

* 说明：全部答题包括填空、选择题必须答在考点下发的答题纸上，否则，一律无效。

试题名称： 大气科学导论

一. 必做题：

1. 地球上的南北温度梯度由什么决定？为什么地球上南北温度梯度比由辐射平衡算出的值小得多？（15 分）
2. 什么是锋面，它分为哪几种？是根据什么来划分的？（15 分）
3. 请从冰晶的增长过程说明冷云降水的机制。（15 分）
4. 绘图说明：为什么夏季晴天的夜晚和清晨近地面发出的声音可以传得比较远。（15 分）
5. 在天空有卷层云时，有可能观测到哪种光学现象？为什么会出现这种光学现象？（10 分）
6. 有一个空气微团，它的位温为 40°C ，求它在 500hPa 时的温度。（10 分）
（有关常数附后）
7. 两个直径为 4cm 的小球放置在 45°N 处光滑的水平面上，相距 100m ，若两球受到冲击同时以 5m/s 的速率相互对准运动，问两球能否相碰？为什么？（15 分）
（有关常数附后）
8. 已知地面附近晴天大气电场的平均场强为 $-130\text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ ，
电导率为 $2.1\times 10^{-14}\text{ }\Omega^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ 。试求，全球地气系统总的晴天大气电流值，
并指出它的方向。（15 分）
（有关常数附后）

二. 选做题：（下面 3 题中任选 2 题）

9. 写出作用于地球大气的各种力，并根据牛顿第二定律写出在局地坐标系中单位质量大气的运动方程。（20 分）
10. 在正压大气的情况下，若水平散度为常数，试求，绝对涡度随时间变化的关系式。（20 分）

11. 请证明：饱和湿空气绝热运动时，其温度随高度的递减率 γ_s 比干空气绝热运动的温度随高度的递减率 γ_d 要小些。（20 分）

有关常数：

比气体常数： $R=287 \text{ J/kg/K}$ ，

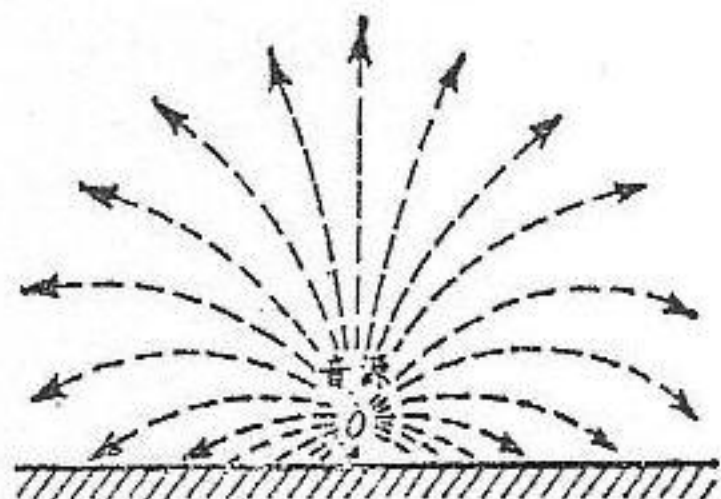
定压比热： $C_p=1004 \text{ J/kg/K}$ ，

地球自转角速度： $\Omega=7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，

地球半径： $r_0=6371 \text{ km}$

| | |
|---|--------|
| 科目名称: | 大气科学导论 |
| <p>一. 必做题:</p> <p>1. 答: 地球上的南北温度梯度一方面决定于不同纬度带地气系统吸收的太阳辐射量, 放射的红外辐射量, 感热通量和潜热通量, 另一方面还受到大气环流和海洋环流的影响。由于经向环流不断把低纬度获得的较多的热量向高纬度和极地区域输送, 所以使地球上南北温度梯度比由辐射平衡算出的值小得多。</p> <p>(评分标准: 写出太阳辐射, 红外辐射, 感热, 潜热和环流影响, 各得 2 分, 通过环流的输送解释地球上南北温度梯度比由辐射平衡算出的值小, 得 5 分)</p> <p>2. 答: 锋面定义: (1) 冷、暖两种不同性质气团之间的狭窄过渡带。 (2) 大气热力学场和风场具有显著变化的狭窄倾斜带。</p> <p>锋面分为: 冷锋、暖锋、准静止锋和锢囚锋。 它们是根据锋在移动过程中冷、暖气团所占有的主次地位来划分的。在锋面移动过程中, 如果冷气团起主导作用, 冷气团推动暖气团向暖气团一侧移动, 这类锋面称为冷锋。如果锋面移动过程中, 暖空气团起主导作用, 暖气团推动冷气团向冷气团一侧移动, 这类锋面称为暖锋。当冷、暖气团的势力相当时, 锋面的移动十分缓慢或相对静止, 这种锋面称为准静止锋。由冷锋赶上暖锋或者两条冷锋迎面相遇叠并而成的锋面称为锢囚锋。</p> <p>(评分标准: 答上锋面定义中的一种就为对, 得 3 分, 4 种锋各得 2 分, 答对划分方法得 4 分)</p> <p>3. 答: 冷云中存在着温度低于 0°C 的过冷却水滴, 在有冻结核的情况下, 它们很容易冻结为小的冰晶, 这时如果环境水气压对冰面来说是过饱和的, 则小冰晶将由凝华过程而进一步增长, 而且其凝华增长很快, 比水滴的凝结增长快得多。这样就在云内建立起一个水汽扩散场, 使水份从水滴面上蒸发而凝华到冰晶上去, 进而导致水滴的逐渐消失和冰晶的迅速长大。这就是冰晶效应。冰晶效应为冷云提供较大的冰晶, 然后这些较大的冰晶通过与过冷却水滴的碰冻和与别的冰晶的碰粘过程进一步长大成为降水质点而降落。这就是冷云降水的机制。</p> <p>(评分标准: 答对冰晶效应 8 分, 答对碰冻和碰粘过程加 7 分)</p> <p>4. 答: 声波在大气中传播经过不同声速的气层时会发生折射, 其折射角与声速成正比。夏季晴天的夜晚和清晨由于地面附近放射大量红外热辐射, 使近地层大气温度降低而形成逆温层, 即温度随高度的增加而增加。</p> | |

因为声速与大气温度的平方根成正比, 所以声速也随高度的增加而增大。在这种情况下, 声波向上传播时, 折射角逐渐变大, 即声波传播时, 声线逐渐向下弯曲。如图所示。



因此在地面附近, 声音的能量可以传到离声源较远的地方。

(评分标准: 图画对得 8 分, 解释对得 7 分)

5. 答; 在天空有卷层云时, 有可能观测到晕。因为卷层云中有大量的冰晶, 太阳 (或月亮) 的光通过冰晶时会发生折射而产生色散, 使得地面上的观测者看到日 (月) 周围出现以日 (月) 为中心的彩色光圈、光弧、光柱或光斑。这就是晕。

(评分标准: 答对晕得 5 分, 解释正确加 5 分)

6. 解: 利用位温和温度的关系式:

$$\theta = T \left(\frac{1000}{P} \right)^{\frac{R_d}{C_p}}$$

将有关常数和题中给出的数据代入, 可算得 温度为 -16.3°C 。

(评分标准: 写对位温和温度的关系式 得 6 分, 算出正确结果加 4 分)

7. 解: 由于小球运动时会受到科里奥利力的作用而分别向各自的右方偏移, 如果当小球走到一半距离时它向右的位移不超过小球的半径, 则它们会相碰。由题意可知,

小球走一半距离的时间是: $t=10$ 秒钟。

科里奥利加速度为: $a = 2u \Omega \sin \Phi$

小球向右的位移为: $s = 0.5 \times at^2$

将有关数据代入, 可算得 $s=2.58\text{cm}$. 它大于小球的半径, 所以两小球不会相碰。

(评分标准: 解题思路正确可得 6 分, 写对计算公式加 6 分, 计算并得出正确结果, 再加 3 分)

8. 解: 晴天大气电流密度 (j) 与电导率 (λ) 和晴天大气电场的场强 (E) 的关系为:

$$j = \lambda E$$

全球总的晴天大气电流值 (I) 为晴天大气电流密度 j 乘以地球的表面积。即为:

$$I = j \times 4\pi r_0^2$$

将有关数据代入, 可算得全球总的晴天大气电流值为 1392.3 安培。由于晴天大气电场的场强为负值, 即其方向从上指向下。因此晴天大气电流也是从上流向下。

(评分标准: 两个公式写对, 各 4 分, 计算正确加 4 分, 电流方向答对得 3 分。)

二. 选做题: (下面 3 题中任选 2 题)

9. 作用在单位质量大气上的力和它们在局地坐标系中的表达式为:

重力: $\vec{g} = (0\vec{i}, 0\vec{j}, -g\vec{k})$

气压梯度力: $\vec{G} = -\frac{1}{\rho} \nabla P = \left(-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \vec{i}, -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \vec{j}, -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} \vec{k} \right)$

科里奥利力: $2\vec{V} \times \vec{\Omega} = \{ (2u\Omega \sin\phi - 2w\Omega \cos\phi) \vec{i}, -2u\Omega \sin\phi \vec{j}, 2u\Omega \cos\phi \vec{k} \}$

摩擦力: $\vec{F}_r = (F_{rx} \vec{i}, F_{ry} \vec{j}, F_{rz} \vec{k})$

运动方程为:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + 2\vec{V} \times \vec{\Omega} + \vec{g} + \vec{F}_r$$

或写成分量形式:

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + 2\Omega \sin\phi v - 2\Omega w \cos\phi + F_{rx}$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} - 2\Omega \sin\phi u + F_{ry}$$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} - g + 2\Omega u \cos\phi + F_{rz}$$

(评分标准: 写出重力和摩擦力, 各得 2 分, 写出气压梯度力和科里奥利力, 各得 4 分, 运动方程无论是写对矢量形式或分量形式都可以得 8 分)

10. 正压大气的情况下的涡度方程为:

$$\frac{d(f+\zeta)}{dt} = -(f+\zeta) \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

若水平散度为常数, 设为 C , 则有

$$\left(\frac{1}{f+\zeta} \right) \frac{d(f+\zeta)}{dt} = -C$$

等式两边对时间 t 积分, 并设初始时刻的绝对涡度为 $(f+\zeta)_0$, 可得

$$\ln(f+\zeta) \Big|_0^t = -Ct$$

即
$$(f+\zeta) = (f+\zeta)_0 e^{-Ct}$$

这就是说, 在正压大气的情况下, 若水平散度为常数, 绝对涡度将随时间呈指数变化, 当散度为正 (即辐散时), 绝对涡度将随时间指数减小。当散度为负 (即辐合时), 绝对涡度将随时间指数增大。

(评分标准: 写出涡度方程 8 分, 推导出结果加 10 分, 给出最后的说明加 2 分)

11. 根据大气热量变化方程, 有

$$C_p \frac{dT}{dz} - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dz} = \frac{dQ}{dz}$$

其中, dQ 为大气在垂直方向上运动时的热量变化量。干绝热运动时 $dQ=0$
湿绝热运动时 $dQ=-Ldq_s$, 其中 q_s 为饱和比湿。因此,

干绝热运动时
$$C_p \frac{dT}{dz} - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dz} = 0$$

干绝热温度递减率为:
$$\gamma_d = -\frac{dT}{dz} = -\frac{1}{C_p \rho} \frac{dP}{dz} = \frac{g}{C_p}$$

湿绝热运动时
$$C_p \frac{dT}{dz} - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dz} = -\frac{Ldq_s}{dz}$$

湿绝热温度递减率为:
$$\gamma_s = -\frac{dT}{dz} = -\frac{1}{C_p \rho} \frac{dP}{dz} + \frac{L}{C_p} \frac{dq_s}{dz} = \frac{g}{C_p} + \frac{L}{C_p} \frac{dq_s}{dz}$$

由于上升过程中有水汽凝结出来, 所以随高度增加饱和比湿变小, $\frac{dq_s}{dz}$ 为负值。因此 γ_s 小于 γ_d 。证毕。

(评分标准: 写对大气热量变化方程 8 分, 推出 γ_d 加 5 分, 推出 γ_s 加 5 分, 得出结论加 2 分。 如果没用数学推导出结果, 而是用文字来论述, 说明在饱和湿绝热的情况下由于有水汽凝结放出潜热, 部分抵消了空气上升时因体积膨胀而产生的降温, 所以湿绝热温度递减率小于干绝热温度递减率, 可以酌情给 5~8 分)