

2.1 单粒子的运动

均匀磁场 回旋运动

磁场沿着 z 轴方向时

$$V_x = V_{\text{垂直}} \cos(\Omega t + \alpha)$$

$$V_y = V_{\text{垂直}} \sin(\Omega t + \alpha)$$

$$V_z = \text{constant}$$

1. 电漂移

磁场不随时间变化，粒子的运动平面垂直于电，磁场

粒子被电场加速，因而在轨道的部分具有较大的回旋半径

$$V_E = \frac{E \times B}{B^2}$$

电子和质子漂移方向一致，不会发生电荷分离

2. 极化漂移

电场随时间缓慢变化，粒子漂移产生的电场抵消变化

$$V_p = \frac{m}{qB^2} E_{\text{垂直}}$$

电子和质子方向不一致，电荷分离

3. 梯度漂移

在垂直方向上有场强梯度

$$V_g = \frac{1}{2} m V_{\text{垂直}}^2 B \times \nabla B / q B^3$$

电子和质子方向不一致，电荷分离

4. 曲率漂移

磁力线有曲率时，磁场曲率漂移

$$V_C = - \frac{m V_{//}^2 B \times \hat{n}}{R_c q B^2}$$

电子和质子方向不一致，电荷分离



单粒子运动

电漂移

极化漂移

磁场梯度漂移

磁场曲率漂移

漂移

$$\mathbf{V}_E = \frac{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}{B^2}$$

$$\mathbf{v}_p = \frac{1}{\omega_g B} \frac{d\mathbf{E}_\perp}{dt}$$

$$\mathbf{V}_g = \frac{1}{2} m V_\perp^2 \mathbf{B} \times \nabla \mathbf{B} / q B^3$$

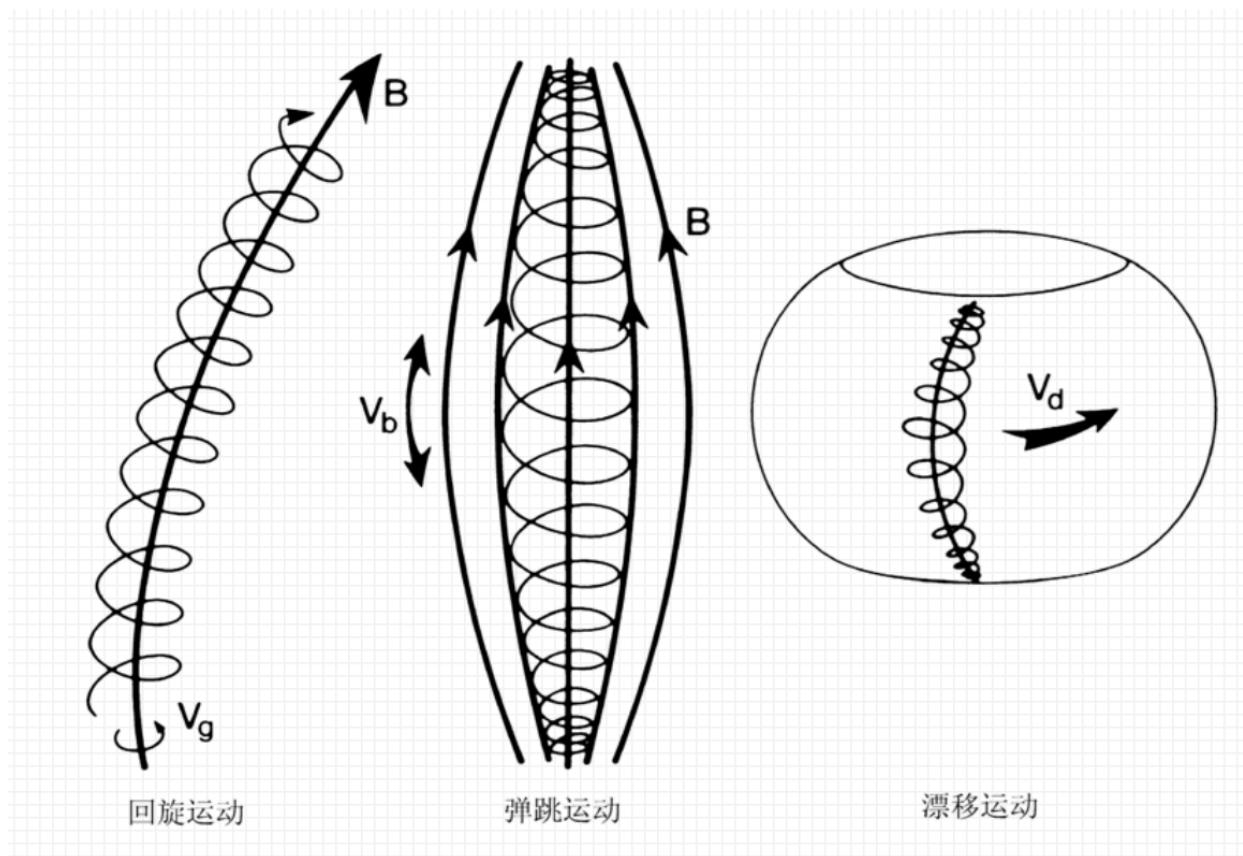
$$\mathbf{V}_C = - \frac{m V_{||}^2 \mathbf{B} \times \mathbf{n}^\wedge}{R_C q B^2}$$

$$\mathbf{V}_D = \mathbf{V}_E + \mathbf{V}_p + \mathbf{V}_g + \mathbf{V}_C$$

弹跳运动

如果沿场向有梯度，粒子的总速度不变，场向速度减小直至反向往返，磁镜点间的运动叫"弹跳运动"

弹跳的同时，粒子横越磁场飘移，形成一个漂移壳"漂移运动"



2.2 等离子体的流体描述

1. 低密度，非常稀薄
2. 微观上电离，宏观上电中性
3. 粒子间碰撞概率低，无碰撞
4. 在库伦力场电磁场中的运动

麦克斯韦方程组

当有限速度的粒子进入已存在的磁场中，速度会发生变化，因为磁场会对它们有作用力，这个力对电子和离子如果不同时，就会有电流产生，电流反过来改变磁场，粒子的运动又会发改变

麦克斯方程组微分形式

$$\nabla \cdot D = \rho_q$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \times B = \mu_0 j + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

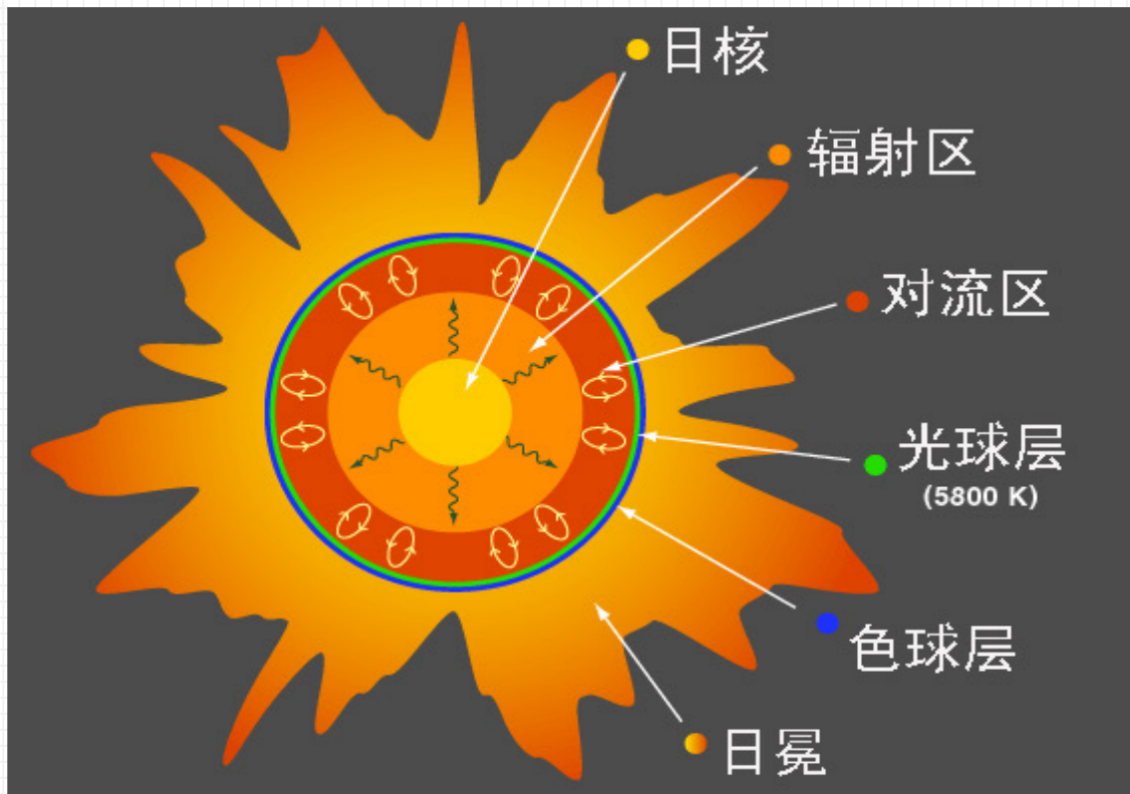
洛伦兹力定律

$$F = qv \times B$$

2.3 太阳构造

内部构造

■ 内部构造



太阳内部结构：日核，辐射层，对流层和太阳大气(光球，色球和日冕)

1. 光球层

可见光波段的辐射几乎全部来源于光球层

用简单望远镜可观测到暗的黑子，亮的光斑，米粒和超米粒结构

2. 太阳黑子

太阳光球上的黑色斑点，是光球上温度较低，磁场很高的区域

太阳黑子多寡出现的 11 年周期称为太阳活动周

黑子位置随 纬度 变化

3. 色球层

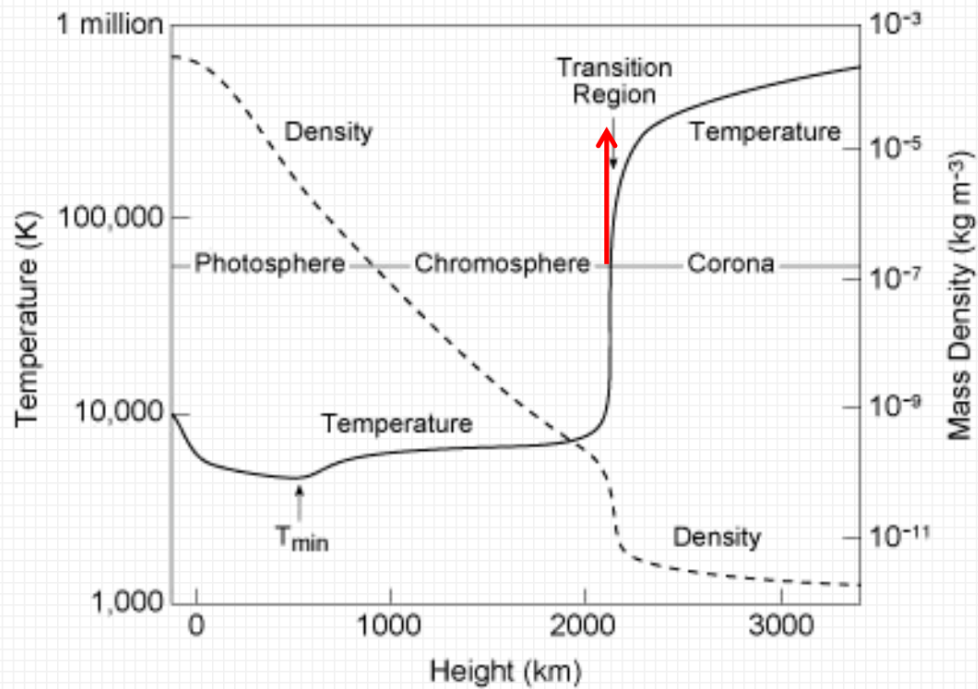
在光球层上面的不规则层，大约 1500 公里厚，用单色光观测，可以看见它是一个美丽的玫瑰红色气层

4. 过渡区

色球层与日冕之间的薄层，在这个层的上下，温度发生急剧变化，过渡区内部的物理性质不明，其可能成为解决 色球-日冕加热问题 的关键区域

5. 日冕

太阳大气的最外层，密度更稀薄，但温度更高，延伸范围更宽广，非常稀薄，也是不停演化的



为什么从光球层向外太阳温度不降反升？这是半世纪以来尚没有解决的难题。即色球-日冕加热问题。

由内向外，太阳温度不降反升，这是色球-日冕加热问题

磁是日冕加热的主要机制

6. 太阳风

以高温日冕气体克服太阳引力，以 $400\ 800\text{km/s}$ 的典型速度离开太阳，这个外流的等离子体称为太阳风

主要由质子和电子组成，也有少量的氦核与重离子

太阳风高速流来自冕洞

晒太阳不能补钙

晒太阳促进皮肤合成维生素D，维生素D能够促进钙的吸收

日核

太阳产能区，高温高密，不停地进行热核反应，产生辐射能

辐射层

能量运输区，通过辐射传输或者光耗散，传导可忽略，无对流

对流层

对流发生：温度梯度比较大时发生对流

| 大气层

从内到外分为：光球，色球，过渡区，日冕，对流层及其以下统称为太阳内部，