
恒星的一生

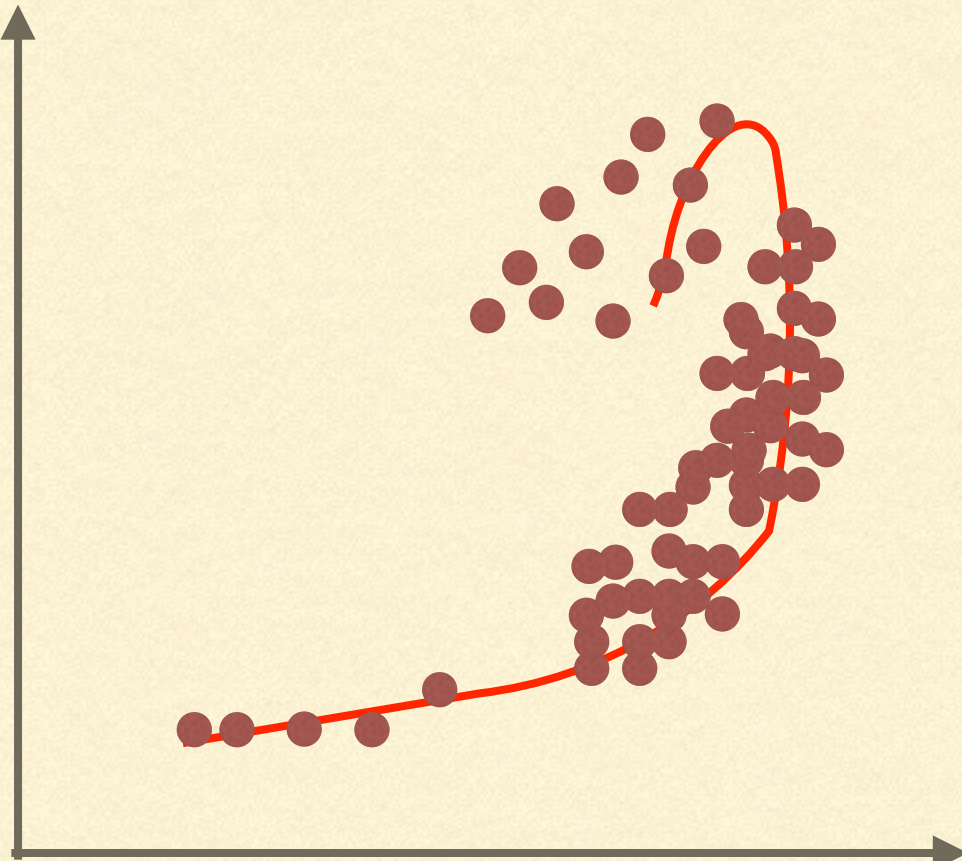
中国科学院高能物理研究所
易疏序

-
- 朝菌不知晦朔， 蟪蛄不知春秋
 - 人类文明史不过一万年， 如何研究“以百万年为春， 百万年为秋”的恒星的一生？
-



朝菌科学家如何研究人类的一生？

体重

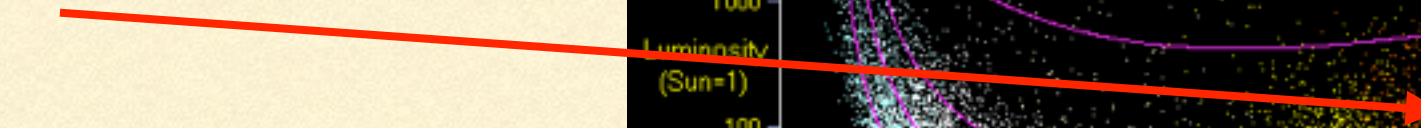


身高

“人类随着年龄的增长，体重从5-10斤左右，一直增加到100-140斤左右，身高从60-70厘米左右增加到160-180厘米之间，并且人类的一生大部分时间身高和体重稳定在这个范围，随后比较短的时间内，人类的体重开始下降而身高也略有下降，最后死亡。”

光度 - 颜色图 (Hertzsprung-Russell)

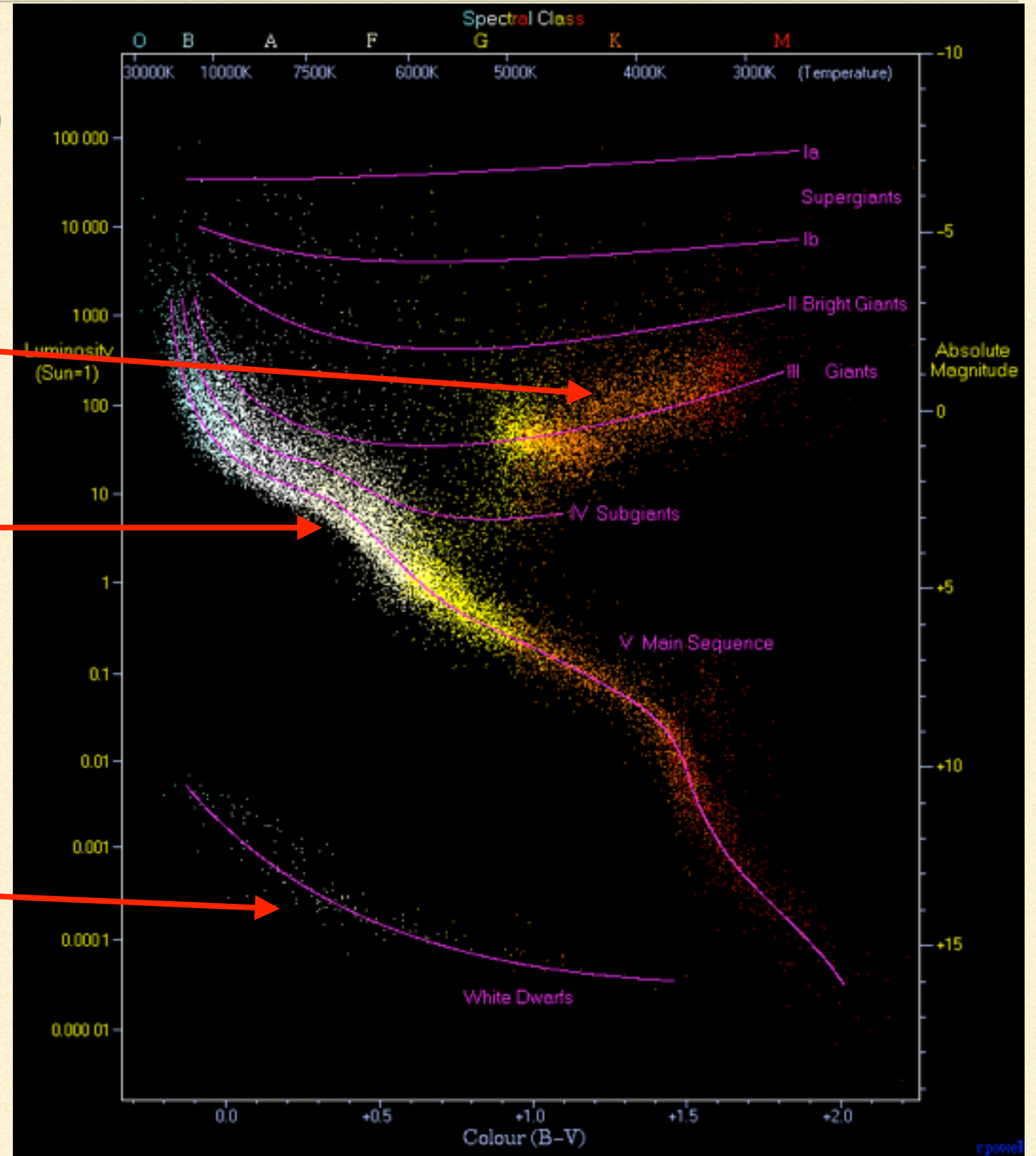
巨星分支



主序带



白矮星



天文学理论

理论自治

符合观测

第一性原理

~~理论A~~

理论B

~~理论C~~

~~理论D~~

观测

可证伪性是科学理论的重要特点



恒星演化理论

第一性原理：万有引力定律、能量守恒定律、
流体静力学方程

恒星的产能方式是什么？



“恒星的能源来自星体不断在自身
引力下的收缩。”

“要想让太阳保持现在的亮度，
太阳要每年收缩100米”

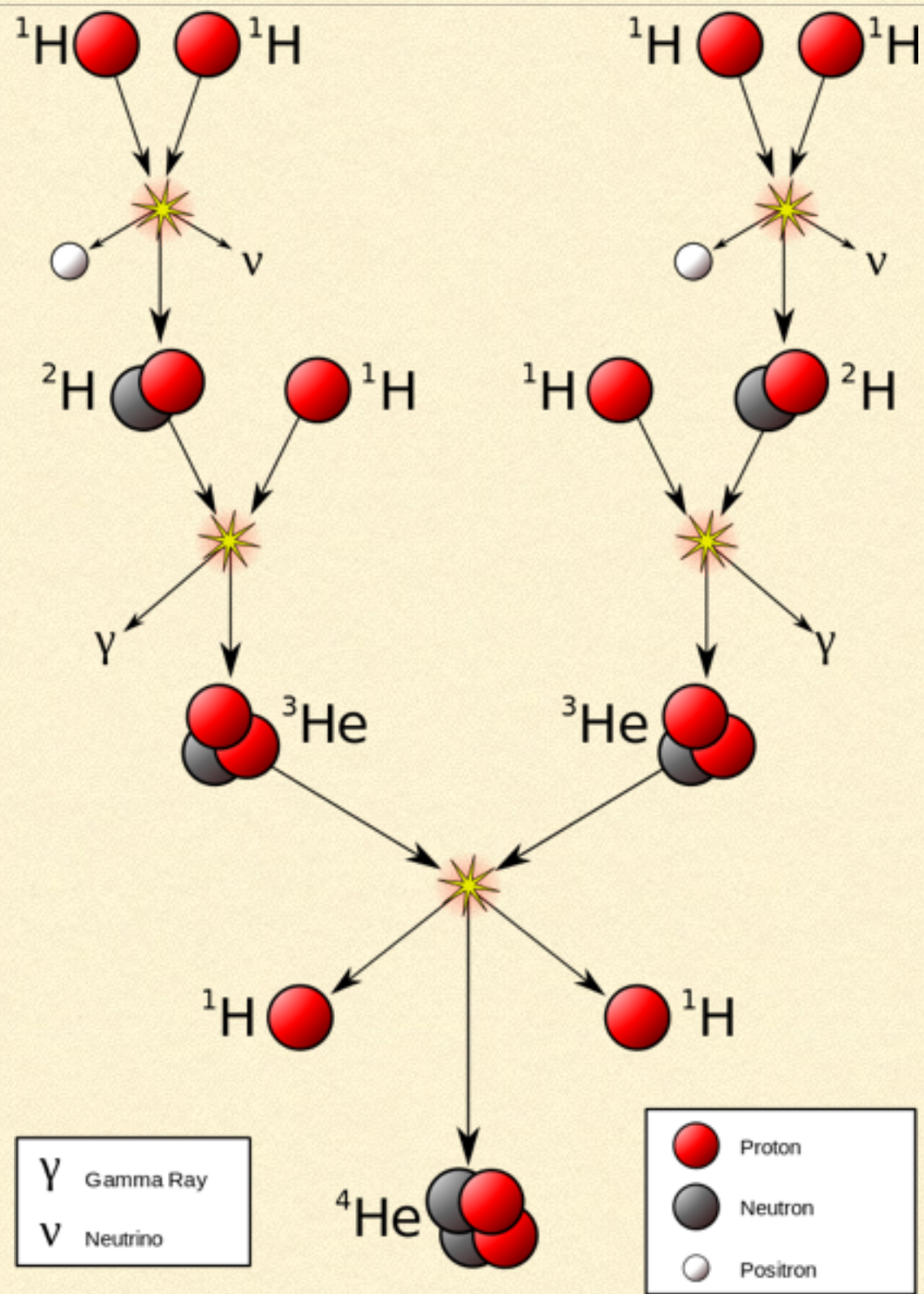
1850s

如果太阳已开始有冥王星轨道那么大，那么
以这种速度收缩，太阳的年龄不超过2000万年。

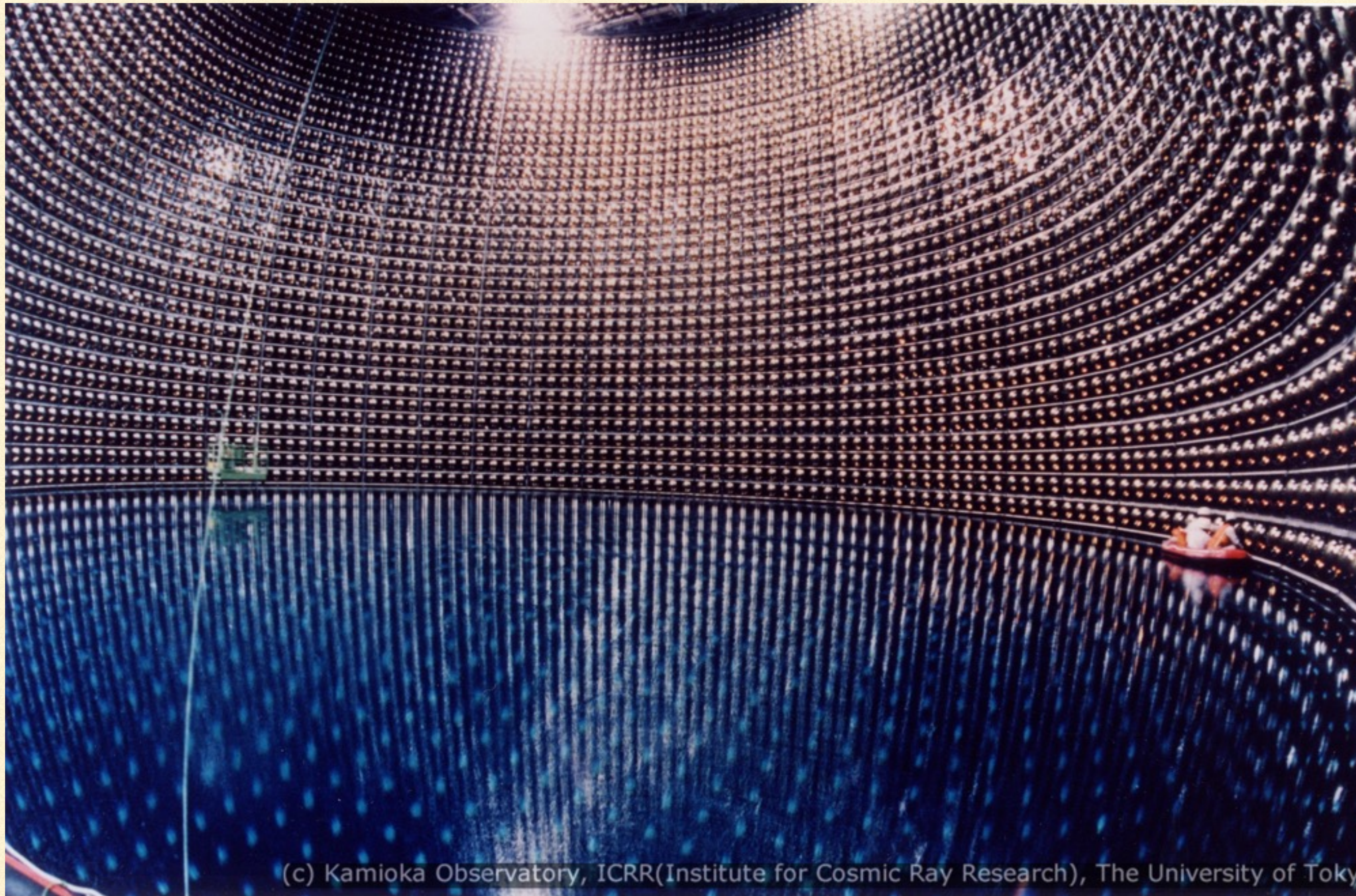
进化论危机？

-
-
- 二十世纪初，人们发现了同位素元素。
 - 运用同位素元素测年的方法，人们测出地球上的岩石年龄大于20亿年。
 - 地球比太阳还早？
 - 恐龙灭绝6500万年前，恐龙比太阳还早？
 - 核聚变反应
-

热核反应 (核聚变)



质子 - 质子链

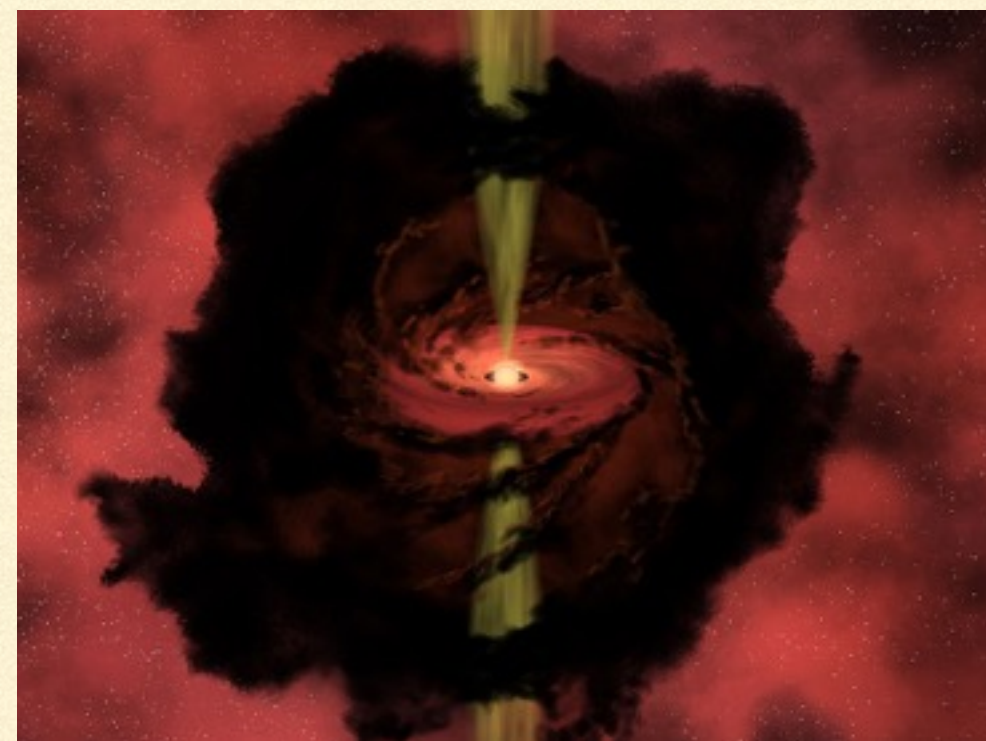


(c) Kamioka Observatory, ICRR(Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo



分子云

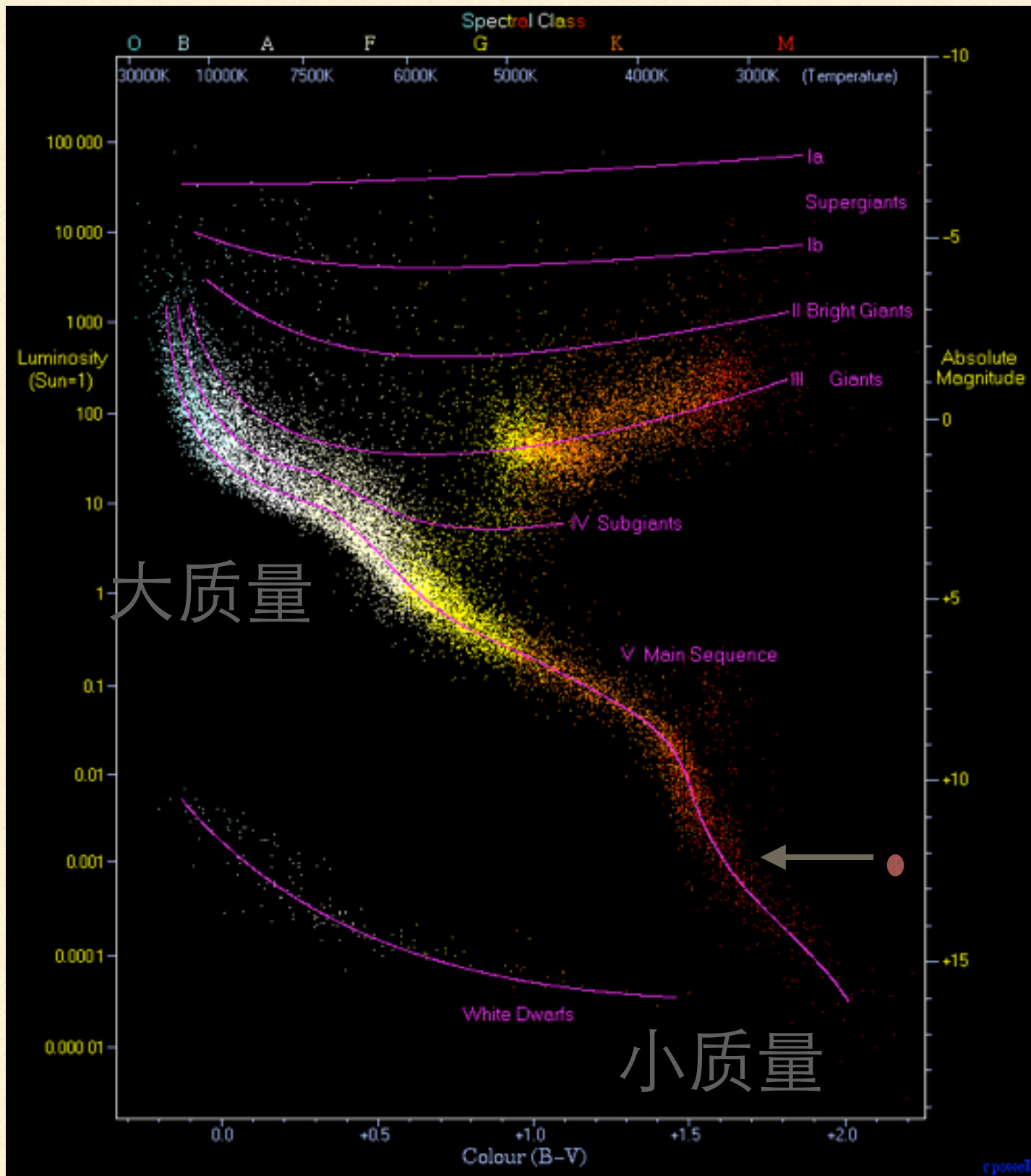
→
在自身引力的
作用下收缩



原恒星

核聚变反应需要克服库伦斥力——点火温度

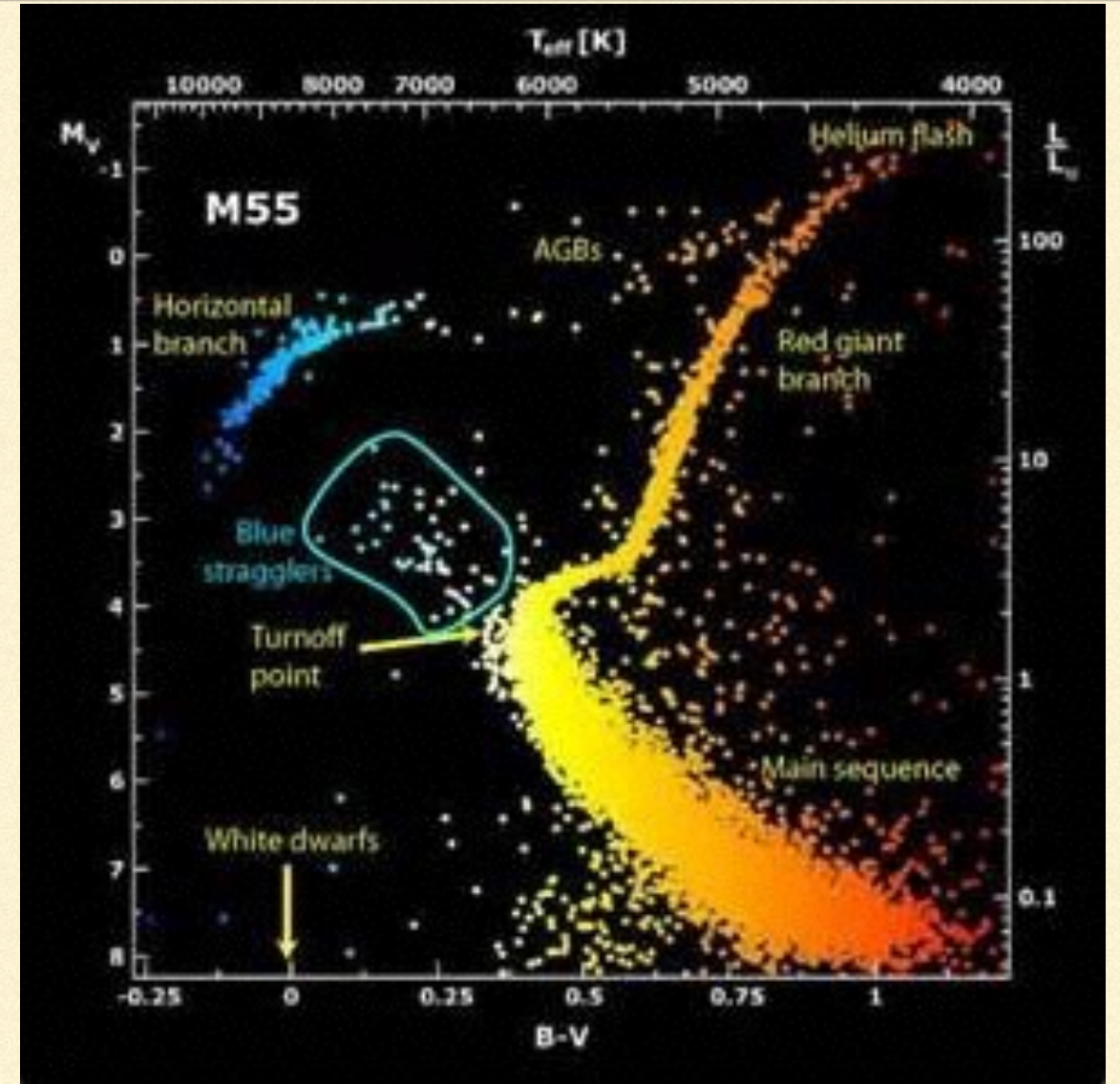
前主序星



原恒星 -
前主序星



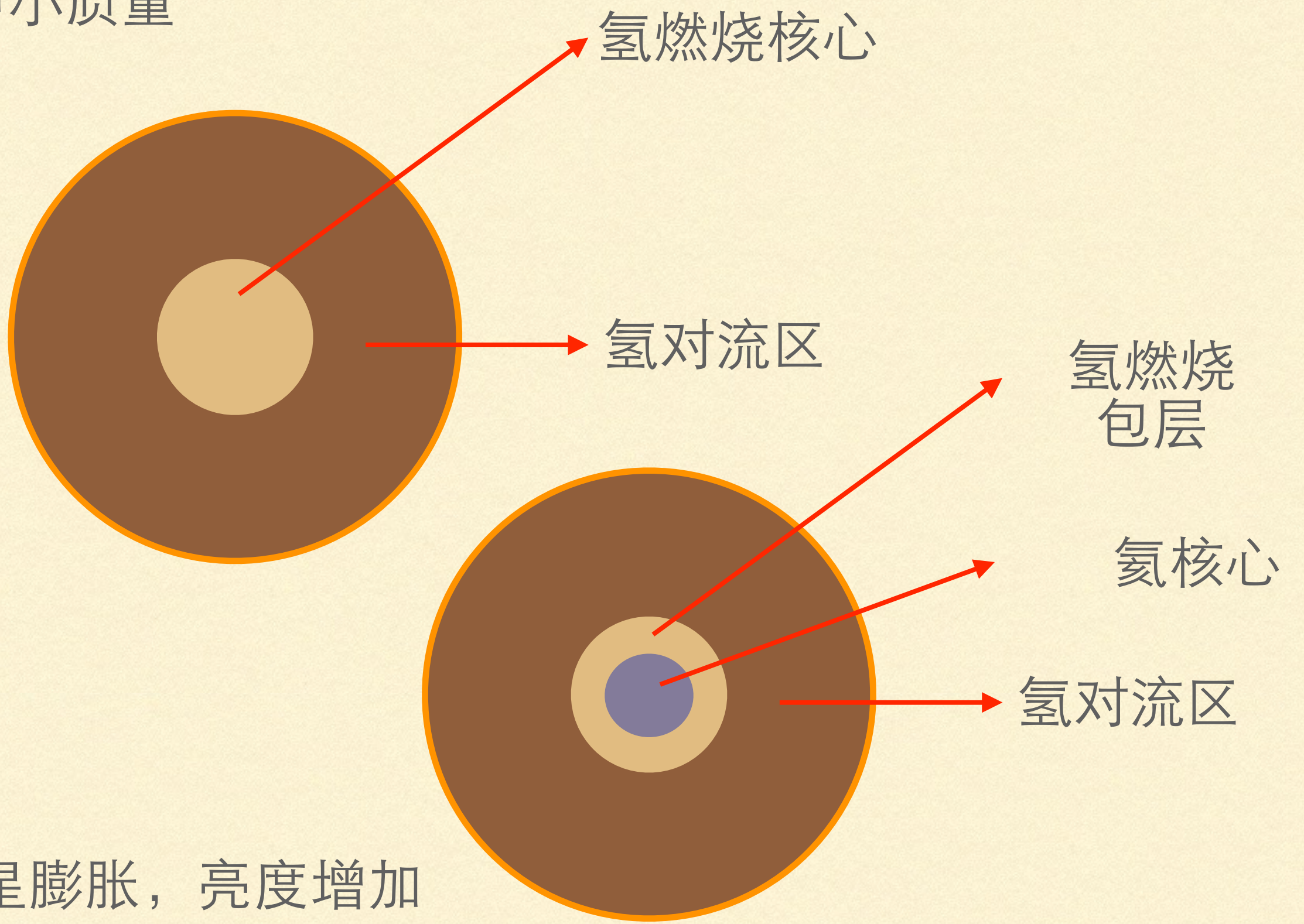
球状星团



质量大的恒星演化的更快

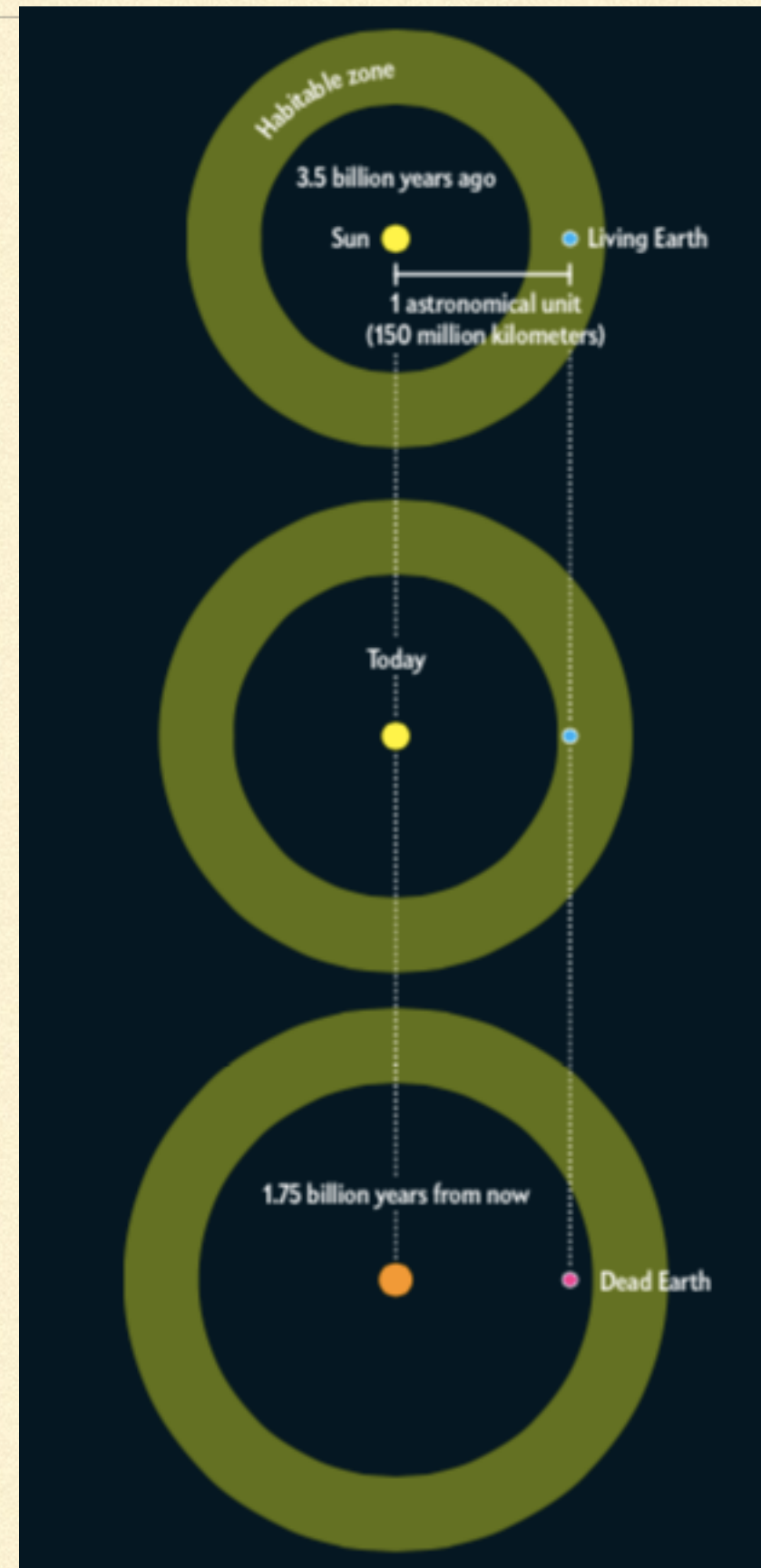
大质量和小质量
恒星演化方式不同，结局也不一样

中小质量



恒星膨胀，亮度增加

- 太阳系宜居带的外扩
- 3.5亿年前，地球在宜居带中心
- 现在，地球在宜居带内边缘
- 1.75亿年后，地球不再宜居
- 50亿年后，太阳离开主序带，红巨星
- 半径扩大到木星轨道



- 太阳后续的核反应序列



- 随着太阳内核温度增加，新的反应不断被触发

- 每触发一个新反应，就像多级火箭加速，太阳就会抛撒出一层外围物质。

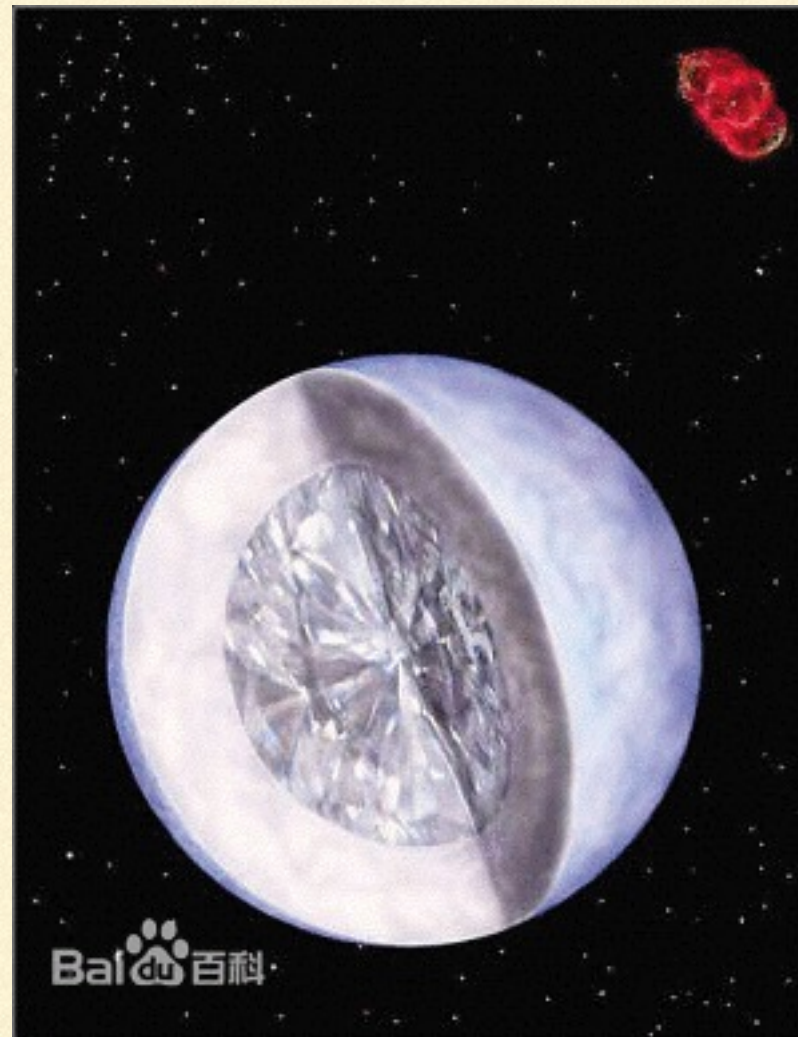


行星状星云

等到太阳的核心变得全是碳和氧的时候，核反应就无法继续进行了，这是因为太阳的质量不够大，没法再提供继续反应所需要的压力了。

原子之间因为泡利不相容原理，无法靠近，因此无法发生进一步的核反应

白矮星 - 》 褐矮星



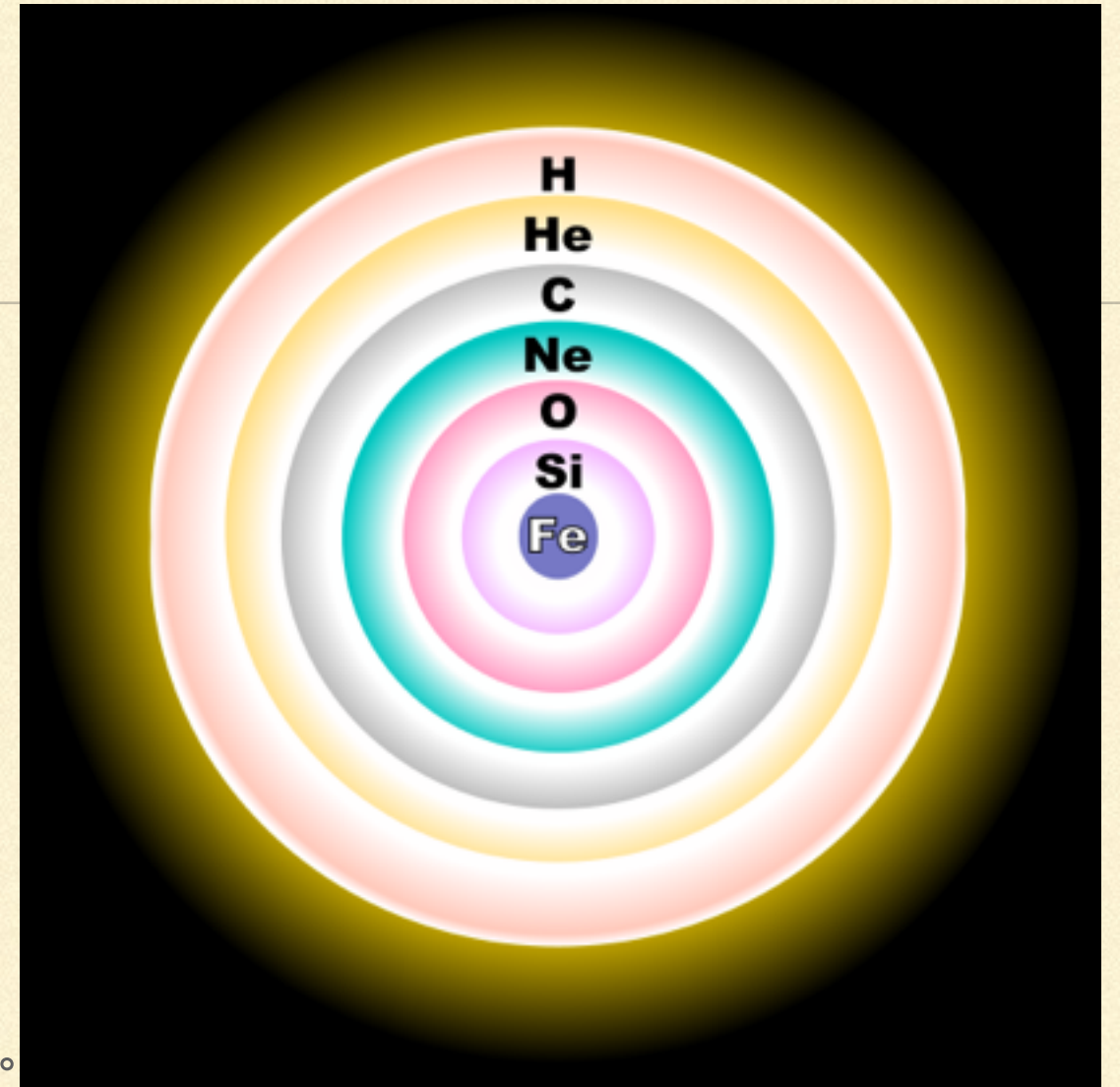
-
- 如果使劲积压一颗白矮星，会发生什么？
 - 电子费米简并压无法抗衡收缩的趋势，原子核接触，核反应重新被触发！
 - 整个白矮星被同时点燃，超新星爆发。（Ia型）
 - 自然界中这种情况存在！白矮星双星系统。



-
- 白矮星核心不能承受之重：1.4倍的太阳质量（钱德拉塞卡质量极限）
 - 任何质量达到1.4倍太阳质量的白矮星会发生Ia型超新星爆发
 - 所有Ia型超新星的光度都是一样的，因此可以作为标准烛光，测距离。
-

大质量恒星

- 大质量恒星的核反应可以一直进行
 - Fe的结合能最低，因此Fe是核聚变反应的终点
 - 当所有核反应物质被消耗光，星体开始引力收缩
 - 核心密度大到电子被原子核中的质子捕获，
 - 发生逆beta衰变反应： $e^- + p \rightarrow n + \nu_e$
 - 核心出现大量中子，中子简并压阻止外部壳层进一步坍塌。
 - 外部壳层被反弹，爆炸。核塌缩型超新星。
-
- 反弹激波？



超新星1054与蟹状星云

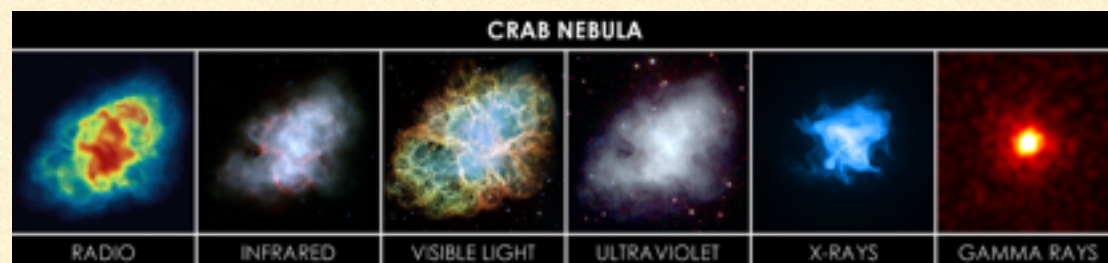


至和元年七月二十二日，守将作监致仕杨维德言：

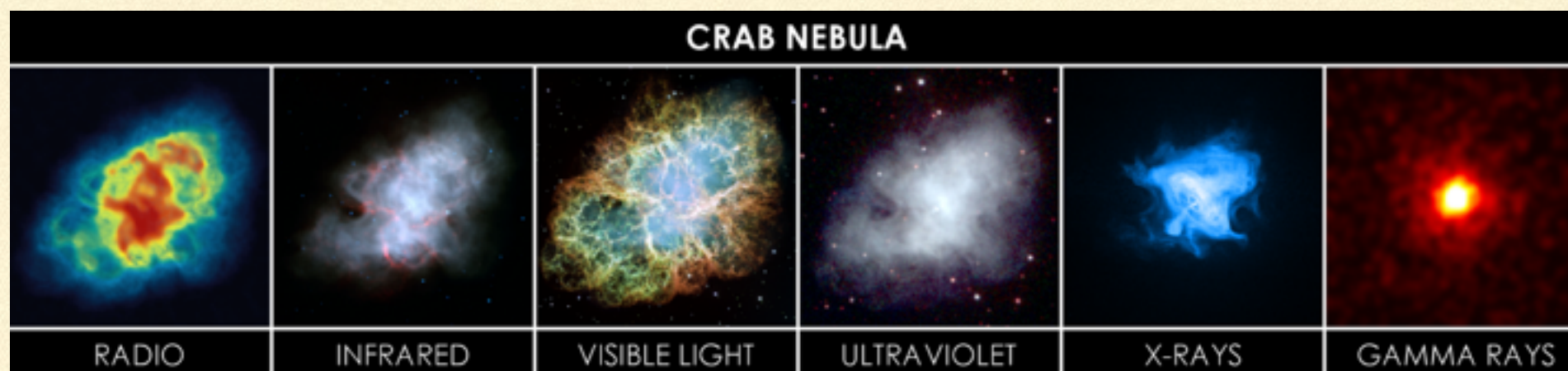
伏睹客星出现，其星上微有光彩，黄色。谨案《黄帝掌握占》云：

客星不犯毕，明盛者，主国有大贤。乞付史馆，容百官称贺。诏送史馆。嘉祐元年三月，

司天监言：客星没，客去之兆也。初，至和元年五月，晨出东方，守天关，昼见如太白，芒角四出，色赤白，凡见二十三日。



超新星遗迹中心天体？



脉冲星

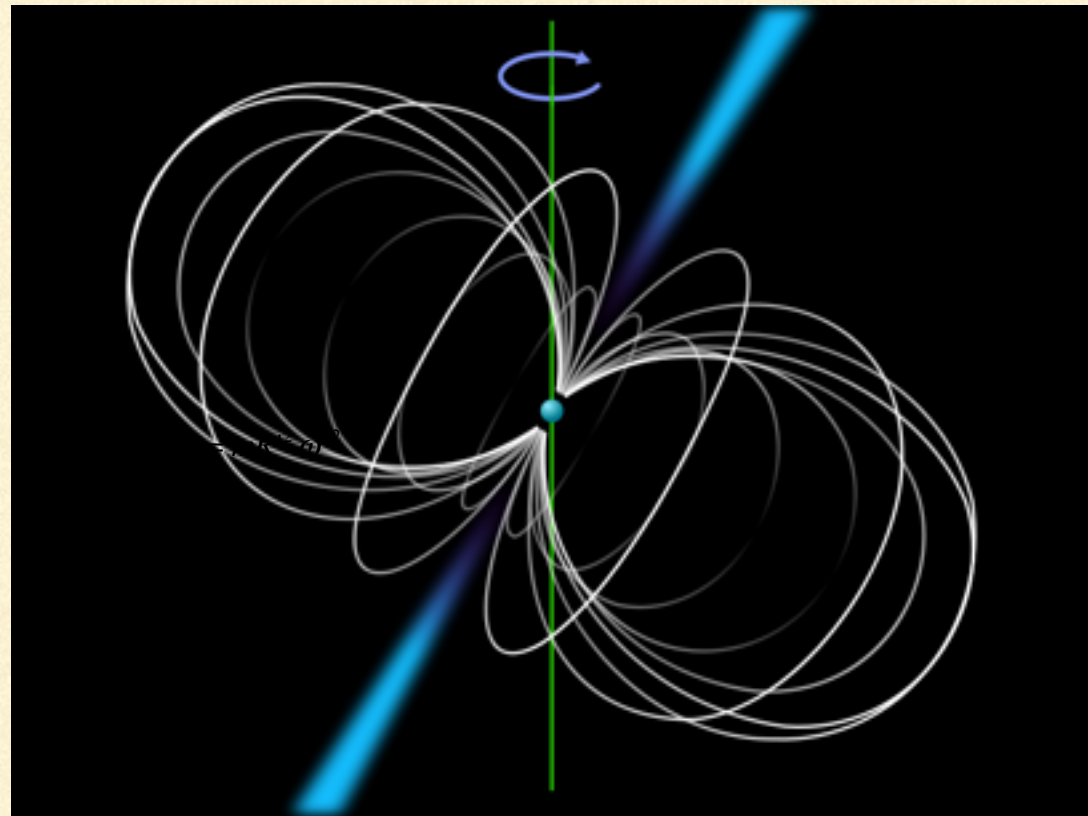
1967
1968

脉冲星

- 高速自转的宇宙灯塔
- 恒星收缩成的中子星

$$mR^2\omega = mR'^2\omega'$$

- 半径收缩1000倍，自转加快100万倍

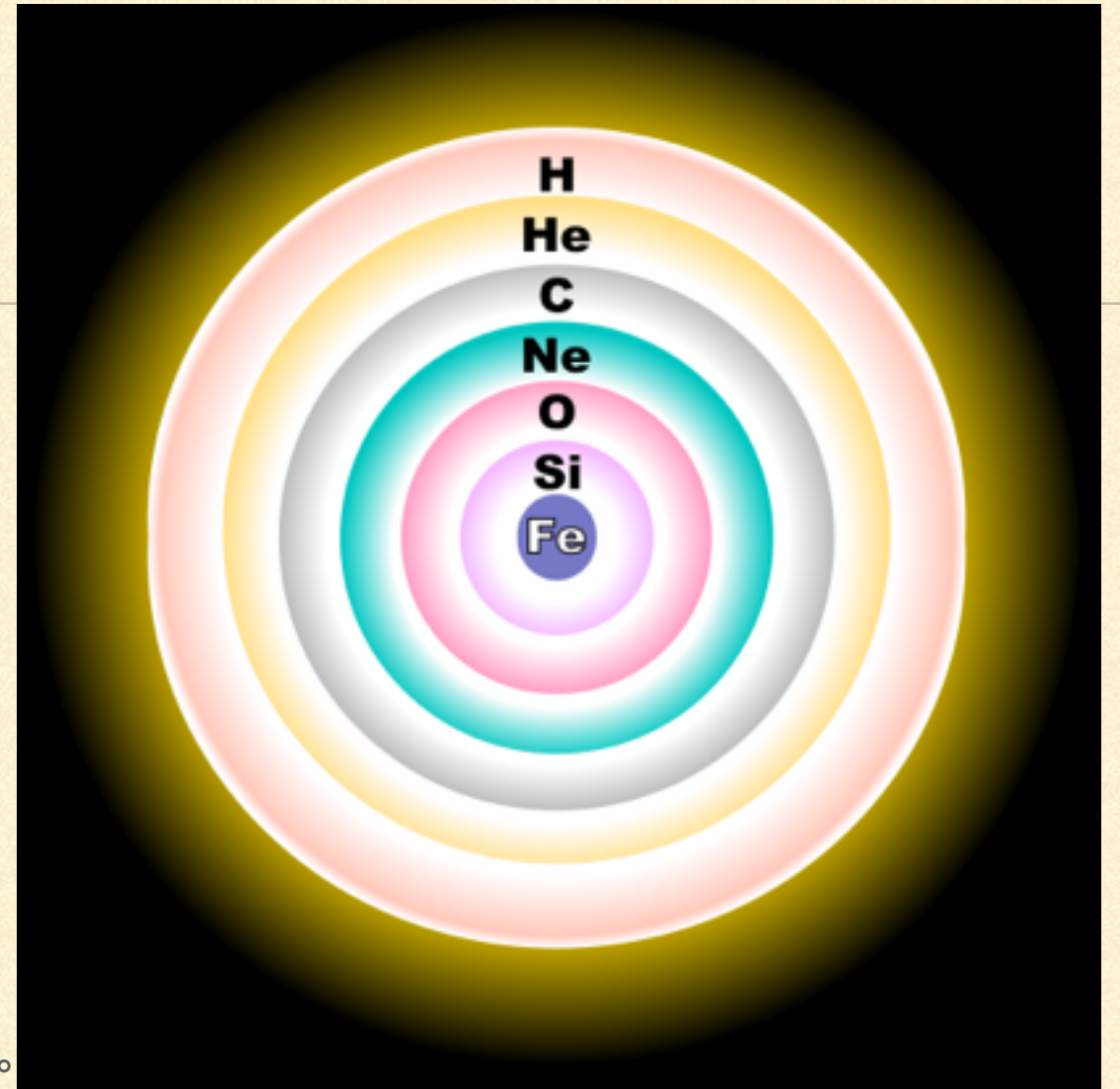


脉冲星、中子星

- 脉冲星磁层
 - 中子星内部结构
 - X射线双星
 - 用脉冲星研究引力波
 -
-

大质量恒星

- 大质量恒星的核反应可以一直进行
 - Fe的结合能最低，因此Fe是核聚变反应的终点
 - 当所有核反应物质被消耗光，星体开始引力收缩
 - 核心密度大到电子被原子核中的质子捕获，
 - 发生逆beta衰变反应： $e^- + p \rightarrow n + \nu_e$
 - 核心出现大量中子，中子简并压阻止外部壳层进一步坍塌。
 - 外部壳层被反弹，爆炸。核塌缩型超新星。
-
- 反弹激波？



黑洞

- 广义相对论vs万有引力定律
 - 时空几何vs“力场”
 - 测地线vs“牛顿第一定律 + 牛顿第二定律”
-

■ 时空几何vs“力场”

- 牛顿万有引力认为，质量在空间中产生了一个“力场”，任何放置其中的有质量物体都会受到力的作用。因此物体的运动状态发生了改变。
 - 广义相对论认为，物体始终沿着时空中的测地线运动。只不过，由于质量分布的出现，时空的几何发生变化，导致原先的测地线不再是测地线，物体因此沿着新的测地线运动，因此运动状态发生了改变，看起来“好像是受到了力一样”。
-

黑洞

- 对周围时空极度的扭曲
 - 不可逾越的鸿沟 —— 视界
 - 天文中如何观测黑洞（黑洞双星，吸积盘）
 - 惯性系拖曳 —— 提取黑洞的转动能量，喷流
-