

南京大学 2020-2021 学年第一学期期末考试试卷 A 卷

课程名称: 大学天文学 (医院) 考试限时: 120 分钟

(考试类型: 闭卷) 仙 II-113 2021-1-9 10:30-12:30

院系 _____ 年级 _____ 学号 _____ 姓名 _____

题号	一	二	三	四	总分
得分					

说明: 1. 可使用计算器, 英语字典, 电子词典, 但不允许考场相互借用, 不允许使用任何可以联网设备。

2. 物理常数: $G = 6.67 \times 10^{-8} \text{ g}^{-1} \text{ cm}^3 \text{ s}^2$, $h = 6.63 \times 10^{-27} \text{ erg s}$, $c = 3.0 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1}$,

$k_B = 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$, $\sigma_s = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$, $m_p = 1.67 \times 10^{-24} \text{ g}$, $\alpha = 4\sigma_s/c$.

3. 直接在卷面作答, 不可加页; 草稿纸由老师提供。

一. 填空题 (每空 2 分)

1. Λ CDM 模型是 _____, 其中 Λ 的数值约为多少 (结合无量纲哈勃常数 h 写出简单表达式)? $\Lambda = 6H^2 + 2\dot{H}$

提示 Friedmann's equations 中的一个 $\left(\frac{\dot{a}(t)}{a(t)}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{\Lambda}{3} = H^2 = (3H^2 + 2\dot{H}) = 8\pi G\rho$

- 对暗物质粒子, 如 WIMP 的探测可能有年调制效应, 在哪个月份探测到的事件率可能最大 (误差范围不超过两个月)。为什么? _____
- 估算地球表面单位时间、单位面积接收到的太阳中微子的数目 (含简单推导过程) _____, 日本超级神冈探测器探测机制是 _____
- 测距的方法很多, 如 Cepheid 变星是利用 周期光度 来测距, 而 Tully-Fisher 关系是利用 _____ 来测距。
- Below the solar surface, in order of increasing depth, lie the 对流 zone, the 辐射 zone, and the core.

二. 判断是非题 (每题 2 分, 正确打√, 错误打×)

- (√) 1 类星体光谱具有高红移, 是由其中心超大质量黑洞的引力红移所提供。
- (X) 2 星系旋转曲线的观测结果预示着星系约有 10% 的物质是不可见的。
- (X) 3 观测到的宇宙微波背景辐射就是物质与反物质脱耦时期的辐射的残留。
- (X) 4 大质量天体的附近, 除光子外所有的物体都将受到引力的作用。
- (√) 5 上世纪二十年代哈勃对一个近邻的椭圆星系即仙女座星系 (M31) 进行测距, 改变了对宇宙的认识。
- (X) 6 Both rotation and magnetic fields act to accelerate the gravitational collapse of an interstellar cloud.
- (√) 7 G-, K-, and M-type stars form more frequently than O- and B-type stars.

(X) 8 A billion solar-mass black hole would be bigger in size than our solar system.

(X) 9 Cool stars (surface temperature ~ 3000 ~ 4000 K) have very strong lines of hydrogen in their spectra.

(X) 10 Galaxy collisions can occur, but they are extremely rare, their collision rate are much lower than that of stars in our galaxy.

三. 单选题 (每题 2 分)

1. 一个天体坍塌为典型中子星 (质量约为一个太阳质量), 能释放多少能量?
A. 10^{44} 焦耳 B. 10^{46} 焦耳 C. 10^{48} 焦耳 D. 10^{50} 焦耳
2. Which of the following lists of spectroscopic types is in the proper order: hot to cool
A. OBAFGKM B. MKGFABO C. KMFABOG D. GOBAFMK
3. For which of the following spectral ranges is it essential that astronomical observations be made from space?
A. visible B. far UV C. radio D. near infrared
4. The star formation history in our galaxy is _____ in its early history and then _____.
A. High; increases B. High; decreases C. Low; increases D. Low; decrease
5. Why is the sky blue?
A. reflection off the oceans B. red light is scattered more than blue
C. blue light is scattered more than red D. air molecules produce blue spectral lines

四. 说明与论述题 (每题 10 分) (答题请言简意赅)

1. 请谈谈在这门课程学习过程中的收获和遗憾? 就自己在课程学习中掌握得最好的某个知识点 (不能与后面四题重复) 画一幅思维导图 (尽量体现出最核心的科学思想和所采用的方法)。

式可一值
 势阱 $\leftarrow P_F \cdot \frac{h}{2L} n_F$ 对像比 E_F 更复杂?

2. 请试着用简单的方法推导出非相对论性完全简并以及极端相对论性完全简并电子气体的状态方程 (即压强与质量密度间的关系); 并说明 (含简单公式推导和画图) 为何运用到白矮星会存在质量上限? 请给出其具体表达式和数值大小 (用物理常数来表示)。

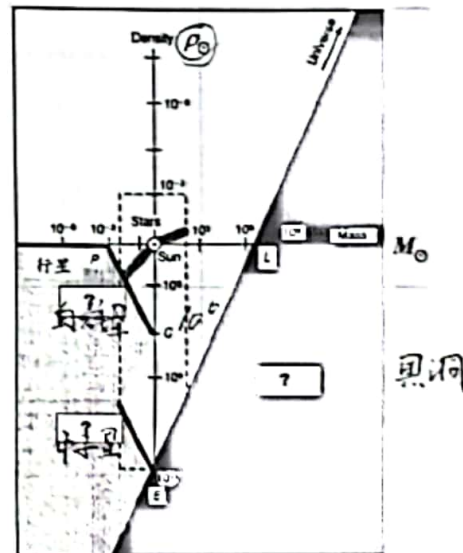
NR: $E = \frac{h^2 \pi^2}{2mL^2} (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)$
 $E_F = \frac{h^2}{2m} \left(\frac{3\pi^2 N}{V} \right)^{2/3}$
 $E_{tot} = N \int \frac{P_F^2}{2m} d^3P = \frac{3}{5} N E_F$
 $P = \left| \frac{dE_{tot}}{dV} \right| = \frac{(3\pi^2)^{2/3} \hbar^2}{5m} \left(\frac{N}{V} \right)^{5/3}$
 $\rho \propto \rho^{5/3}$
 $\rho = \left| \frac{dE_{tot}}{dV} \right| \sim \rho^{5/3}$
 WD 质量上限 (粗略计算)
 d : 到达同一距离 $P_F d \sim \hbar$
 $E_{tot} = (P_F c - \frac{G M m_p}{R})$
 $= (\hbar c - G m_p^2 N^{2/3}) d^{-1} = 0$
 $\Rightarrow N_{max} = \frac{\hbar c}{G m_p^2} \quad M_{max} = m_p N_{max} \sim 1.7 M_\odot$
 $P_F = \frac{h}{2L} n_F = \frac{h}{2} \left(\frac{3N}{\pi V} \right)^{1/3}$
 $\langle E_{tot} \rangle = N \int \frac{P_F c}{d^3P} d^3P = \frac{2}{3} N P_F c$
 $P = \left| \frac{dE_{tot}}{dV} \right| \sim \rho^{4/3}$
 UR: $E_F = P_F c$
 $\left(\frac{4}{3} \right)$ you cube:
 Lecture 25:
 Relativistic gas

3. In the Sirius binary system (天狼星双星系统), which has a parallax of $0.38''$ as observed from Earth, the companion Sirius B has apparent visual magnitude 8.44 and its spectrum suggests an effective temperature of $\sim 30,000$ K. In addition, the semimajor axis (半长轴) for the primary orbit and companion orbit are observed to be 6.54 and 13.26 AU, respectively, and the period for the binary is found to be 50.13 years.
 (a) What are the absolute visual magnitude M_v and absolute bolometric magnitude M_{bol} if the bolometric correction is $BC = -3.3$? (提示: $M_{bol} = M_v + BC$) (b) What is the luminosity of Sirius B based on this bolometric magnitude? (提示: 太阳的绝对热星等 $M_{bol} = 4.74$) (c) What is the radius of Sirius B? (d) What is the total mass of the binary and the individual mass of the companion Sirius B? (e) Assuming Sirius B to be spherical, what is its average density? (f) What kind of star is it, based on the information deduced in this question?

$d = 2.63 \text{ pc}$
 (a) M_v : 绝对星等由视星等得来 (可求) (e) $\frac{a_1 + a_2}{a_1 + a_2} = \frac{M_1}{M_2} = \frac{a_2 - c_2}{a_1 - c_1}$
 M_{bol} : 热星等 (全波段求得)
 B 相对 A 做椭圆
 $a = a_1 + a_2 = 19.8 \text{ AU}$
 $T = 50.13 \text{ years}$
 $\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G(M_1 + M_2)}$
 $\Rightarrow M_1 + M_2 = 6.37 \times 10^{30} \text{ kg}$
 $M_B = 2.10 \times 10^{30} \text{ kg}$
 $\bar{\rho} = 2.76 \times 10^9 \text{ kg/m}^3$
 (f) WD typical
 $r_{SD} \sim r_\odot$
 $M_{SB} \sim M_\odot$
 $d = \frac{1}{0.38} \text{ pc} = 2.63 \text{ pc} \quad m_v = 8.44$
 $= 10^{\frac{m_v - M_v + 5}{5}} \text{ pc} \Rightarrow M_v = 11.34$
 $M_{bol} = M_v + BC = 8.04$
 $\therefore \frac{L}{L_\odot} = 10^{-\frac{2}{5}(8.04 - 4.74)}$
 $L_\odot = 3.86 \times 10^{33} \text{ erg s}^{-1}$
 $\therefore L = 1.85 \times 10^{32} \text{ erg s}^{-1}$
 (c) $L = 4\pi r^2 \sigma T^4$
 $\Rightarrow r_{SB} = \sqrt{\frac{L}{4\pi \sigma T^4}} = 5.66 \times 10^6 \text{ m}$
 $= 5660 \times 10^5 \text{ km}$
 $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$

4. 上世纪末 The High-Z SN Search 小组和 Supernova Cosmology Project 小组分别对高红移 SN Ia 进行观测, 获2011年诺贝尔物理学奖。他们主要测量了哪些可观测量? 观测的直接结果是什么? 请从数学上和最直观的物理图像上对此结果分析, 给出目前宇宙正在做加速膨胀的结论。(提示: 光度距离用红移展开的表达式 $D_L \approx \frac{c}{H_0} (1 + \frac{1-q_0}{2} z)$)

5. 这是法国 Jean-Pierre Luminet 的科普书《Black Holes》中的一幅有关天体的质量和质量密度的双对数图。1) 图中几个带? 区域分别表示什么? 2) 请结合已掌握的数学、物理、天文知识尽量深挖此图中的重要信息。例如, 我们在中国大学慕课的课程公告中所写, 天体的一生是与引力抗衡的一生, 最终会引力胜? 量子胜? 或丝毫不剩?



南京大学 2019-2020 学年第一学期期末考试试卷 A 卷

课程名称: 大学天文学 (匡院) 考试限时: 120 分钟

(考试类型: 闭卷) 仙北-105 2020-1-11 14:00-16:00

院系 _____ 年级 _____ 学号 _____ 姓名 _____

题号	一	二	三	四	总分
得分					

- 说明: 1. 可使用计算器, 英语字典, 电子词典, 但不允许考场相互借用。不允许使用任何可以联网设备。
 2. 物理常数: $G = 6.67 \times 10^{-8} \text{ g}^{-1} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-2}$, $h = 6.63 \times 10^{-27} \text{ erg s}$, $c = 3.0 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1}$,
 $k_B = 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$, $\sigma_s = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$, $m_p = 1.67 \times 10^{-24} \text{ g}$, $a = 4\sigma_s/c$ 。
 3. 直接在卷面作答, 不可加页; 草稿纸由老师提供。

一. 填空两 (每空 2 分)

1. $M_{\odot} = 2 \times 10^{33}$ (B) $R_{\odot} = 7 \times 10^{10}$ cm, $L_{\odot} = 3.86 \times 10^{33}$ erg s⁻¹.

2. 依据其形态哈勃对星系进行了分类, 即哈勃叉图, 具体分为 _____。

3. 根据其运动速度 (相对于其 止质能) 大小, 暗物质可以分为哪几类 _____。

4. 中性氢的 21 厘米谱线是由 电子原子核自旋相互作用 产生的。

5. 微波背景辐射的 各向异性 产生的原因是 偶极: 观测者相对背景辐射的运动。

6. 请列出至少三个以上热木星 (Hot Jupiters) 的显著特征: _____。

7. 从 温到低温, 恒星光谱型的 序是 O B A F G K M。

8. 恒星的自行是指 恒星一年内行经的横向距离与观测者的距离。

二. 判断是 两 (每两 2 分, 正确打√, 错误打×)

- (√) 1 在一主星为致密星、伴星为主序星的密近双星系统中, 在主星附近极可能发生吸积物质的 Bondi 吸积。
 (√) 2 EHT 视界望远镜对 M87 星系中心的超大质量 洞进行拍照, 照片呈现为完整的圆形亮斑, 说明拍照是从其正 进行的。
 (X) 3 离星系中心越近, 恒星形成率越 , 重元素含量越 , 越易形成岩石行星。因此星系内, 存在生命的行星系统越 近星系中心越好。
 (√) 4 红巨星内部氢燃烧的产物是碳核。
 (X) 5 无论是主序星, 还是白矮星、中子星或奇异星, 天体的质量越大核心的质量密度将越。
 (X) 6 如果没有暗能量的话, 基于爱因斯坦的广义相对论, 宇宙将始终做减速膨胀。

- (X) 7 褐矮星为白矮星冷却到 矮星的演化过程中的一个中间阶段。
 (√) 8 第一个意识到银河系真实大小的天文学家为 W. Herschel 爵士。
 (X) 9 按照哈勃定律, 离我们越远的天体退行速度越大, 因此红移也就越大, 宇宙学红移实 上就是多普勒红移。
 (X) 10 一旦从观测上确定出双星系统, 则总可以确定出此系统中两 恒星的质量。

三. 单选两 (每两 2 分)

- () 1. The mass radius relation for White Dwarfs can be represented by ____
 (A) $R \propto M^{1/3}$ B. $R \propto M^1$ C. $R \propto M^{0.5}$ D. $R \propto M^{1/2}$
 () 2. 哪一位哲学家第一次拒绝用超自然 (supernatural) 来解释观测现象, 认为只有理性分析才可以。
 (A) Thales B. Aristotle C. Socrates D. Pythagoras
 () 3. Interstellar grains cause distant stars to appear to be both ____ and ____.
 A. bluer; brighter B. redder; brighter C. bluer; dimmer (D) redder; dimmer.
 () 4. The color index is a good indicator of a stars _____.
 A. Distance B. Luminosity C. Radius (D) Temperature
 () 5. 离我们越远的星系, 往往形状更加 _____, 体积 _____。
 A. 规则, 更小 B. 不规则, 更小 C. 规则, 更大 D. 不规则, 更大 (E) 以上均不是, 无规律

四. 说明与论述两 (每两 10 分) (答两题有阅卷)

1. 1) 这学期大学天文课程学习, 你最深的体会是什么? 最感兴趣的问两是什么? 请用简单的数学物理来描述。
 2) 伽利略说: “数学是上帝的语言”, 有人说: “物理是上帝的法则”, 你能否用点暗式的话语来地描述天文?
 3) 是否参加了中国大学 mooc 平台的《趣谈天体物理》学习? 若有, 请比较在线课程与线下课程的异同。

查 黑洞辐射...

2. 光谱分析在天文研究中极为重要, 有哪几种红移? 请按照费曼学习法中的“说人话”方式, 结合简单的物理学思想用自己的语言来阐述这几种红移。

多普勒
引力
宇宙学

3. Hawking 计算了 洞的 体辐射温度, 在自然单位制下 ($c = \hbar = G = k_B = 1$) 公式为,

$$T = \frac{1}{16\pi^2 M}$$

其中 M 为无旋转 洞的质量。1) 请用量纲分析的方法将上 表达式恢复到基本单位制; 2) 请用简单的方法导出类似的结果 (或许稍欠严格); 3) 请估算 $1 M_\odot$ 质量的 洞的寿命 (Evaporation time scale)?

$$1) \because [k_B T] = [E] = \frac{[mc^2][\hbar c/R]}{[GM^2/R]} = \left[\frac{\hbar c^3}{GM} \right]$$

$$\therefore T = \frac{\hbar c^3}{16\pi^2 G M k}$$

2) 辐射的峰值波长与 R_g 相当

$\lambda \propto M$
由 黑体辐射公式

$$\lambda T = \text{const}$$

$$\Rightarrow T \propto M^{-1}$$

$$3) \Delta E = \sigma T^4 \cdot 4\pi R^2 \Delta t$$

$$= M_0 c^2$$

$$\Rightarrow \sigma \left(\frac{\hbar}{16\pi^2 k} \right)^4 \cdot \frac{16\pi c^6}{G^2 M^2} \Delta t$$

$$= M_0 \sim 10^{30} \text{ kg}$$

4. 11月底 思 同学以“宜居带”为两进行了课堂翻转, 其中提到由英国大气学家 James E. Lovelock 在 20 世纪 60 年代提出的盖亚假说, “The earth is more than just a home, it's a living system and we are part of it.” 并以 菊世界模型为例展现了生物为应对气候, 进行自我调节的过程。人类作为地球上目前最 级的智慧生物, 从天文学和其它多学科的角度, 就我们应该具有的可能的责任和担当进行探讨。

5. 1) 恒星演化的研究中有三种十分重要的时标, 请问是哪三种? 请写出其数学表达式。运用到太阳, 具体数值为多少? (要求数量级正确) 2) 日 学可用来研究太阳内部结构, 其中最主要的天体表 振荡模式与上述哪个时标有关。3) 若考虑天体的自转以及存在磁场的因素, 这种振荡的周期会如何变化 (变短, 变长或不变)? 为什么?

动力 \sim 日震
核反应 \sim
磁 \sim

南京大学 2020-2021 学年第一学期期末考试试卷 A 卷

课程名称: 大学天文学 (物院) 考试限时: 120 分钟

(考试类型: 闭卷) 题数: 105 2021-1-4 14:00-16:00

院系 _____ 年级 _____ 学号 _____ 姓名 _____

题号	一	二	三	四	总分
得分					

说明: 1. 可使用计算器, 英语字典, 电子词典, 但不允许考场相互借用, 不允许使用任何可以联网设备。

2. 物理常数: $G = 6.67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-2}$, $h = 6.63 \times 10^{-27} \text{ erg s}$, $c = 3.0 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1}$,
 $k_B = 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$, $\sigma_s = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$, $m_p = 1.67 \times 10^{-24} \text{ g}$, $a = 4\sigma_s/c$ 。
 3. 直接在卷面作答, 不可加页; 草稿纸由老师提供。

一. 填空题 (每空 2 分)

1. 太阳中微子问题是什么问题? _____, 最终如何解决的 (改变了人们对中微子的哪些认识) _____。
2. 暗物质存在的证据有哪些? (任写其中两个) _____, 可能的暗物质候选体有 (任写其中两个) _____。
3. 观察到类星体 3C273 的 光变延滞时间 为 146 天, 而它在望远镜中的张角为 $\theta = 46$ 微角秒, 则 3C273 距离地球约为多少光年? 请写出计算过程和结果 _____。从测量 (或从原理) 的角度看, 这个距离是什么距离? _____。
4. 设两黑洞 (质量分别为 M_1 和 M_2) 合并, 发生在它们之间的距等于史瓦西半径之和时, 显然此时双黑洞绕转有最大的轨道角速度, 请写出此角速度的表达式 $\frac{2\pi G(M_1+M_2)}{r^3}$ 。若 LIGO 探测到双黑洞合并过程中最大频率为 300 Hz, 这告诉我们什么? $\frac{\omega}{2\pi} \approx 300/1 \text{ s}^{-1}$ $\frac{M_1+M_2}{r^3} \approx 7.57 \times 10^{21} \text{ kg}$ (含具体数值计算的结果)。
5. 主序星核心正在进行的最主要的核反应的等效表达式为 $4\text{H} \rightarrow \text{He} + 2e^+ + 2\nu_e + \gamma$ 。这个等式中要注意到物理学中的哪些守恒? 电荷, 重子数, 轻子数。

二. 判断是非题 (每题 2 分, 正确打√, 错误打×)

1. 黑洞自转方向与吸积盘绕转方向一致时, 吸积盘的内边缘距离黑洞的视界面更近, 吸积物质产能更高效。 (X)
2. 任何情况下光速都是一样的。 (X)
3. 对恒星光谱进行细致分析, 可测量其元素组成。 (√)
4. 上世纪二十年代, 哈勃对一个近邻的椭圆星系即仙女座星系 (M31) 进行测距, 改变了对于宇宙的认识。 (√)
5. 宇宙年龄有限是解释奥伯斯悖论的最主要原因。 (X)
6. The brightness of a star in the sky tells you its luminosity. (X)

7. Hydrostatic equilibrium (流体静力学平衡) inside the Sun means that radiation pressure and gas pressure balances the weight of outer layers pushing down. (√)
8. A pulsar changes in brightness because its size pulsates. (X)
9. In our universe, $\Omega_{\text{matter}} + \Omega_\Lambda$ is as close to one as we can measure. (√)
10. Copernicus discovered the moons of Jupiter. (X)

$$L = 4\pi r^2 \sigma T^4$$

得分

三. 单选题 (每题 2 分)

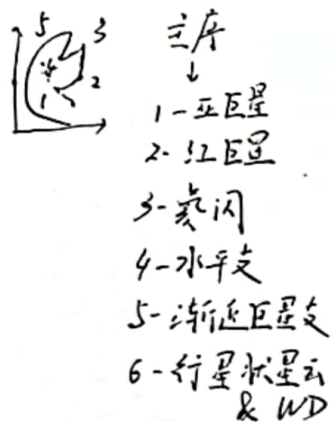
1. 50 亿年后, 太阳将演化成红巨星, 表面温度约降低一半, 光度增加大约 10000 倍, 那时太阳的半径约 增大 400 倍 A. 增大 400 倍 B. 保持不变 C. 增大 1600 倍 D. 增大 200 倍
2. 一个天体膨胀为质量等于一个太阳质量的中子星, 大约能够释放多少能量? 10^{46} 焦耳 A. 10^{46} 焦耳 B. 10^{44} 焦耳 C. 10^{48} 焦耳 D. 10^{55} 焦耳
3. Which of the following regions of the electromagnetic spectrum has the lowest-energy light? radio A. visible B. gamma ray C. ultraviolet D. radio
4. In the disk of the Milky Way, stars are _____ and dust and gas are more _____ than in the halo. younger; diffuse A. younger; diffuse B. older; diffuse C. older; dense D. younger; dense
5. On the main sequence (主序星), massive stars burn their hydrogen fuel more rapidly than the Sun A. conserve their hydrogen fuel by burning helium. B. burn their hydrogen fuel more rapidly than the Sun. C. burn their fuel more slowly than the Sun D. evolve into stars like the Sun.

得分

四. 说明与论述题 (每题 10 分) (答题请言简意赅)

1. 请谈谈在这门课程学习过程中自己有哪些收获和遗憾? 若满分为 5 分, 你给自己的学习态度打几分, 为什么? 请就自己在课程学习中掌握得最好的某个知识点 (不能与后面四题重复) 画一幅思维导图。

2. 请画赫罗图，并做出太阳质量大小的恒星在赫罗图上的演化轨迹，标注出其演化的不同阶段。并对不同的演化阶段内部发生的主要物理过程进行简要描述。



3. 1) 质量为 M 的黑洞，其Hawking辐射温度在自然单位制下 ($G=c=\hbar/2\pi=k_B=1$) 的表达式为

$$T = \frac{1}{8\pi M}$$

请将其恢复到国际单位制；2) 由此来推导黑洞寿命的表达式；3) 对于1个太阳质量的黑洞，其Hawking辐射温度为多少 K，寿命为多少 yr?

$$1) T = \frac{\hbar c^3}{16\pi^2 G M k_B} = \left(\frac{\hbar c^3}{16\pi^2 G k} \right) \frac{1}{M}$$

$$2) c^2 \frac{dM}{dt} = -\sigma T^4 4\pi \left(\frac{2GM}{c^2} \right)^2$$

$$\Rightarrow \int M^2 dM = -\alpha \int dt \quad (\alpha = \text{const})$$

$$T = \frac{M^3}{3\alpha}$$

$$3) M_0 \approx 2 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$T = 6.13 \times 10^{-8} \text{ K}$$

$$\tau = 2.14 \times 10^{67} \text{ yr}$$

爱因斯坦引入的宇宙学常数 Λ 是解释暗能量最简单的一种模型。What is the physical cause of the cosmological constant? A leading candidate for this component is the vacuum energy in quantum physics. 但二者之间在数量级上差异巨大，请结合掌握的物理知识来推导、计算说明。(提示：留意普朗克能量密度)

5. 恒星为何存在有质量下限？约为多少个太阳质量？请运用所掌握的物理学知识推导出此质量下限的表达式，并结合不同核素的原子核的平均结合能来探讨不同质量恒星演化的结局。

$$10^{-0.08} M_0 \quad \text{结合能: } N k_B T \sim \frac{G M^2}{R} \quad R \sim N^{\frac{1}{3}} d \sim N^{\frac{1}{3}} \lambda_{de} \quad \lambda_{de} \sim \frac{h}{\sqrt{2m_e kT}}$$

$$\Rightarrow k_B T_{\max} \sim \frac{G^2 m_p^4 m_e}{2 \hbar^2} N^{\frac{1}{5}}$$

$$\text{要 } T_{\max} > \text{点火点温度 } k_B T_{\text{ign}} \sim \eta \alpha^2 m_p c^2 \sim 1 \text{ keV} \quad (\text{记住准确 } T_{\text{ign}} = 4 \times 10^6 \text{ K})$$

$$T_{\max} > T_{\text{ign}} \Rightarrow N > 1.2 \times 10^{56} \quad M > 0.1 M_0$$

2° 核素，点燃更重需要克服更高库仑势，要更大质量
两种情况：质量不够大，不是点燃更重元素燃烧
质量够大，核心最终铁核。

3° 演化结局

$< 0.08 M_0 \rightarrow$ 褐矮星

$0.08 \sim 0.4 M_0 \rightarrow$ 红矮星 比太阳寿命还长

$0.4 \sim 8 M_0 \rightarrow$ 白矮星

$8 \sim 25 M_0 \rightarrow$ 中子星

$> 25 M_0 \rightarrow$ 黑洞

南京大学 2018-2019 学年第一学期期末考试试卷 A 卷

课程名称: 大学天文学 考试限时: 120 分钟

(考试类型: 闭卷) 仙 1-102 2019-1-10 14:00-16:00

院系 _____ 年级 _____ 学号 _____ 姓名 _____

题号	一	二	三	四	总分
得分					

注明: 1. 可使用计算器, 英语字典, 电子词典, 但不允许考场相互借用。不允许使用任何可以联网设备

2. 物理常数: $G = 6.67 \times 10^{-8} \text{ g}^{-1} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-2}$, $h = 6.63 \times 10^{-27} \text{ erg s}$, $c = 3.0 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1}$,
 $k_B = 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$, $\sigma_s = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$, $m_p = 1.67 \times 10^{-24} \text{ g}$, $a = 4\sigma_s/c$.

3. 直接在卷面作答, 不可加页; 草稿纸由老师提供。

一. 填空两 (每空 1 分)

- 1 AU = $1.50 \times 10^{13} \text{ cm}$, 对应着 地球、太阳 之间的距离, 1 pc = 3.09×10^{18} cm. 3.26 ly
- 请写出太阳内部正在进行的最主要的核反应的等效表达式 $4\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + 2e^+ + 2\nu_e + \gamma$, 太阳的光度 $3.86 \times 10^{33} \text{ erg s}^{-1}$, 请估算地球表 每秒每平方厘米接收到的太阳中微子的数量 6×10^{10} .
- 银河系中的球状星团主要分布在 银盘 中, 而疏散星团主要分布在 银盘 中。
- 白矮星的 Chandrasekhar 极限质量约为 1.457 M_\odot , 超过此临界质量, 电子简并压无法抗衡引力。
- 宇宙中含量最丰富的两种核素是 H, He, 是 原始核合成 形成的。
- The Jeans mass is the critical mass for 行星形成 with $M_J \propto T^{-3/2} n^{1/2}$, where $a = \frac{3}{2}$, $b = -\frac{1}{2}$.
- The radial velocity of a star is determined by observing its 光谱 and using the 多普勒 effect.
- The question asked in Olber's paradox of cosmology is 夜空为什么是黑的.
- Neutron capture is responsible for the formation of elements heavier than 铁.
- The radius of a star can be indirectly determined if the 温度 and 光度 of the star are known.

二. 判断是 两 (每两 1 分)

- (X) 1 Hubble 定律告诉我们宇宙在膨胀, 并且将无 膨胀下去。
- (X) 2 从第一代恒星形成到现在, 宇宙中形成的所有的红矮星仍处于主序阶段。
- (X) 3 银河系人 座方向的银心包含一个质量 常巨大的 洞, 约为 $10^6 M_\odot$.
- (X) 4 如果太阳系不在银盘上而是在银晕中, 夜晚我们依然能够看到壮美的带状“银河”。
- (X) 5 脉冲星都是中子星, 反之亦然。
- (X) 6 在水平支演化阶段的恒星, 核心正在进行着平稳氢燃烧。
- (X) 7 从物理本质看, Ia, Ib 以及 Ic 型超新星都是热核产能释放引发的超新星爆发。
- (X) 8 离太阳最近的恒星在 1 pc 之外。 4.22 ly

- (X) 9 体谱的形态完全取决于 体的温度, 而与其大小、化学组成无关。
- (X) 10 对极低质量的恒星因温度低, 不透明度大, 内部会形成整体对流。
- (X) 11 Dark matter is now known to be due to large numbers of black holes.
- (X) 12 The spectrum of an active galaxy is well described by a blackbody curve.
- (X) 13 A planetary nebula is the disk of matter around a star that will eventually form a planetary system.
- (X) 14 The Sun will get brighter as it begins to run out of fuel in its core.
- (X) 15 Both rotation and magnetic fields act to accelerate the gravitational collapse of an interstellar cloud.
- (X) 16 Newton's modification of Kepler's Third Law lets us measure the mass of the Sun.
- (X) 17 Copernicus discovered the moons of Jupiter.
- (X) 18 K and M stars make good spiral tracers for finding the structure of the Milky Way Galaxy.
- (X) 19 Hydrogen lines are weaker in both very hot and very cool stars.
- (X) 20 The Sun's density is about the same as Earth's.

三. 单选两 (每两 1 分)

- () 1. The mass radius relation for White Dwarfs can be represented by ____.
 A. $R \propto M^{-1/3}$ B. $R \propto M^1$ C. $R \propto M^{0.5}$ D. $R \propto M^{-1/2}$
- () 2. Pulsations in a Cepheid variable star are controlled by the ____.
 A. spin. B. magnetic field. C. ionization state of helium. D. gravitational field.
- () 3. Which planet was used by Albert Einstein to test the difference between his theory of general relativity and Newton's theory of gravity?
 A. Mercury B. Venus C. Mars D. Jupiter
- () 4. For which of the following spectral ranges is it essential that astronomical observations be made from space?
 A. visible B. far UV C. radio D. near infrared
- () 5. The color index (色指数) is a good indicator of a star's ____.
 A. Distance B. Luminosity C. Radius D. Temperature
- () 6. About how many stars are visible on a clear, dark night with the naked eye alone?
 A. a few dozen B. a few hundred C. a few thousand D. tens of thousands E. millions and millions
- () 7. Stefan's Law says:
 A. the hotter a star's surface, the bluer it looks to us B. $E = mc^2$
 C. that if the Sun's temperature were doubled, it would give off $16 \times$ more energy
 D. that doubling the star's temperature would also double its peak wavelength
- () 8. Hydrostatic equilibrium in our Sun is the balance between ____.
 A. convection and radiation. B. pressure and radiation. C. radiation and gravitation. D. gravitation and pressure.
- () 9. What is the single most important characteristic in determining the course of a star's evolution?
 A. density B. absolute brightness C. distance D. surface temperature E. mass
- () 10. The energy required to move an electron in a hydrogen atom from energy level 1 to energy level 2 is ____.
 A. 10.2 eV B. 12.1 eV C. 12.75 eV D. 13.1 eV E. 13.6 eV

1. 这学期课程多次用到了量纲分析和定性、半定量的方法, 请列出你印象最深的某个问题, 结合已具备的数学物理学基础稍做展开和讨论。

WD $R \sim M^{-\frac{1}{3}}$ 电子简并压 vs 引力 P_F 也可由 $\frac{1}{2} \rho v^2$

$$P_F \sim \frac{h^2}{a} \text{ 对其中原子}$$

$$E = \frac{P_F^2}{2m_e} = \frac{G M m_p}{R} = \frac{h^2}{2m_e} d^{-2} = G m_p^2 N^{\frac{2}{3}} d^{-1}$$

$$R \sim d N^{\frac{1}{3}} \quad d \sim \lambda_{de} = \frac{h}{p}$$

$$\Rightarrow d^{-1} = \frac{m_e}{h^2} G m_p^2 N^{\frac{2}{3}} \sim (R N^{\frac{1}{3}})^{-1}$$

$$M = N m_p \Rightarrow R \sim N^{-\frac{1}{3}} \sim M^{-\frac{1}{3}} \quad \square$$

2. 画出太阳质量大小的恒星在赫罗图上的演化轨迹, 并简要标明其演化的不同阶段以及内部发生的主要物理过程。

前

4. The Crab Nebula pulsar radiates at a luminosity of about 1×10^{31} W and has a period of 0.033 s. If $M = 1.4 M_\odot$ and $R = 1.1 \times 10^4$ m, determine the rate at which its period is increasing (dP/dt). How many years will it take for the period to double its present value?

脉冲星

$$L = 1 \times 10^{31} \text{ W}$$

$$P = 0.033 \text{ s}$$

$$L = -\frac{dE_{rot}}{dt} = -\frac{1}{2} \frac{2}{5} M R^2 \frac{d\omega}{dt} (\omega^2) \quad \omega = \frac{2\pi}{P}$$

$$= \frac{8\pi^2}{5} M R^2 \frac{1}{P^3} \frac{dP}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{dP}{dt} = \frac{5 L P^3}{8\pi^2 M R^2} = 6.72 \times 10^{-14}$$

2° 积分得

$$\frac{5L}{4\pi^2 M R^2} \Delta t = \frac{3}{4} \frac{1}{P^2}$$

$$\Delta t = \frac{3\pi^2 M R^3}{5 L P^2} = 4.65 \times 10^7 \text{ yr}$$

基于 Friedman 临界宇宙模型来估算我们可见宇宙由多少重子物质构成? 它可以构成多少恒星, 多少个星系? 有人说“可见宇宙或许处于一个超大洞的视界之中”, 请谈谈你对此理解。

(哈勃常数 $H_0 = h \times 100 \text{ km sec}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ 用无量纲哈勃常数 h 表示)

3. Calculate the main-sequence lifetimes (主序寿命) for stars of 0.5, 1, 5, 10, and $25 M_\odot$. Calculate the hydrostatic equilibrium time scale (流体力学平衡时标) of sun, typical White Dwarf ($M = 0.6 M_\odot$, $R = 0.02 R_\odot$) and typical Neutron Star ($M = 1.4 M_\odot$, $R = 20 \text{ km}$).

主序寿命由核反应时标表征 $2^\circ \frac{dE}{dt} = -\frac{1}{2} \frac{dP}{dt} = \frac{G M(r)}{r^2}$

$$T_{nuc} = \frac{E_{9sc} \cdot M \epsilon}{L} \quad \epsilon = 0.7\% \quad \frac{R}{r} \sim \frac{G M}{R^2} \quad T_{id} \sim \sqrt{\frac{R^3}{G M}}$$

$$\approx 10^{10} \text{ yr} \left(\frac{M}{M_\odot} \right) \left(\frac{L}{L_\odot} \right)^{-1} \quad \sim 27 \text{ min} \left(\frac{R}{R_\odot} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{M}{M_\odot} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$\therefore L \sim M^4$

$\therefore T_{nuc} \approx 10^{10} \text{ yr} \left(\frac{M}{M_\odot} \right)^{-3}$

0.5 M_\odot	$8 \times 10^{10} \text{ yr}$
1 M_\odot	10^{10} yr
5 M_\odot	$8 \times 10^7 \text{ yr}$
10 M_\odot	$1 \times 10^7 \text{ yr}$
25 M_\odot	$6 \times 10^5 \text{ yr}$

$T_{id} = M_\odot - 27 \text{ min}$

WD - 0.99 min

NS - $5.5 \times 10^{-4} \text{ min}$

南京大学 2021-2022 学年第一学期期末试卷 A 卷

课程名称: 大学天文学 (物院、医区) 考试时间: 120 分钟

(考试类型: 闭卷) 教 101(物) 仙 II-214 (医) 2022-1-2 10:30-12:30

院系 _____ 年级 _____ 学号 _____ 姓名 _____

题号	一	二	三	四	总分
得分					

注明:

- 物理常数: $G = 6.67 \times 10^{-8} \text{ g}^{-1} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-2}$, $h = 6.63 \times 10^{-27} \text{ erg s}$, $c = 3.0 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1}$, $k_B = 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$, $\sigma_s = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$, $m_p = 1.67 \times 10^{-24} \text{ g}$, $a = 4\sigma_s/c$.
- 直接在卷面作答, 不可加页; 草稿纸由老师提供。
- 题号后 (物) 表示物院同学需做题, (医) 表示医区同学需做题, 没有标注表示所有同学均需做题。

一. 填空题 (每空 2 分, 总得分不超过 20 分)

- 由观测数据的拟合或简单推导课程中给出了不少幂律关系, 请写出恒星的质量 (M) 与光度 (L) 的关系 $L \propto M^{3.5}$; 白矮星的质量 M 与半径 R 的关系 $M \propto R^{-3}$; 基于 Hawking 辐射, 黑洞的寿命 τ 与其质量 M 的关系 $\tau \propto M^3$; 星云坍缩的 Jeans 临界质量 (M) 与坍缩云的温度 T 和粒子的数密度 n 满足的关系 $M \propto (nT)^{-1/2}$; 基于爱因斯坦的广义相对论和宇宙学原理, 宇宙中辐射场能量密度 $\rho(t)$ 随尺度因子 $a(t)$ 的演化关系 $\rho \propto a^{-4}$;
- 对近邻的恒星可以利用 三角视差 的方法来测距; 对较近的河外星系可通过观测其内部的 变星, 由 周光 关系来测距; 对更遥远的天体可以把 Ia 型超新星 作为标准烛光来进行测距。
- (医) 引力波能作为检验广义相对论的一种方法, 原因是 引力波是时空的涟漪, 传播速度为光速。
- (物) 暗物质课堂翻转部分介绍了轴子是某种 U(1) 对称性自发破缺产生的玻色子, 轴子场梯度与核子自旋的耦合类似于自旋与磁场的耦合, 这暗示我们可以利用 核磁共振 技术探测轴子。

二. 判断是非题 (每题 2 分, 正确打√, 错误打×, 总得分不超过 20 分)

- 利用太阳光谱中的吸收线可测量其内部的元素组成。 (√)
- 恒星光谱型和色指数均可反映恒星的表面温度, O 型星相对于 G 型星色指数更大。 (√)
- 快速旋转的磁中子星是脉冲星。 (√)
- 目前观测倾向于支持以冷的暗物质为主的宇宙中星系结构形成模型。 (√)
- 若观测到超光速运动, 要求光源以接近于光速且沿着视线方向运动。 (×)
- 行星状星云的中心通常存在着一颗中子星。 (√)
- 因观测到宇宙目前正在做加速膨胀, 预示着宇宙演化的最终结果是“Big Rip”。 (×)
- (医) 宇宙微波背景辐射可以非常好地对应着 2.73K 的黑体辐射, 说明目前宇宙微波背景温度为 2.73K。 (√)
- (医) 引力波探测中极为重要的激光干涉仪的原理与迈克尔逊干涉仪原理类似。 (√)
- (医) 多信使天文学的主要观测手段有电磁波, 引力波, 中微子和宇宙射线。 (√)
- (物) 中微子的“味”, 能量和静质量均与中微子飞行一定距离后的转化概率有关。 (√)
- (物) 我国利用射电技术的“天眼”项目是用来探测暗物质的性质。 (√)

() 10' (物) 在四颗伽利略卫星中木卫四拥有最古老的表面, 这因为它不处于共振轨道内, 地质活动不活跃。

三. 单选题 (每题 2 分, 总得分不超过 10 分)

- 星际介质主要由 _____ 组成
(A) 氢和氦 (B) 碳和氧 (C) 氮和甲烷 (D) 硅和铁
- Tully-Fisher 关系将旋涡星系的 _____ 与其测量到的 _____ 联系起来。
(A) 视亮度; 气体质量 (B) 光度; 气体质量
(C) 视亮度; HI 线宽和旋转速度 (D) 光度; HI 线宽和旋转速度
- (医) 宇宙微波背景辐射在高度各向同性之中, 有微小的各向异性, 根据 Sunyaev-Zel'dovich 效应, 光子与天体中的高能电子发生 _____, 造成背景辐射偏离理想黑体辐射光谱。
(A) 干涉 (B) 折射 (C) 逆康普顿散射 (D) 康普顿散射
- (医) 伽马射线暴 (GRB) 分为长暴和短暴, 目前认为长暴主要由 _____ 产生, 短暴主要由 _____ 产生。
(A) 太阳爆发 大质量恒星坍缩 (B) 双致密星合并 磁星活动
(C) 磁星活动 太阳爆发 (D) 大质量恒星坍缩 双致密星合并
- (医) 爱因斯坦在 1916 年求解引力波相关问题的时采用了何种近似方式, 使得他认为“引力波是存在的”?
(A) 后牛顿近似 (B) 指数近似 (C) 后闵可夫斯基近似 (D) 对数近似
- (物) 以下哪一颗卫星探测到首例引力波事件伴随的短伽马射线暴 GRB170817A?
(A) GRID (B) GECAM (C) Fermi (D) LIGO
- (物) 以下哪个实验探测到了 1987A 超新星爆发产生的中微子?
(A) 日本神冈实验 (B) 加拿大 SNO 实验 (C) 中国大亚湾实验 (D) 美国萨凡纳河实验
- (物) 下面哪个不是重力波探测器的应用?
(A) 测量宇宙学距离的标准尺 (B) 探测暗能量 (C) 探测暗物质 (D) 限制宇宙透明度

四. 说明与论述题 (每题 10 分, 总分 50 分) (答题请简要说明)

1. 天文学是一门基于观测的自然科学, 请结合以往实践、实验课程和《大学天文学》课程内容, 为本科新生设计一个对数理解知识要求的门槛低、操作性强但又蕴含有关文学精华思想的实验教学环节的内容 (亦可采用虚拟仿真实验的方式)。并请对此设计思路加以简要说明。

双对数图

$$R_g = \frac{2MG}{c^2} \quad \lg M = \lg R - \lg \frac{c^2}{2G}$$

2. 请推导填空题第1题中的任何一个幂律关系，并请对此推导过程给予适当说明。

1° 白矮星 $R \sim M^{-1/3}$

$$\frac{dP}{dr} = -\frac{Gm\rho}{r^2} \quad \rho \sim \rho^{1/2}(NR)$$

$$\rho^{1/2} \sim \frac{M\rho}{R^2} \quad M \sim \rho R^3$$

$$\Rightarrow \left(\frac{M}{R^3}\right)^{1/2} \sim \frac{M}{R^2} \quad M \sim R^{-3}$$

2° 温度 $T \sim M^{-1}$ (黑: 同寿命)

$$L = 4\pi R_g^2 \sigma T^4 = \frac{dE}{dt}$$

$$\Rightarrow R_g^2 T^4 \sim \frac{Mc^2}{\tau} \quad (R_g \sim M)$$

$$M^{-2} \sim \frac{M}{\tau} \Rightarrow \tau \sim M^3 \Rightarrow L \sim R^2 \frac{R^3}{M} \left(\frac{M}{R}\right)^4 / R \sim M^3$$

3° 主序 $3NkT = \frac{3}{5} \frac{GM^2}{R}$ (引力)

$$N \sim nR^3$$

$$nTR^3 \sim \frac{M^2}{R} \quad M \sim (nT)^{1/2} R^2$$

4° 恒星系

$$L = -4\pi r^2 D \frac{2u}{dr}$$

D 扩散系数

$$u = \frac{v}{c} \sigma T^4$$

能量密度

$$D = \frac{1}{3} c \lambda = \frac{c}{3} \frac{1}{n\sigma\tau}$$

$$L \sim R^2 D \frac{u}{R} \quad \langle n\sigma \rangle = \frac{M}{m\sigma \frac{1}{2} n R^3}$$

$$\text{引力: } 3NkT \sim \frac{3}{5} \frac{GM^2}{R} \quad T \sim \frac{M}{R}$$

$$\Rightarrow L \sim R^2 \frac{R^3}{M} \left(\frac{M}{R}\right)^4 / R \sim M^3$$

3. It was stated that if the more massive star in a binary system loses mass to the secondary, then the separation (间距) between them decreases. This is true if angular momentum isn't lost from the system. Using conservation of momentum, show that the separation does decrease.

$$\frac{GM_1 M_2}{r^2} = \mu \omega^2 r \quad \mu = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}$$

$$L = m_1 \omega r_1^2 + m_2 \omega r_2^2 = \mu \omega r^2 = \mu \sqrt{GM_1 M_2} r$$

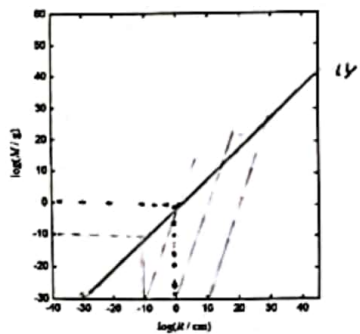
$$L = L' \Rightarrow \mu r = \mu' r' \quad \mu' = \frac{(M_1 - \Delta M)(M_2 + \Delta M)}{M_1 + M_2}$$

$$0 < \Delta M < \frac{M_1}{2} (M_1 - M_2)$$

$$\text{有 } \mu' > \mu$$

$$\therefore r' < r \quad r \text{ 减小}$$

4. 1) 请写出质量为 M 的天体的引力半径(史瓦西半径) R_g 的表达式，并画在右边 $\log M - \log R$ 的双对数图上；2) 在图中做出原子核的等质量密度线；3) 若假定中子星的质量密度近似为核子的饱和密度 ρ_0 ，请证明：中子星存在一个绝对的质量上限，请导出其表达式；4) 请基于 TOV 方程来探讨均匀密度的中子星模型。证明：当天体半径 $R < 9/8 \times R_g$ 时，均匀密度的天体会坍缩成黑洞。



$$\frac{dP(r)}{dr} = -\frac{Gm(r)\rho(r)}{r^2} \cdot \frac{[1 + \frac{P(r)}{\rho(r)c^2}][1 + \frac{4\pi r^3 P(r)}{m(r)c^2}]}{1 - \frac{2Gm(r)}{rc^2}}$$

$$13. \quad M_n = \frac{4}{3} \pi R_n^3 \rho_0$$

$$R_n = \left(\frac{3M_n}{4\pi\rho_0}\right)^{1/3} > R_g$$

$$\Rightarrow M < \sqrt{\frac{3c^6}{32\pi G^3 \rho_0}}$$

$$PS: \alpha = \frac{8\pi\rho_0 R^2}{3}$$

$$= \frac{2M}{R} = \frac{R_g}{R} < 1$$

$$u(r) = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_0 \quad \rho(r) \equiv \rho_0 = \text{const}$$

Set $G = c = 1$ 代入 TOV 方程

$$\Rightarrow \frac{d(P/\rho)}{(1+P/\rho)(1+3P/\rho)} = \frac{\frac{4}{3} \pi \rho_0 r}{\frac{4}{3} \pi \rho_0 r^2 - 1} dr$$

$$\text{积分} \Rightarrow -\frac{1}{2} \ln \left| \frac{1+3P_0/\rho_0}{1+P_0/\rho_0} \right| = \frac{1}{4} \ln \left| 1 - \frac{8\pi\rho_0 R^2}{3} \right|$$

$$\text{set } \alpha = \frac{8\pi\rho_0 R^2}{3} \Rightarrow P_0 = \rho_0 \left(\frac{1-\sqrt{1-\alpha}}{3\sqrt{1-\alpha}-1} \right) > 0$$

$$\Rightarrow 3\sqrt{1-\alpha} - 1 > 0$$

$$\Rightarrow R < \frac{9}{8} R_g \quad \square$$

5. 奥伯斯 (Olbers) 佯谬是个怎样的问题？基于现代宇宙学如何给予解释？其中最关键的原因是什么？

若宇宙无限，静态的恒星分布均匀，则夜空应当同白天一样亮

解释：静态宇宙模型是有问题的，可观测宇宙大小有限，空间膨胀，红移，较远星发出能量减小

南京大学 2019-2020 学年第一学期期末考试试卷 A 卷

课程名称: 大学天文学 (物院) 考试限时: 120 分钟

(考试类型: 闭卷) 鼓楼教 202 2020-1-5 10:30-12:30

院系 _____ 年级 _____ 学号 _____ 姓名 _____

题号	一	二	三	四	总分
得分					

注明: 1. 可使用计算器, 英语字典, 电子词典, 但不允许考场相互借用。不允许使用任何可以联网设备

2. 物理常数: $G = 6.67 \times 10^{-8} \text{ g}^{-1} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-2}$, $h = 6.63 \times 10^{-27} \text{ erg s}$, $c = 3.0 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1}$, $k_B = 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$, $\sigma_s = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^2 \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$, $m_p = 1.67 \times 10^{-24} \text{ g}$, $a = 4\sigma_s/c$ 。
3. 直接在卷面作答, 不可加页; 草稿纸由老师提供。

一. 填空题 (每空 2 分)

1. $M_\odot = 1.988 \times 10^{33} \text{ g}$, $R_\odot = 6.963 \times 10^{10} \text{ cm}$, $L_\odot = 3.86 \times 10^{33} \text{ erg s}^{-1}$ 。

2. 主序星核心进行的最主要的核反应的等效表达式为 $4H \rightarrow {}^4\text{He} + 2e^+ + 2\nu_e + \gamma$, 请估算地球

表面每平方米每秒接收到的太阳中微子的数量为 $6 \times 10^{10} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 。

3. Kirchhoff 定律称: 热的, 致密 气体产生连续谱; 热的, 稀薄 气体产生发射线; 冷的, 稀薄 产生吸收线。

4. 当质子和电子的数密度相等时, 电子的费米能 大于 质子的费米能。(大于, 等于, 小于) $E_F \propto \frac{1}{m}$

5. 奇异星表面的库伦势垒主要与 夸克夸克的电子 有关。

二. 判断是非题 (每题 2 分, 正确打√, 错误打×)

(X) 1. 无论是主序星, 还是白矮星、中子星或奇异星, 天体的质量越大核心的质量密度将越高。

(X) 2. 观测到行星的逆行现象可以否定地心学说。 土星逆行

(X) 3. 中子星内部存在超导的原因之一是中子星内部温度接近绝对零度。

(X) 4. 中子星的中子含量很高是因为在它的形成过程中抛射出了大量的质子和电子。

(X) 5. 目前的观测倾向于支持以暗物质为主的星系形成模型。

(X) 6. 如果没有暗能量的话, 基于爱因斯坦的广义相对论, 只要有物质存在宇宙将始终做减速膨胀。

(X) 7. 视超光速运动是指天体沿着视线方向上的运动速度是超光速的。 垂直方向

(X) 8. 天体表面引力场的强弱由天体表面的引力加速度决定。

(X) 9. 恒星光度的大小取决于恒星离观测者的距离和星际消光。

(X) 10. The strange quark matter may be the absolute ground state of the strong interaction. Luminosity

三. 单选题 (每题 2 分)

() 1. 恒星的质量下限约为 M_\odot 。 0.08 M_\odot

A. 1.0 B. 0.1 C. 0.01 D. 8

() 2. 哪一位哲学家第一次拒绝用超自然 (supernatural) 来解释观测现象, 认为只有理性分析才可以。

A. Thales B. Aristotle C. Socrates D. Pythagoras

() 3. 天体的爱丁顿极限光度与其质量的关系是 $\propto M$ 。 恒星光度最大, 大于此, 表面物质会被压吹走

A. $\propto M$ B. $\propto M^{1/2}$ C. $\propto M^{1/3}$ D. $\propto M^2$ E. 与质量无关

() 4. 激光干涉技术是探测黑洞的有效手段之一, 不同基线长度的引力波天线可以 (最主要) 在不同 上观测引力波?

A. 频率 B. 精度 C. 速度 D. 角度 E. 以上均不正确

() 5. 我国的郭守敬天文台 (LAMOST) 宣布发现了 70 倍太阳质量的黑洞, 是迄今为止发现的最重的恒星级黑洞, 请问 LAMOST 是采用哪种方式发现这一黑洞的?

A. 引力透镜效应 B. 恒星的视运动 C. 在 X 射线波段的观测 D. 引力波探测 E. 以上均不是

四. 说明与论述题 (每题 10 分) (答题请言简意赅)

1.1) 伽利略说: “数学是上帝的语言”, 有人说: “物理是上帝的法则”, 你可否用类似的话语来点描述天文? 不妨结合科学史、方法论等等来谈谈你对这三个学科之间关系的理解。

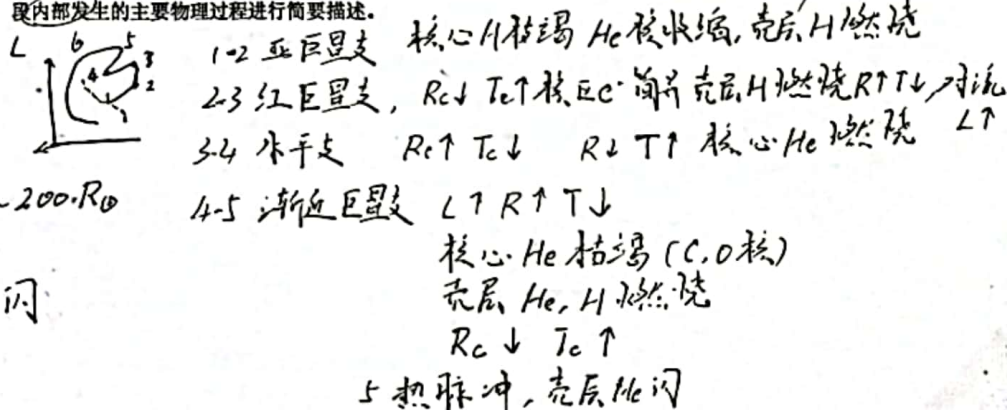
2) 本学期这门课程的学习对你有哪些帮助? 你是否参加了中国大学 mooc 平台的《趣谈天体物理》课程学习? 若有, 请谈谈在线课程与线下课程的异同, 对你有哪些帮助?

果: 洞 $\rho \sim \frac{M}{R^3}$
 $\sim M^{-2}$

3. D 无限深方势阱
 $E = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2} (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)$
 N 个 - 3 个场
 $R^2 = n_x^2 + n_y^2 + n_z^2$
 $V_{\text{阱}} = N: \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot \frac{1}{8} \cdot 2$
 $\Rightarrow E_F = \dots$ (最高能级)

PS: 爱丁顿光度的推导
 $\frac{d^2 r}{dt^2} = 0 = -\frac{1}{\rho} \vec{\rho} \cdot \vec{p} - \vec{r} \cdot \vec{\phi}$
 $= -\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dr} - \frac{GM}{r^2}$
辐射压主导 $(-\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dr} = \frac{K}{c} \frac{d^2 E}{dAdt})$
 $L = \int \frac{d^2 E}{dAdt} \cdot dA = \frac{Q_0}{K} \frac{GM}{r^2} 4\pi r^2$
 $= 4\pi \frac{GMc}{K} \sim M$
 $L_{\text{Edd}} \sim M$

2. 请画赫罗图, 并做出太阳质量大小的恒星在赫罗图上的演化轨迹, 标注其演化的不同阶段, 并对不同的演化阶段内部发生的主要物理过程进行简要描述。



4. 恒星演化的研究中有三种十分重要的时标, 请问是哪三种? 请写出其数学表达式, 运用到太阳具体数值为多少? (要求数量级正确)

自由落体时标 } 动力学时标 $\rightarrow \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -\frac{1}{\rho} \frac{dP}{dr} - \frac{Gm(r)}{r^2} \sim \frac{R}{\tau}$

爆炸时标 $\tau_{ff} = \sqrt{\frac{R^3}{GM}} = \tau_{exp} = R \sqrt{\frac{\rho}{P}} = 27 \text{ min}$

热时标 $\tau_{KH} = \frac{0.5 GM^2/R}{L} \sim 1.6 \times 10^7 \text{ yr}$

核反应时标 $\tau_{nuc} = \frac{\epsilon_{90} Mc^2}{L} \sim 1 \times 10^{10} \text{ yr}$

$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon: \text{产能率} \sim 0.7\% \\ q_{90}: \text{燃料占比} \sim 10\% \end{array} \right.$

5. 光谱分析在天文学研究中极为重要, 光谱红移的定义为: $z = (\lambda_{\text{观测}} - \lambda_{\text{光源}}) / \lambda_{\text{光源}}$

- 1) 请基于狭义相对论的基本原理来推导辐射源在观测者视线方向上的运动而造成的 Doppler 谱线红移的表达式。
- 2) 请基于质量为 M 的球对称引力场外部线元的表达式和满足宇宙学原理的 Robertson-Walker 度规

$$ds^2 = (1 - \frac{2GM}{rc^2})c^2 dt^2 - \frac{dr^2}{(1 - \frac{2GM}{rc^2})} - r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) \quad ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t) \left(\frac{dr^2}{(1 - kr^2)} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta d\phi^2 \right)$$

来分别推导引力红移和宇宙学红移的表达式。

3) 请按照费曼学习法中的“说人话”方式, 结合简单的物理学思想 (或许稍欠严格) 用自己的语言来描述这三种红移。

1) 时空收缩 + 发光时间 $\Rightarrow v' = \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} v, \quad \frac{1}{\lambda'} = \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} \frac{1}{\lambda}$

$\Rightarrow z_k = \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} - 1$

2) 引力红移

10 能量法

P^μ : 光子4动量

U^μ : 观测者4速 $= \frac{1}{\sqrt{g_{00}}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

$E = -P_\mu U^\mu = -P_0 / \sqrt{g_{00}} = h\nu$

$\Rightarrow \lambda \propto \sqrt{g_{00}}$

$\lambda_0 \frac{\Delta\tau}{\Delta t} = \int \frac{ds}{c} = \int \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}} dt$

$\lambda_0 \frac{\Delta\tau}{\Delta t} = \frac{\lambda_0}{\lambda} = \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}$

$z_g = \left(\frac{1}{1 - \frac{2GM}{rc^2}} \right)^{1/2} - 1$

宇宙学红移 (光源在动?)

随动坐标系 $D = ax, v = \dot{D} = \dot{a}x$

考虑发光时间和坐标不变两点 (真实距离)

光子: $ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t)(\dots) = 0$

$\Rightarrow c \int_{t_0}^{t_1} \frac{dt}{a(t)} = \int_A^B dx$

$c \int_{t_0+\delta t_0}^{t_0+\delta t_1} \frac{dt}{a(t)} = \int_A^B dx$

\Rightarrow 积分限 $\delta t_0, \delta t_1 \rightarrow 0$

$\int_{t_0}^{t_0+\delta t_0} \frac{dt}{a(t)} = \int_{t_1}^{t_1+\delta t_1} \frac{dt}{a(t)}$

$\Rightarrow \frac{\delta t_0}{a(t_0)} = \frac{\delta t_1}{a(t_1)} \quad \delta t \sim \lambda$

$\Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_0} = \frac{a(t_1)}{a(t_0)} \quad z = \frac{a(t_1)}{a(t_0)} - 1$

3. 1) 请基于牛顿引力理论、球对称和静态假设, 写出描写星体结构的流体静力学平衡方程和质量连续性方程;

2) 现假定星体内部组成物质满足统一的多方物态方程

$P = K \cdot \rho^{1+n}$

其中 P 和 ρ 分别为压强和质量密度, K 为常数, n 为多方指数, 请运用无量纲化的技巧, 推导和构造描述多方恒星的 Lane-Emden 方程 (含二阶常微分方程和边界条件)。

1) $\frac{d^2 r}{dr^2} = -\frac{1}{\rho} \frac{dP}{dr} - \frac{Gm(r)}{r^2} = 0 \Rightarrow \frac{dP}{dr} = -\frac{Gm(r)}{r^2}$

$\frac{dm}{dr} = 4\pi r^2 \rho$ (2)

2) 由 1) $\Rightarrow \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dP}{dr} \right) = -4\pi G \rho$ ① $P = K \rho^{1+n}$

$\frac{dP}{dr} = (1+\frac{1}{n}) K \rho^{\frac{1}{n}} \frac{d\rho}{dr}$ 灵感: $\rho = \lambda \theta^n$

$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(\lambda^{\frac{1}{n}} K (1+n) r^2 \frac{d\theta}{dr} \right) = -4\pi G \lambda \theta^n$

$\Rightarrow \frac{(1+n) K \lambda^{\frac{1}{n}}}{4\pi G} \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d\theta}{dr} \right) = -\theta^n$ 两边无量纲化

$\xi = r/r_n = r / \left(\frac{(1+n) K \lambda^{\frac{1}{n}}}{4\pi G} \right)^{1/2}$

$\Rightarrow \frac{1}{\xi^2} \frac{d}{d\xi} \left(\xi^2 \frac{d\theta}{d\xi} \right) = -\theta^n$

$\xi = 0 (r=0)$

$\xi = \xi_1 (r=R)$

有限 $\theta|_{\xi=0} = 1$

$P=0 \Rightarrow \rho=0$

$\frac{dP}{dr} = 0 \Rightarrow \frac{d\theta}{d\xi}|_{\xi=0} = 0$

$\theta(\xi_1) = 0$

?