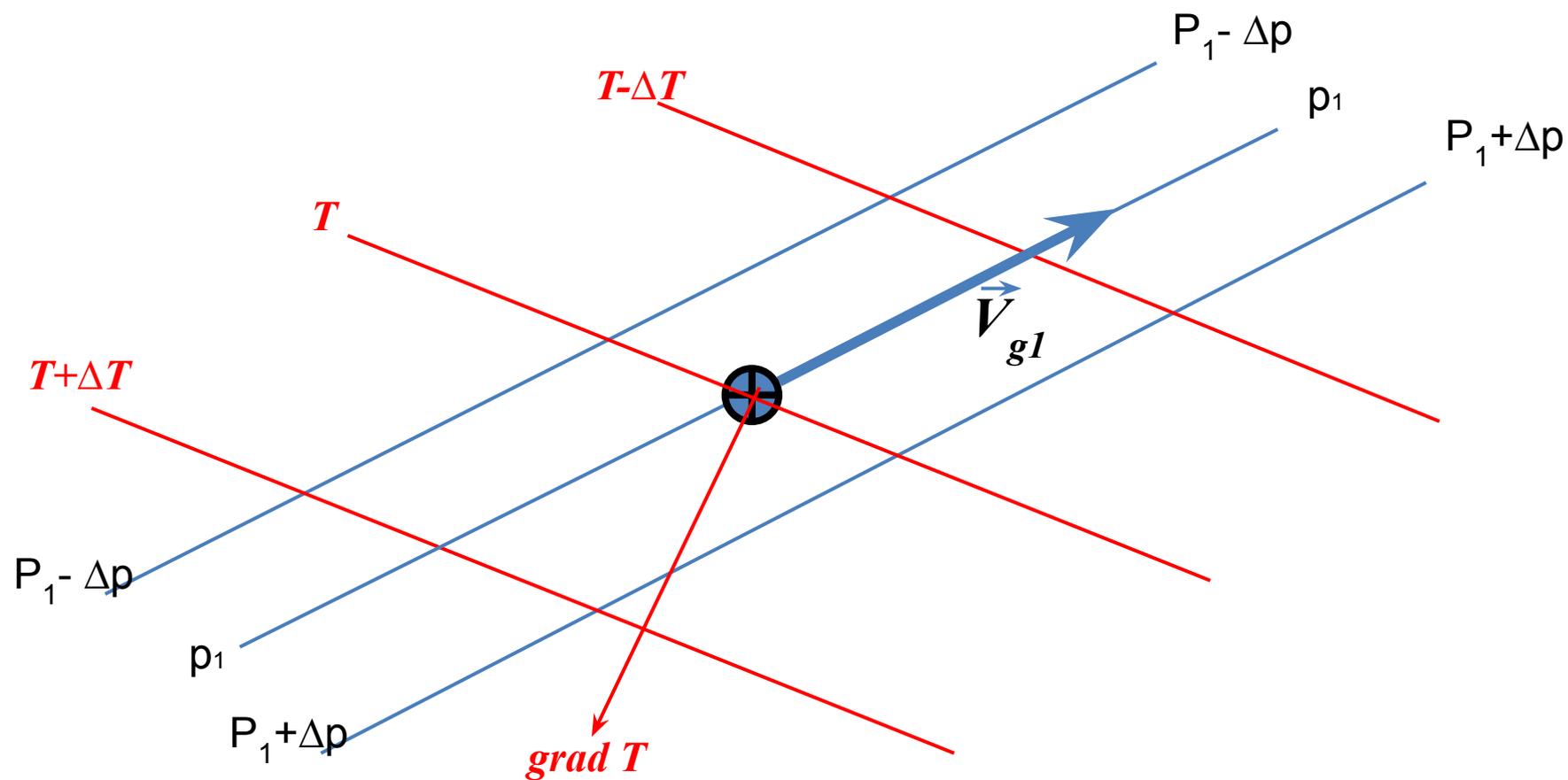
# Изменение геострофического ветра с высотой



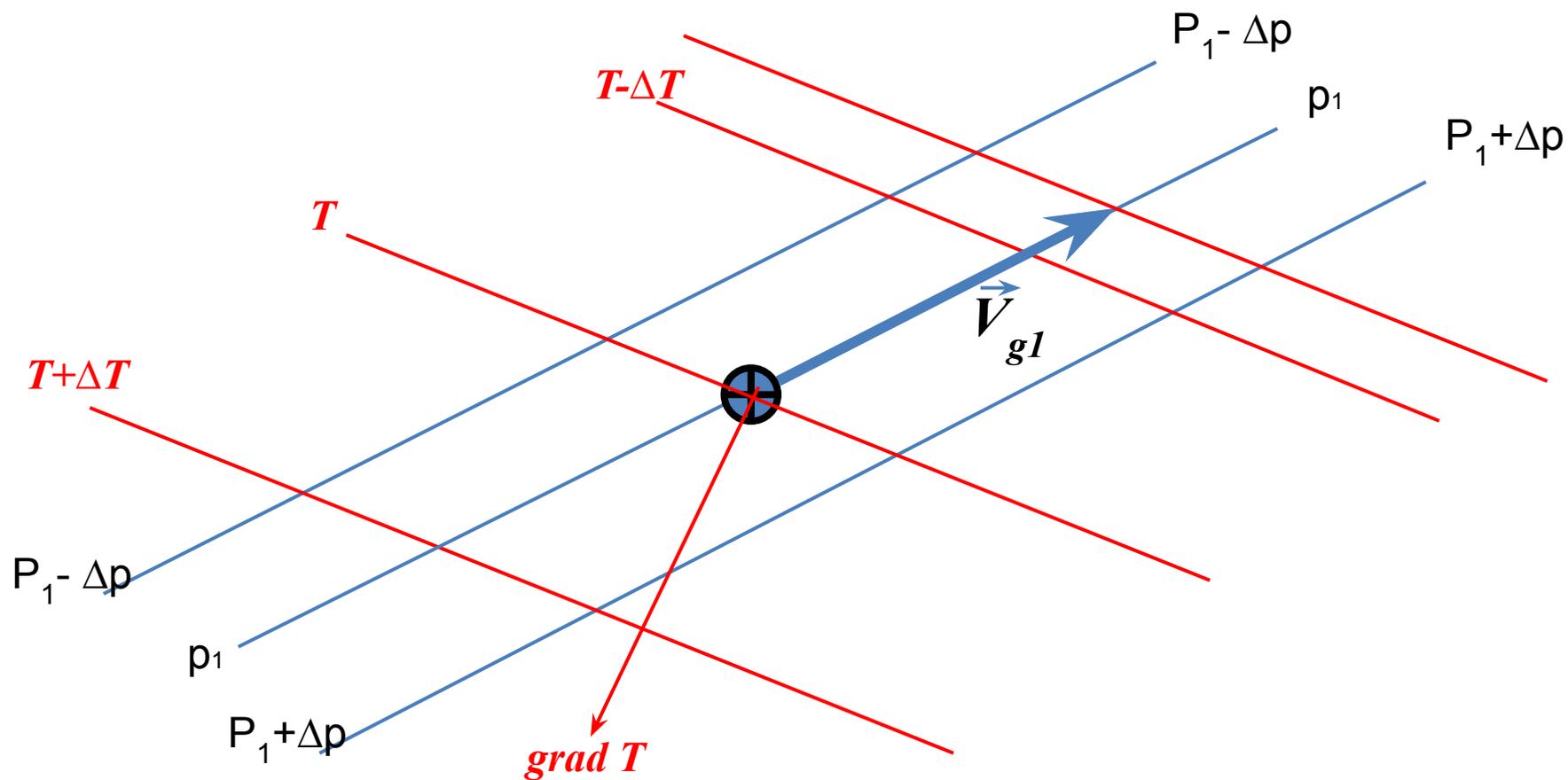
# Изменение геострофического ветра с высотой



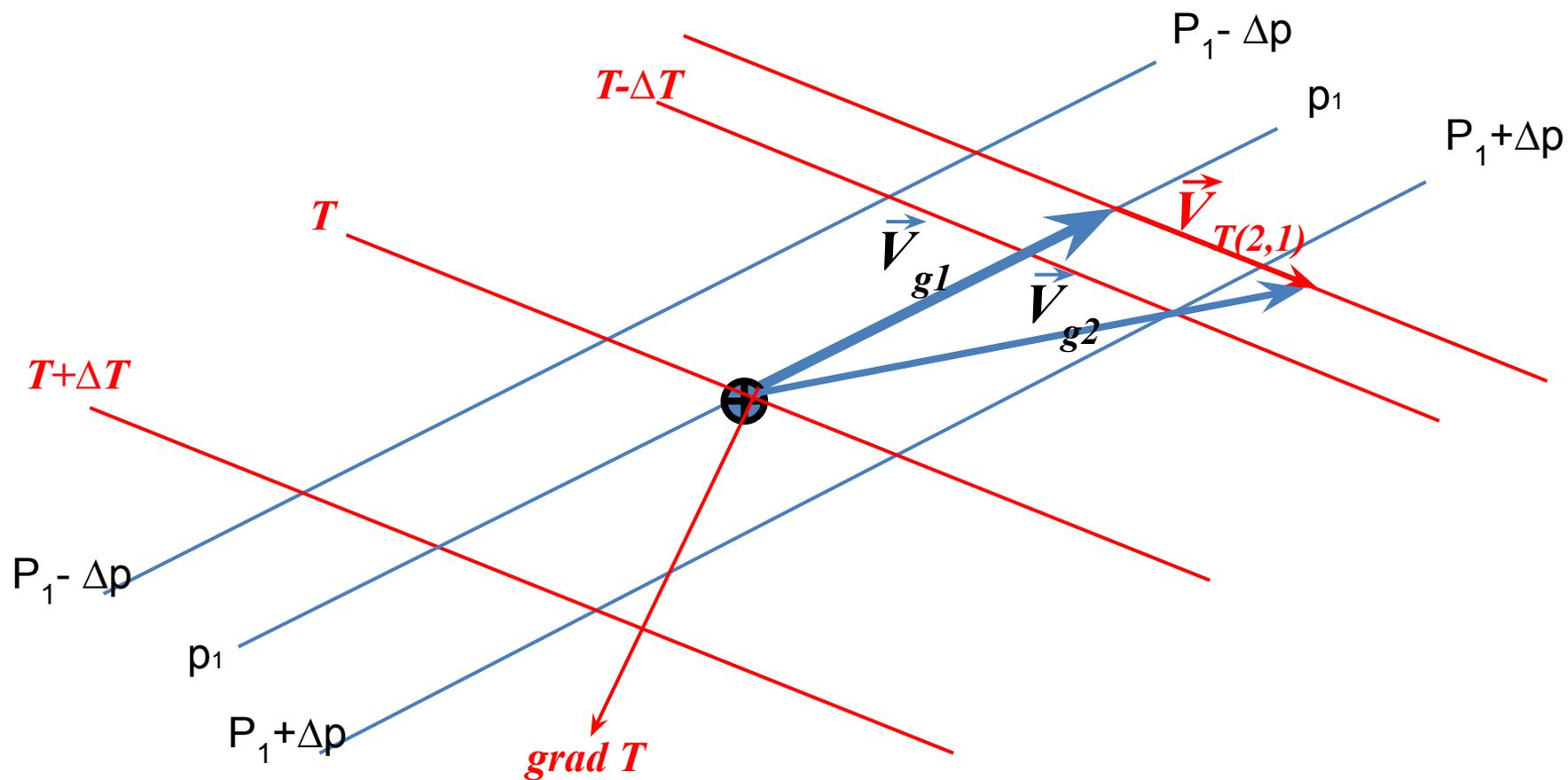
# Примеры изменения геострофического ветра с высотой



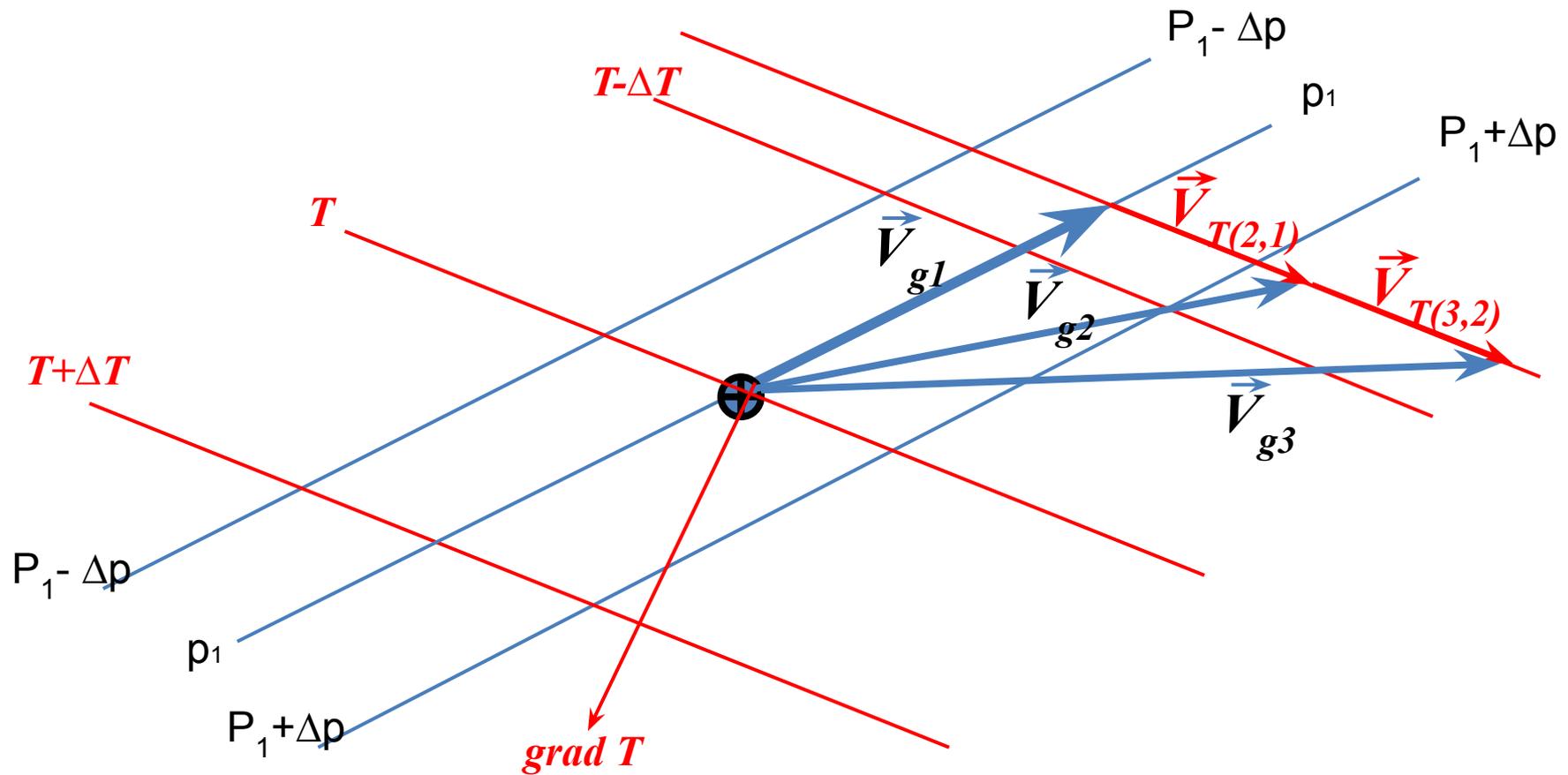
# Примеры изменения геострофического ветра с высотой



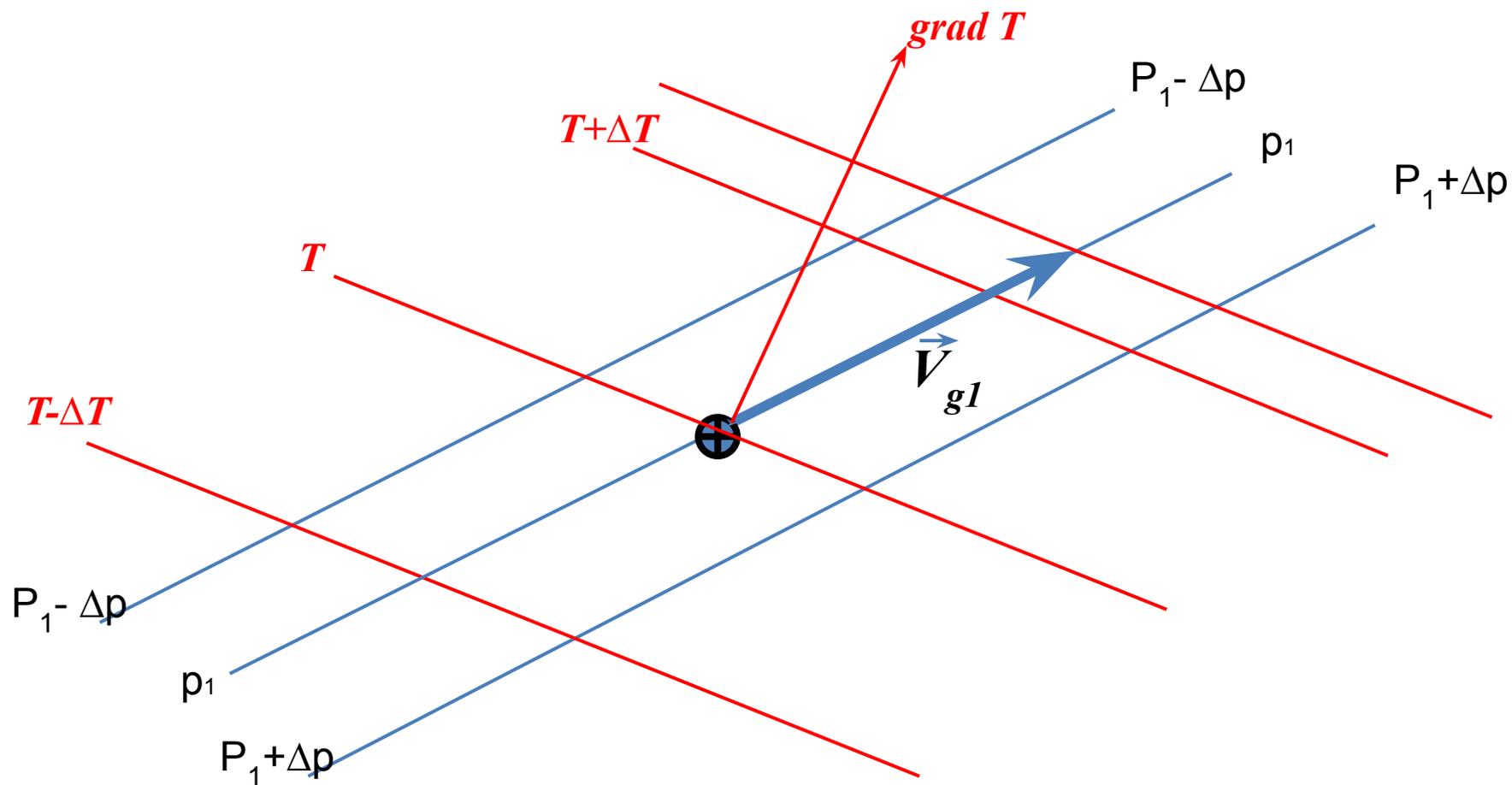
# Примеры изменения геострофического ветра с высотой



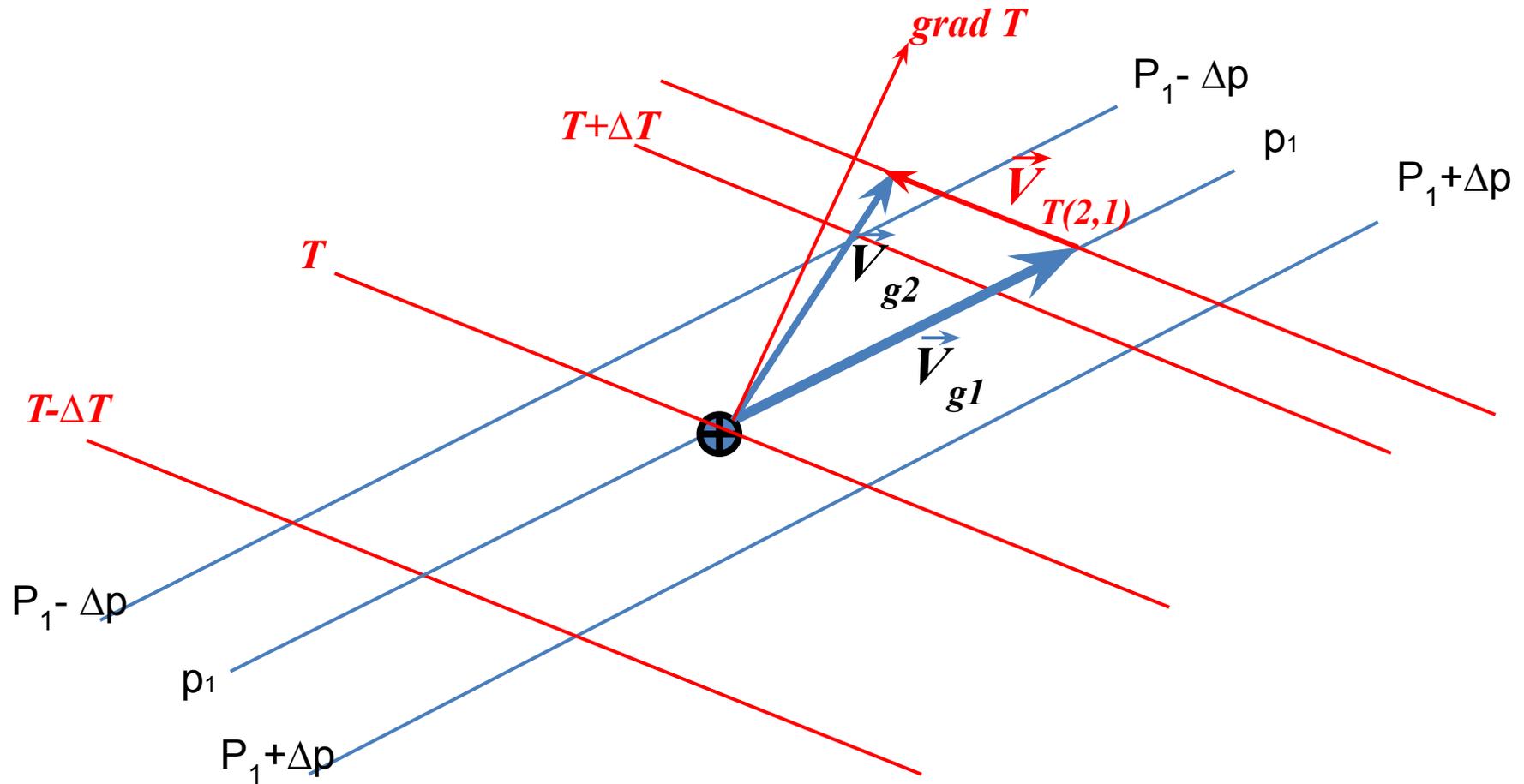
# Примеры изменения геострофического ветра с высотой



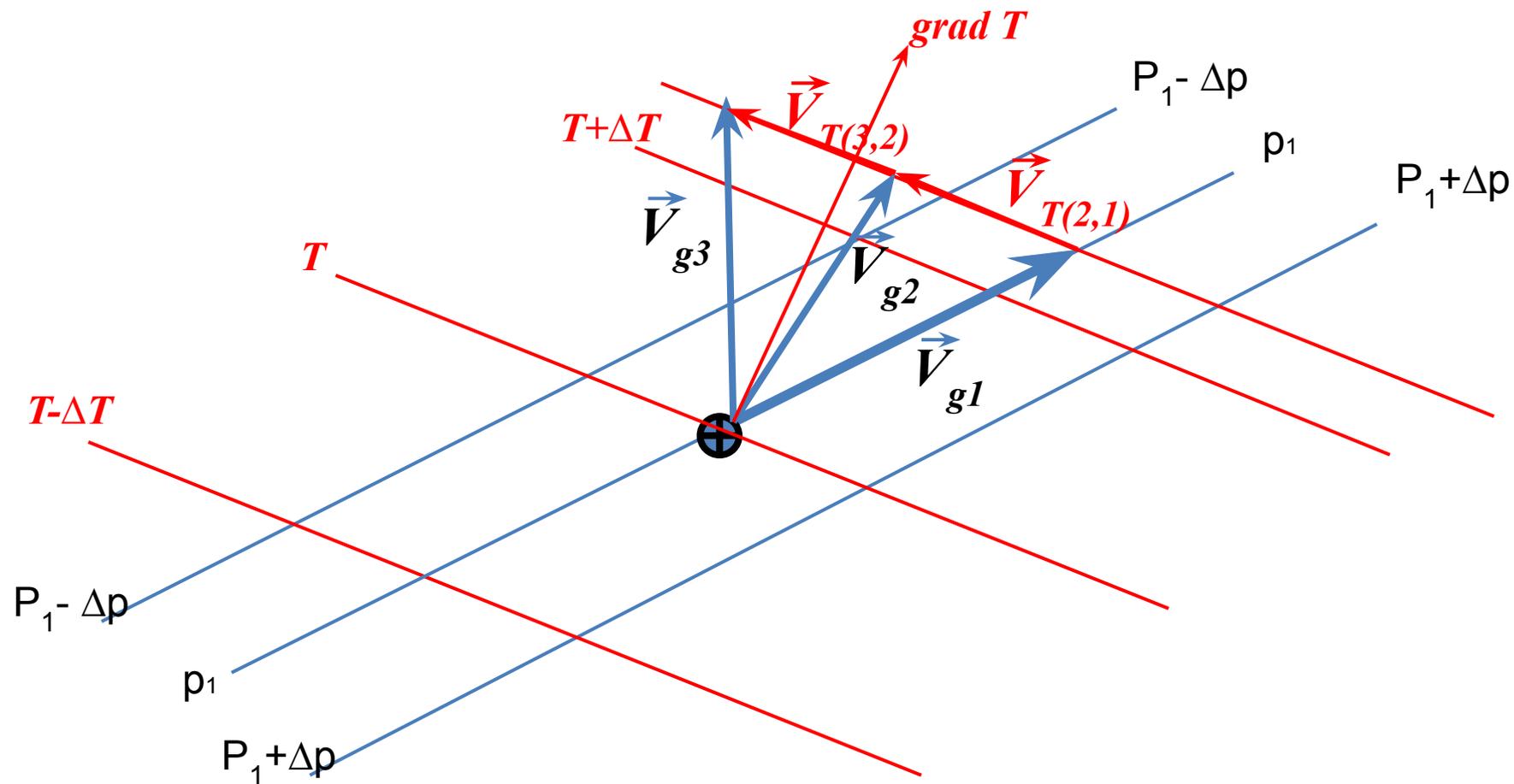
# Примеры изменения геострофического ветра с высотой



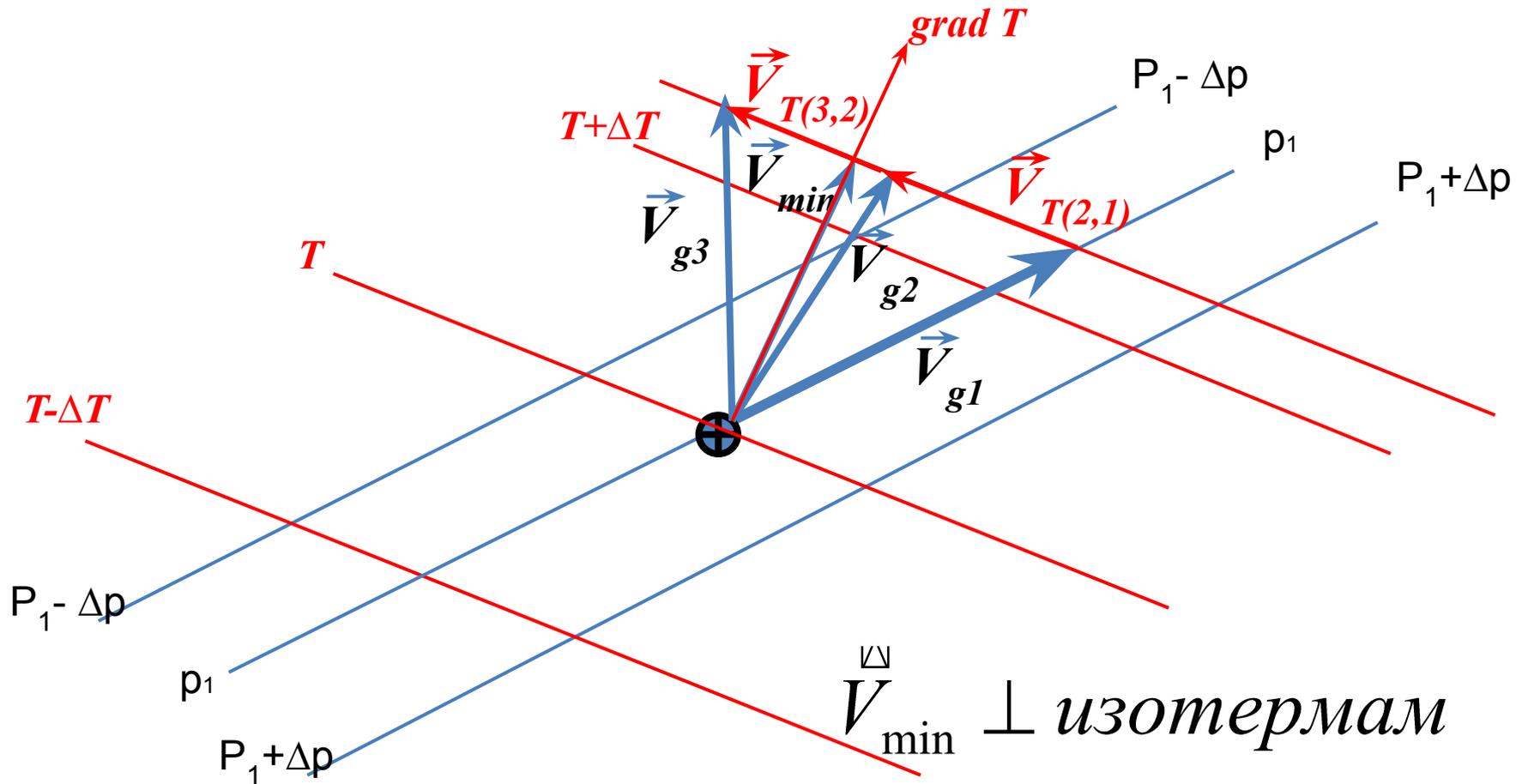
# Примеры изменения геострофического ветра с высотой



# Примеры изменения геострофического ветра с высотой



# Минимальный термический ветер



# Вопрос

## Термический ветер- это ...

- движение воздушной массы из области повышенных температур в область с пониженными температурами
- установившееся горизонтальное движение воздуха в свободной атмосфере вдоль изотерм
- векторная разность векторов геострофического ветра на двух высотах

# Выводы

1. Горизонтальный градиент температуры воздуха приводит к изменению геострофического ветра с высотой.
2. Вектор разности векторов геострофического ветра на двух высотах называют **термическим ветром**.
3. Направление **термического ветра** совпадает с направлением изотерм, при этом в с.п. слева от направления этого вектора располагается область с более низкими температурами.

# Выводы

4. **Модуль** вектора (величина) термического ветра пропорционален модулю горизонтального градиента температуры и разности рассматриваемых **высот**.
5. **Формулы** для оценки величины термического ветра неприменимы в области **вблизи экватора**

# Список рекомендуемой литературы

## Основная литература

1. **Динамическая метеорология. Под ред. Д.Л. Лайхтмана. – Л.: Гидрометеиздат, 1976**
2. **Задачник по динамической метеорологии. –Л.: Гидрометиздат, 1984**

## Дополнительная литература

1. **Основы динамической метеорологии. Под ред. Д.Л. Лайхтмана и М.Ю. Юдина. – Л.: Гидрометеиздат, 1955**
2. **Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. –Л.: Гидрометеиздат, 1984**
3. **Русин И.Н. Динамическая метеорология: курс лекций. - СПб.: РГГМУ, 2008**

**Запись вебинара будет  
доступна  
на сайте ФЗО РГГМУ**

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