大气动力学基础试题

一、名词解释（25 分）

湍流粘性力　　β-平面近似　　热成风　　Ekman 泵　　旋转减弱

二、回答问题（20 分）

1. 叙述 Boussinesq 近似的内容。此近似能滤掉那些大气波动，为什么？
2. 什么是 P 坐标系？使用 P 坐标系有哪些优点？

三、在球坐标系中，$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$，$\nabla = \frac{\vec{i}}{r\cos\varphi}\frac{\partial}{\partial\lambda} + \frac{\vec{j}}{r}\frac{\partial}{\partial\varphi} + \vec{k}\frac{\partial}{\partial r}$，求出球坐标系中的散度 $\nabla\cdot\vec{V}$。已知 $\frac{\partial\vec{i}}{\partial\lambda} = \sin\varphi\vec{j} - \cos\varphi\vec{k}$，$\frac{\partial\vec{j}}{\partial\lambda} = -\sin\varphi\vec{i}$，$\frac{\partial\vec{k}}{\partial\lambda} = \cos\varphi\vec{i}$；$\frac{\partial\vec{i}}{\partial\varphi} = 0$，$\frac{\partial\vec{j}}{\partial\varphi} = -\vec{k}$，$\frac{\partial\vec{k}}{\partial\varphi} = \vec{j}$；$\frac{\partial\vec{i}}{\partial r} = \frac{\partial\vec{j}}{\partial r} = \frac{\partial\vec{k}}{\partial r} = 0$。（15 分）

四、 将摩擦力考虑为拖曳力形式后，在 P 坐标系下描述作绝热运动的大尺度大气运动的方程组为：

$$\frac{\partial \boldsymbol{u}}{\partial \boldsymbol{t}} + \boldsymbol{u}\frac{\partial \boldsymbol{u}}{\partial \boldsymbol{x}} + \boldsymbol{v}\frac{\partial \boldsymbol{u}}{\partial \boldsymbol{y}} - \boldsymbol{fv} = -\frac{\partial \phi}{\partial \boldsymbol{x}} - \boldsymbol{ru}$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial \boldsymbol{t}} + \boldsymbol{u}\frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial \boldsymbol{x}} + \boldsymbol{v}\frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial \boldsymbol{y}} + \boldsymbol{fu} = -\frac{\partial \phi}{\partial \boldsymbol{y}} - \boldsymbol{rv}$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{u}}{\partial \boldsymbol{x}} + \frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial \boldsymbol{y}} + \frac{\partial \omega}{\partial \boldsymbol{p}} = 0$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{t}} + \boldsymbol{u}\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{x}} + \boldsymbol{v}\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{y}}\right)\frac{\partial \phi}{\partial \boldsymbol{p}} + \sigma\omega = 0$$

式中 r 为拖曳系数，σ 为静力稳定度参数，其余符号为惯常所用。（1）以上述方程组为例，阐明什么是准地转平衡；（2）写出上述方程组的准地转形式；（3）从得到的准地转的水平方程组出发，在 β－平面近似下推导出准地转涡度方程。（20 分）

五、 假定斜压流动被限制在两水平刚性壁中，与上题一样将摩擦力考虑成拖曳力形式，同时不考虑 β 效应，这样，斜压两层模式中的线性准地转涡度方程和热力学能量方程可分别写为：

$$\left(\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{t}} + \boldsymbol{U}_1\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{x}} + \boldsymbol{r}\right)\frac{\partial^2 \psi_1}{\partial \boldsymbol{x}^2} - \frac{\boldsymbol{f}}{\Delta \boldsymbol{p}}\omega_2 = 0,$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{t}} + \boldsymbol{U}_3\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{x}} + \boldsymbol{r}\right)\frac{\partial^2 \psi_3}{\partial \boldsymbol{x}^2} + \frac{\boldsymbol{f}}{\Delta \boldsymbol{p}}\omega_2 = 0,$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{t}} + \boldsymbol{U}_m\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{x}}\right)(\psi_1 - \psi_3) - \boldsymbol{U}_T\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{x}}(\psi_1 + \psi_2) = \frac{\sigma\Delta \boldsymbol{p}}{\boldsymbol{f}}\omega_2,$$

式中 $\boldsymbol{U}_m = \frac{\boldsymbol{U}_1 + \boldsymbol{U}_3}{2}, \boldsymbol{U}_T = \frac{\boldsymbol{U}_1 - \boldsymbol{U}_3}{2}$。试求出由上述方程组所描述的扰动的频散关系式并讨论扰动不稳定的条件。（20 分）