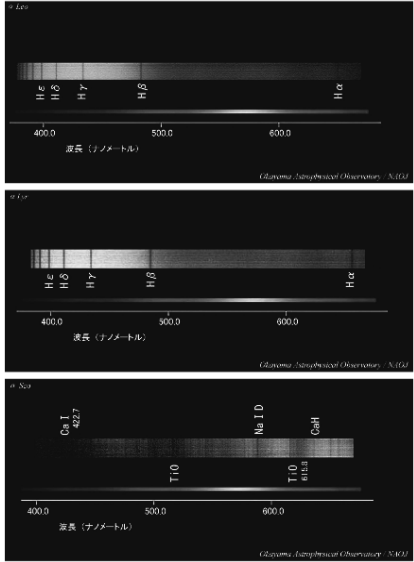
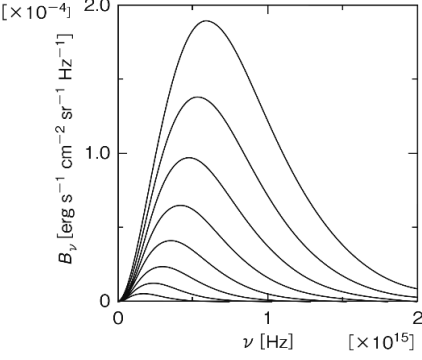
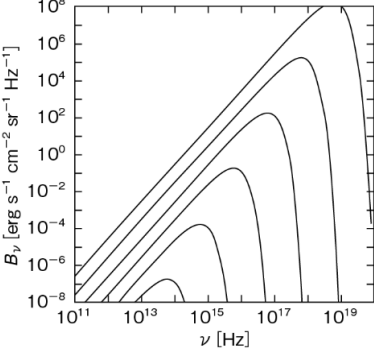


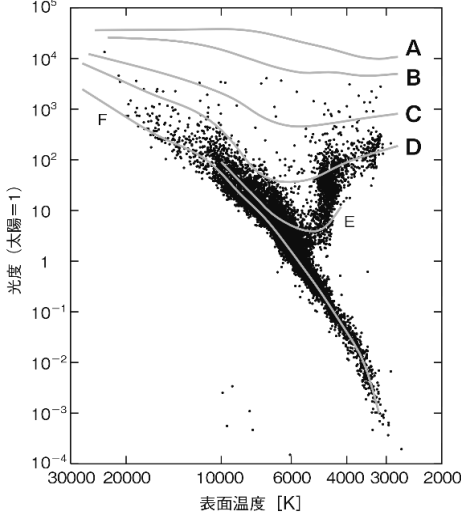
第20回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
1	<p>活動銀河中心核を取り囲む低温の中性ガス雲は、中心からの強い放射をしばしば電子散乱している。どのような電子が散乱を起こしているのか。</p> <p>① わずかに電離した自由電子 ② 中心からの強い放射で中性ガスが電離して生じた自由電子 ③ 中性鉄原子などの束縛電子 ④ ジェットなどから入射した高エネルギー電子</p>	③	<p>一般には、電子散乱(トムソン散乱・コンプトン散乱)は、電離した自由電子による光子の散乱過程である。低温の中性ガス雲には自由電子はほとんど存在しないが、中性原子でも鉄などの外殻電子は束縛エネルギーが非常に小さい。そのため、束縛電子でも自由電子と同じように振る舞い、光子を散乱する。活動銀河中心領域での、このような散乱体は、コンプトン雲などと呼ばれる。</p>
2	<p>図はレグルス(上)、ペガ(中)、アンタレス(下)のスペクトルである。ペガのスペクトル型を選べ。</p> <p>① A0 I ② A0 V ③ B7 I ④ B7 V</p> 	②	<p>ペガのスペクトル中には、水素のバルマー線が3つのスペクトルの中では最も強く現れている。水素のバルマー線が最も強く現れるのは、表面温度が約1万KのA型星である。また、ペガは主系列星なので、Vがついた②が正答となる。なお、レグルスは表面温度が1万5000 KでB7 V (B7型の主系列星)、ペガは表面温度が9600 KでA0 V (A0型の主系列星)、アンタレスは表面温度が3900 KでM1.5 I (M1.5型の超巨星)である。</p>
3	<p>ピタゴラス問題と呼ばれる三体問題はどのような結果になるか。</p> <p>① 三体が直角三角形のまま準安定状態になっている ② 三体が中心で合体する ③ 一体が放り出され二体が連星となる ④ 三体がバラバラに飛び去る</p>	③	<p>三体の質点の重力多体システム問題である三体問題の中で、初期状態で、質量比が3:4:5の質点をいわゆるピタゴラスの三角形(3:4:5の直角三角形)の頂点に置いた場合、その後の系の振る舞いを問う問題を「ピタゴラス問題」と呼ぶ。デンマークの数学者カール・ブラーウらが19世紀末に提案し、20世紀に入ってブラーウ自身やその他の研究者によって詳しく調べられた。最終的には、コンピュータを用いた数値的な計算によって、一体が系から飛び出し、残りの二体が連星となるという結論が得られている。ただし、三体問題は基本的にはカオス的システムで、初期状態を少し変えるだけで結果は大きく変化する。</p>

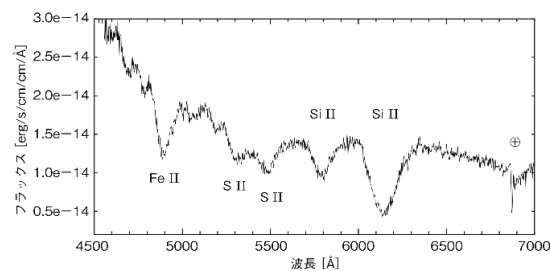
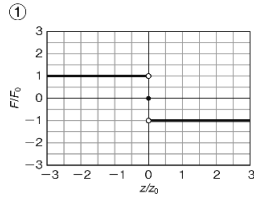
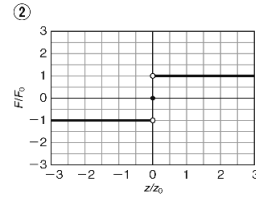
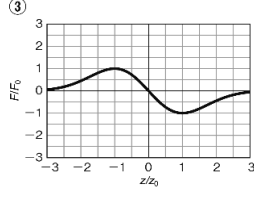
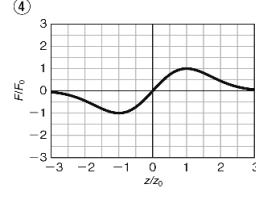
第20回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
4 ☆	<p>図は、さまざまな温度 T に対する単位振動数当たりの黒体輻射強度 $B_\nu(T)$ の分布を示したものである。黒体輻射のピークの位置の黒体輻射強度 $B_\nu(T)$ は振動数 ν の何乗に比例するか。</p> <p>① 1乗 ② 2乗 ③ 3乗 ④ 4乗</p> 	③	<p>温度 T の黒体輻射強度 $B_\nu(T)$ は、プランク定数を h、光速を c とするとき、振動数 ν の関数として、</p> $B_\nu(T) = (2h\nu^3/c^2) / [\exp(h\nu/kT) - 1]$ <p>のように表される。</p> <p>一方、いわゆるウィーンの変位則によって、ピークの位置の振動数 ν は温度 T に比例するので、ピークの位置においては、分母の指数部分 $\exp(h\nu/kT)$ は一定になる。したがって、ピークの位置は、ν^3 に比例することになる。その結果、図の対数グラフでもわかるように、ピークの位置の振動数は温度に比例して増加し(右にシフトする)、ピーク強度は温度(\propto 振動数)の3乗に比例して増加する(上にシフトする)。</p> 
5	<p>無重力で、ろうそくを点火した場合の炎の状態の説明として正しいものを選び。</p> <p>① 点火後すぐに火が消える ② 地上での燃焼と同じように燃える ③ 炎が丸くなる ④ ろうそく本体も一緒に燃える</p>	③	<p>無重力では熱対流がないので、地上の炎のように紡錘型の炎とはならない。流れはないが、燃焼に必要な酸素は拡散によって周囲より炎に供給され、丸い炎となる。</p> <p>箱や大型のカプセルを自由落下させることで、地球上でも落下中の短時間にその中に無重力状態を作ることができる。その落下塔の実験にて、ろうそくを燃やして炎の様子が観察されている。</p>
6 ☆	<p>CCDによる観測データ(生データ)に対して、ダークフレーム(ダーク)とフラットフレーム(フラット)を用いて補正を行う一次処理で正しい方法はどれか。</p> <p>① 生データからダークを引く、さらにフラットを引く ② 生データからダークを引く、さらにフラットで割る ③ 生データをダークで割り、さらにフラットを引く ④ 生データをダークで割り、さらにフラットで割る</p>	②	<p>望遠鏡で撮像したCCDの生のデータには、天体からの信号以外にも、さまざまな雑音成分や撮像素子の感度ムラなども含まれている。そのうち、撮像素子内で発生する熱電子による雑音成分をダーク成分と呼ぶが(他の雑音も含む)、このダーク成分はシャッターを閉じた状態で“撮像”して取得できる(ダークフレーム)。また撮像素子の感度特性は1個1個で少しずつ違うが、素子の感度ムラを補正するために、一様な明るさの光源などを撮影して取得するのがフラット成分である(フラットフレーム)。観測データの一次処理では、まず、生データからダークフレームを引いた補正を行い、感度レベルのバラツキである感度ムラの方は、さらにフラットフレームで割ることにより補正することになる。</p>

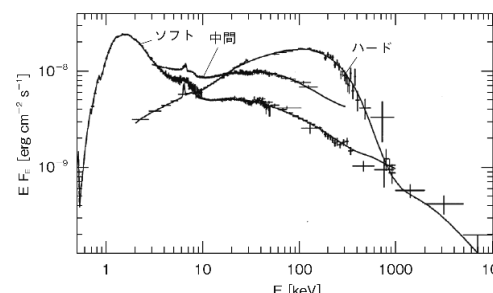
第20回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
7 ☆	<p>図のHR図の曲線A、B、C、Dのうち、輝巨星はどれか。</p> <p>① A ② B ③ C ④ D</p> 	③	<p>アイナー・ヘルツシュプルングとヘンリー・ノリス・ラッセルによる2次元分類(HR図)に加え、1940年代にウィリアム・モルガンとフィリップ・キーナンによって導入された光度階級では、光度の大きい方から</p> <p>I : 超巨星 II : 輝巨星 III : 巨星 IV : 準巨星 V : 矮星(主系列星)</p> <p>と分類された。また超巨星はIaとIbに細分類される。図の曲線は上から、I a、I b、II、III、IV、Vである。ちなみに、矮星(主系列星)は巨星に対して小さいという意味で付けられた。なお、白色矮星は矮星よりもっと小さいので、同じ“矮星”でも注意が必要である。</p>
8	<p>中性水素ガスの内部エネルギー ε と圧力 P の関係はどう表されるか。</p> <p>① $\varepsilon = \frac{1}{2} P$ ② $\varepsilon = \frac{3}{2} P$ ③ $\varepsilon = 2P$ ④ $\varepsilon = 3P$</p>	②	<p>比熱比を γ とすると、理想気体の内部エネルギー ε と圧力 P の関係は、</p> $\varepsilon = \frac{1}{\gamma - 1} P$ <p>で表される。中性水素ガスは単原子理想気体とみなせるので、比熱比は $\gamma = \frac{5}{3}$ であり、$\varepsilon = \frac{3}{2} P$ となる。</p>
9 ☆	<p>電波干渉計を開発した天文学者は誰か。</p> <p>① カール・ジャンスキー ② グロート・レーバー ③ マーティン・ライル ④ ロバート・ウッドロウ・ウィルソン</p>	③	<p>ジャンスキーは、1931年に初めて宇宙電波をとらえたベル研究所の技術者である。レーバーは、1940年にパラボラ型の電波望遠鏡を製作した人物である。この1940年くらいからが電波天文学の黎明といえるだろう。</p> <p>電波干渉計を開発して電波観測の精度を一気に高めたのは、イギリスの天文学者ライルで、1974年のノーベル物理学賞を受賞している。なお、ウィルソンは宇宙背景輻射の発見者の一人である。</p>
10	<p>口径100 mのミリ波電波望遠鏡で波長1 mmの電波を観測したときの分解能は、可視光の望遠鏡ではどれぐらいの口径に匹敵するか。</p> <p>① 約0.6 cm ② 約6 cm ③ 約60 cm ④ 約600 cm</p>	②	<p>望遠鏡の分解能 θ (ラジアン) は、観測波長を λ、口径を D とすると、だいたい、</p> $\theta \sim \lambda / D \text{ (ラジアン)}$ <p>程度になる。したがって、口径が100 mで観測波長が1 mmなら、</p> $\theta \sim 1 \text{ mm} / 100 \text{ m} \sim 10^{-5} \text{ (ラジアン)} \sim 2 \text{ 秒角}$ <p>ほどになる。これは5、6 cmの小口径望遠鏡の分解能程度である。</p> <p>なお、この問題の場合は、分解能の値自体は必要ないので、単に比率の計算で、</p> $\theta = 1 \text{ mm} / 100 \text{ m} = 600 \text{ nm (可視光の波長)} / x$ <p>を解いて、$x = 6 \text{ cm}$と求めることができる。</p>

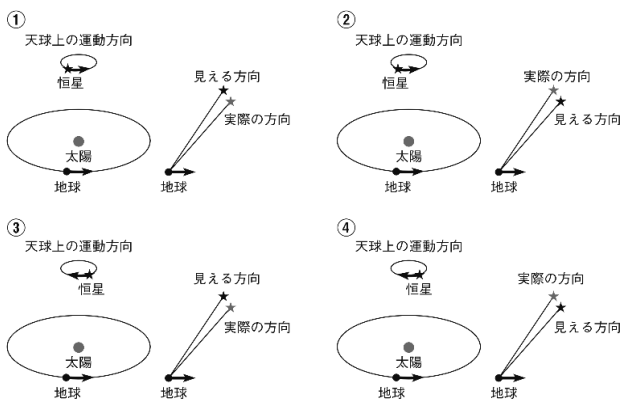
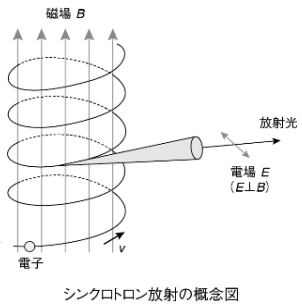
第20回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
11 ☆	<p>図は超新星のスペクトルだが、何型と推定されるか。</p> <p>① I a型 ② I b型 ③ I c型 ④ II 型</p> 	①	<p>超新星は現象論的には分光観測によって分類される。まず水素のスペクトルが検出されない I 型と検出される II 型に分けられる。さらに I 型は、電離ケイ素の吸収線が強い I a 型、ケイ素が弱く中性ヘリウムの吸収線が強い I b 型、ケイ素もヘリウムも弱い I c 型に細分類される。図は Si II の強い吸収線があるので I a 型となる。</p>
12 ☆	<p>赤方偏移が0.01の銀河の距離について、ハッブル＝ルメートルの法則を用いて求めた値として最も近いものを選べ。なおハッブル定数は70.0 km/s/Mpcとする。</p> <p>① 4300万光年 ② 1億4000万光年 ③ 4億3000万光年 ④ 14億光年</p>	②	<p>赤方偏移 z が1より十分小さいときは、ハッブル＝ルメートルの法則は $cz = Hr$ と表される。ここで c は光速、H はハッブル定数、r は銀河までの距離を表す。これから、</p> $r = (c * z) / H$ $= 3000 / 70$ $= 42.86 \text{ Mpc} = 1\text{億}4000\text{万光年}。$
13	<p>面密度が一定の無限に広がった非常に薄い平面から z だけ離れた位置の、平面に垂直な方向の重力 F の z 分布図はどれか。ただし $z = 0$ を平面の位置、上向きを z の正方向とする。また、$z_0 > 0$ はある基準の高さを表し、$F_0 = F(z_0)$ である。</p> <p>① </p> <p>② </p> <p>③ </p> <p>④ </p>	①	<p>平面の面密度を σ、重力定数を G とする。平面からの重力は常に平面に向かって働くので、$z > 0$ では $F < 0$、$z < 0$ では $F > 0$、$z = 0$ で $F = 0$ となる。また、平面が無限に広がっている場合、平面から $z (> 0)$ の位置におかれた質量 m の物体に働く重力は z によらず一定で $F = -2\pi Gm\sigma$ で与えられる。したがって①が正答となる。</p>
14	<p>X線分光撮像衛星「XRISM」が観測した超新星残骸N132Dでは、鉄イオンの温度は約何度に達したと推定されたか。</p> <p>① 1億K ② 100億K ③ 1兆K ④ 100兆K</p>	②	<p>超新星残骸N132Dは、地球から約16万光年の距離にある大マゼラン雲にある。超新星爆発に伴って生じた運動エネルギーは、衝撃波を介して熱エネルギーへと変換され、X線を放つ高温プラズマ天体「超新星残骸」を形成する。「XRISM」がファーストライト観測で取得した超新星残骸N132DのX線スペクトルには、ケイ素(Si)や硫黄(S)、鉄(Fe)などの「特性X線」が検出された。これらの特性X線を使った重元素の温度測定から、超新星爆発の際に作られた鉄のイオンが、約100億度に達していることが明らかになった。</p>

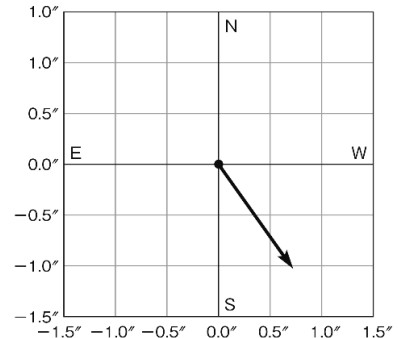
第20回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
15 ☆	<p>太陽系惑星の磁場・磁気圏についての説明のうち、誤っているものはどれか。</p> <p>① 地球の磁場はほぼ双極形状をしており、その軸は自転軸に平行である</p> <p>② 水星は弱いながらも固有の磁場をもつが、その中心は惑星中心から大きくずれている</p> <p>③ 木星の固有磁場は地球の2万倍もの強さであり、活発な電磁活動を示す</p> <p>④ 天王星の磁場は「ボイジャー2号」によってその存在が確認されており、その強度は地球とほぼ同じである</p>	①	<p>各惑星の磁場は、主にその内部の電気伝導性流体(液体金属や金属水素)の運動により生じる「ダイナモ作用」によって維持されている。太陽系の主要惑星のうち、水星・地球・木星・土星・天王星・海王星には固有磁場(内部ダイナモに由来する磁場)が存在する。一方、金星や火星には現在ほとんど固有磁場がなく、太陽風との相互作用で誘導される磁気圏(誘導磁気圏)が形成されている。</p> <p>地球の磁場はほぼ双極子形状であるが、磁軸は自転軸に対して約10度傾いている。磁束密度は0.5ガウス程度である。したがって「自転軸に平行」という記述は誤りである。よって①が誤った記述であり、正答となる。</p> <p>水星には非常に弱いながらも固有磁場が存在し、探査機メッセンジャーの観測によれば、その磁場の中心は惑星中心から北方向に数百kmずれている。このため、北半球と南半球で磁力線の分布が非対称である。</p> <p>木星は地球の約2万倍もの強大な磁場をもつ(磁束密度は赤道部分で4ガウス、極部分で10ガウス程度)。木星磁気圏は太陽系最大規模で、オーロラや電波放射(木星デカメートル波)等の活発な電磁活動を示す。</p> <p>天王星の磁場はボイジャー2号によって発見され、その強度は地球磁場とほぼ同程度(表面で0.2ガウス程度)である。しかし、その磁軸は自転軸から約60度も傾いており、中心も大きくずれているという特異な構造をしている。</p>
16	<p>図ははくちょう座X-1のX線スペクトルSEDである。ソフト成分は何だと推定されているか。</p>  <p>① 1000万Kぐらいの光学的に厚いガスからの黒体放射</p> <p>② 1000万Kぐらいの光学的に薄いガスからの黒体放射</p> <p>③ 10億Kぐらいの光学的に厚いガスからの黒体放射</p> <p>④ 10億Kぐらいの光学的に薄いガスからの黒体放射</p>	①	<p>ソフト成分は2 keVぐらいにピークをもつ黒体放射的なスペクトル形状をしている。その形状から、約1000万Kの温度の光学的に厚いガスからの黒体放射だと考えられている。おそらく、ブラックホール周辺の光学的に厚い降着円盤内縁近傍からの黒体放射だと思われる。一方、ハード成分は100 keV付近にピークはあるものの、全体になだらかで黒体放射的ではない。その平坦な形状からは光学的に薄いガスからの熱制動放射だと思われる。おそらくは、ブラックホール降着円盤を取り巻く10億Kぐらいの光学的に薄い降着円盤コロナからの熱放射だと思われる。</p>
17	<p>温度がTで重力加速度がgの大気のスケールハイトHはどのように表されるか。</p> <p>① $H \propto \frac{T}{g}$</p> <p>② $H \propto Tg$</p> <p>③ $H \propto \frac{1}{Tg}$</p> <p>④ $H \propto \frac{g}{T}$</p>	①	<p>気体定数をR、平均分子量をμとすると、スケールハイトHは、</p> $H = \frac{RT}{\mu g}$ <p>で定義される。</p> <p>地球の場合、対流圏の厚さである10 kmぐらいになり、スケールハイトは大気の厚さの目安になる。重要な点は温度Tに比例し(高温大気だと厚くなる)、重力加速度gに反比例する(重力が強いと薄くなる)ことである。ガス惑星や恒星大気でもこの性質はおおむね成り立つ。</p>

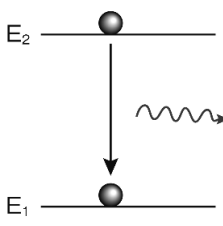
第20回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
18 ☆	<p>図は、地球の軌道運動による光行差を模式的に示したものである。左は、黄道の極付近にある恒星が、地球の軌道運動による光行差によってどのように移動するかを示し、右は、実際の星の方向と見える方向を示している。正しい図はどれか。</p> 	②	<p>光行差は、光の速度が有限のため、実際に見える方向に対して観測者の進行方向にずれて見える現象である。したがって、右側の図から、②か④が光行差を正しく表す図となる。また、常に観測者の進行方向にずれて見えるので、地球の軌道運動に対して、黄道の極に近い位置の恒星は、地球の軌道運動と同じ向きに回転する。よって②が正答となる。</p>
19	<p>次の星座のうち、略符号の1字目のみが大文字のものはどれか。</p> <p>① おおいぬ座 ② おおぐま座 ③ こじし座 ④ こぎつね座</p>	④	<p>おおいぬ座(Canis Major: CMa)、おおぐま座(Ursa Major: UMa)、こじし座(Leo Minor: LMi)は大文字が二つ使われている。こぎつね座(Vulpecula)は「Vul」なので、正答は④。</p>
20 ☆	<p>純水をたたえたカミオカンデなどでニュートリノを検出する方法はどれか。</p> <p>① ニュートリノの衝突によって生じた水分子の解離による水素ガスと酸素ガスの痕跡 ② 水中の酸素とニュートリノの衝突による放射性壊変 ③ 水中の原子とニュートリノが衝突して発生する電子陽電子対消滅ガンマ線 ④ 水中の原子とニュートリノが衝突して発生する荷電粒子のチェレンコフ光</p>	④	<p>ニュートリノは他の粒子とほとんど相互作用をしない素粒子で、高エネルギー宇宙線のように、他の粒子と衝突して素粒子反応を起こすことはほとんどない。ただし、ごくまれに、水中の原子と相互作用して、電子や陽電子などの荷電粒子を弾き飛ばすことがある。この荷電粒子も数は少ないので検出は難しい。ただ、水中の光速は真空中の光速の75%ほどしかないので、荷電粒子は水中を“超光速”で飛翔することがある。そのような“超光速”の荷電粒子は、超音速物体が衝撃波を発するように、チェレンコフ光と呼ばれる青白い放射光を円錐状に発生する。このチェレンコフ光を周囲の光電子増倍管で検出して、間接的にニュートリノを検出している。</p>
21	<p>シンクロトロン放射についての正しい記述を選べ。</p> <p>① シンクロトロン放射はべき乗スペクトルにならないこともある ② シンクロトロン放射が起こるためには重力場が必要である ③ 陽子のシンクロトロン放射は起こらない ④ シンクロトロン放射と逆コンプトン散乱は同時に起こらない</p> <p>※正答は「① シンクロトロン放射はべき乗スペクトルにならないこともある」ですが、1級参考書『極・宇宙を解く』p.30にて、べき乗型スペクトルの例として、シンクロトロン放射を説明した次の文「シンクロトロン放射のスペクトルは、図6.4のような、べき乗型スペクトルになる。」は、断定的な表現で書かれており、誤解を招く記述でした。よって、選択肢を導く根拠となる参考書の記述に不正確な点があったとし、当該問題は全員正解といたします。</p> <p>『極・宇宙を解く』の当該箇所は、「シンクロトロン放射のスペクトルは、多くの場合、図6.4のようなべき乗型スペクトルになる。」に修正いたします。</p>	① 全員正解	<p>まずシンクロトロン放射は磁場中で螺旋運動する高エネルギー荷電粒子によって起こるので、重力場は必要ない。また質量の軽い電子の方が効率よく放射するが、陽子のシンクロトロン放射も存在する。さらに高エネルギー電子によって低エネルギー光子が高エネルギーに叩き上げられる現象が逆コンプトン散乱だが、シンクロトロン放射で発生した光子がシンクロトロン放射を起こした高エネルギー電子で逆コンプトン散乱されることもある(これはシンクロトロン自己コンプトン散乱と呼ばれる)。最後に、シンクロトロン放射を引き起こす高エネルギー電子は多くの場合は非熱的電子でべき乗分布をしており、シンクロトロン放射も電子分布を反映してべき乗スペクトルになることが多い(べき乗指数は異なる)。しかし高温電離ガスの電子によるシンクロトロン放射も可能で、その場合は、高温電子の熱分布(相対論的マクスウェル分布)を反映して、シンクロトロン放射のスペクトルもべき乗ではなくピークをもったスペクトルになる。</p>  <p>シンクロトロン放射の概念図</p>

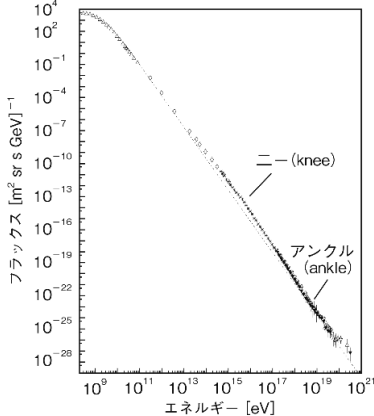
第20回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
22	<p>降着円盤の光度Lは、中心天体の質量Mとどのような関係にあるか。</p> <p>① $L \propto \frac{1}{M^2}$</p> <p>② $L \propto \frac{1}{M}$</p> <p>③ $L \propto M$</p> <p>④ $L \propto M^2$</p>	③	<p>中心天体のまわりを回転している降着円盤は、星と異なり、表面の温度は一定ではなく、中心ほど高い。</p> <p>表面温度は半径によって異なっているが、表面の各部分から放射される放射量を表面全体にわたって積分すれば、降着円盤全体から放射される光度が得られる。その結果、降着円盤の光度Lは、中心天体の質量をM、ガス降着率をN、降着円盤内縁の半径をr_{in}として、</p> $L = GMN / (2r_{in})$ <p>と表される。</p> <p>内縁から単位時間当たりに入力する降着ガスの位置エネルギーは、$L = GMN / (r_{in})$なので、位置エネルギーの半分が光度として放射されていることになる。残りの半分は回転運動のエネルギーになっており、中心天体に吸い込まれるか中心天体の表面で放射されることになる。</p>
23 ☆	<p>現在の宇宙服の内圧は0.3～0.4気圧であるが、気圧を下げている理由として正しいものを選べ。</p> <p>① 酸素の消費量を抑えるため</p> <p>② 耐圧能力の低い素材を使うため</p> <p>③ 宇宙服の断熱性能を維持するため</p> <p>④ 宇宙服の関節の可動性をよくするため</p>	④	<p>宇宙服の内圧を1気圧に近づけると関節が曲がりにくくなるので、内圧を下げている。内圧を上げることができれば、船外活動前に体を低圧に順応させるための準備時間を短くすることができるので、今後、圧力を上げてでも可動性が確保できる宇宙服の開発が期待されている。</p>
24	<p>図は、ある恒星が1年間に天球上を移動した軌跡である。この恒星の固有運動はどのくらいか。図中のN、S、E、Wは、天球上の北、南、東、西の方向を表す。</p>  <p>① $\mu_{\alpha} = -0.7''$ /年 $\mu_{\delta} = -1.0''$ /年</p> <p>② $\mu_{\alpha} = -0.7''$ /年 $\mu_{\delta} = 1.0''$ /年</p> <p>③ $\mu_{\alpha} = 0.7''$ /年 $\mu_{\delta} = -1.0''$ /年</p> <p>④ $\mu_{\alpha} = 0.7''$ /年 $\mu_{\delta} = 1.0''$ /年</p>	①	<p>赤経αは東方向が正、赤緯δは北方向が正である。この恒星は西方向に$0.7''$、南方向に$1.0''$移動している。したがって赤経及び赤緯方向の固有運動の値はどちらも負の値になり、①が正答となる。なお、この図はこいぬ座の1等星プロキオン(α CMi)のデータを用いて作成している。</p>
25 ☆	<p>宇宙線のジャイロ半径が典型的な銀河の大きさである10 kpcになるとき、宇宙線のエネルギーはどれくらいか。</p> <p>① 10^{15} eV</p> <p>② 10^{17} eV</p> <p>③ 10^{19} eV</p> <p>④ 10^{21} eV</p>	③	<p>宇宙線のジャイロ半径は $R [\text{cm}] = E [\text{eV}] / (300 B [\text{G}])$ で求めることができる。銀河の典型的な大きさ $10 \text{ kpc} = 10 \times 3 \times 10^{19} \text{ m} = 3 \times 10^{22} \text{ cm}$、銀河の典型的な磁場強度 $B = 1 \mu \text{G} = 10^{-6} \text{ G}$ を代入すると、</p> $3 \times 10^{22} [\text{cm}] = E [\text{eV}] / 300 \times 10^{-6} [\text{G}]$ <p>となり、</p> $E [\text{eV}] = 900 \times 10^{16} = 10^{19} \text{ eV}$ <p>を得る。</p>

第20回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
26 ☆	<p>図はHα線の自発遷移(自発放射)を表す模式図である。可視光における単位時間当たりの遷移確率はどれぐらいか。</p> <p>① 10^{-16} s^{-1} ② 10^{-8} s^{-1} ③ 10^8 s^{-1} ④ 10^{16} s^{-1}</p> 	③	<p>励起状態にある原子は自発的に下位の準位に遷移する。この遷移確率は放射光子の波長に依存し、可視光付近の波長では、10^8 s^{-1} 程度で遷移する。この遷移確率の逆数、すなわち、10^{-8} s が遷移前の励起状態での平均滞在時間になる。遷移“確率”なのに1よりも大きいのは変な気がするかもしれないが、単位時間当たりになっているためである。言い換えれば、平均滞在時間の 10^{-8} s で遷移する確率が1になるということである。</p> <p>なお、量子力学やシュレーディンガー方程式は1電子の振る舞いを記述する理論で、原子における電子のエネルギー準位を計算することはできるが、自発遷移など、光子が放射や吸収が起こるような粒子数が変化する量子現象を説明することはできない。自発遷移は場の量子論を用いて正確に記述できる。</p>
27	<p>およそ0.46太陽質量以下の恒星は、進化の帰結としてヘリウムを主成分とする白色矮星になると考えられるが、実際に観測される白色矮星のほとんどは、炭素と酸素を主成分とするものである。その理由として適切なものを選べ。</p> <p>① そのような恒星の中心核では核融合によるヘリウム合成が起こらないため ② そのような恒星の中心核では核融合によりヘリウムから炭素や酸素が合成されるため ③ そのような恒星で寿命を迎えたものはまだ存在しないため ④ ヘリウムは反応性が高く天体の主成分を占めることができないため</p>	③	<p>主系列星の質量Mと光度Lの関係を$L \propto M^{3.5}$とすると、およそ0.46太陽質量以下の恒星の寿命はおよそ700億年より長くなり、現在の宇宙年齢の138億年よりはるかに長い。したがって、このような星が進化の帰結としてヘリウム白色矮星になった恒星は存在しない。ただし連星系において形成される可能性はある。</p>
28 ☆	<p>恒星間天体は、I(Interstellar)の符号が付けられる。次のうち、Iが付与されていない天体はどれか。</p> <p>① オウムアムア ② アトラス彗星(C/2025 N1) ③ ボーエル彗星(C/1980 E1) ④ ボリソフ彗星(C/2019 Q4)</p>	③	<p>①オウムアムア('Oumuamua、1I/2017 U1)は2017年に発見され、軌道離心率1.199の双曲線軌道であることが判明し、初の恒星間天体と認定された。当初は細長い形状が想定され宇宙船ではないかとの説も出ていた。</p> <p>②アトラス彗星(C/2025 N1 (ATLAS)、3I/ATLAS)はロボット掃天観測システム「ATLAS」(小惑星地球衝突最終警報システム)が2025年7月に発見した非周期彗星で、軌道離心率は6.14と見積もられ、3例目の恒星間天体となった。</p> <p>③ボーエル彗星(C/1980 E1 (Bowell))は1980年に発見された後、木星付近を通過して離心率1.057の太陽からの脱出速度に達したと考えられているが、この時代にはI記号の付与はなかった。</p> <p>④ボリソフ彗星(C/2019 Q4 (Borisov)、2I/Borisov)は2019年に発見され3.3というオウムアムアを上回る離心率と観測され2例目の恒星間天体となった。</p>
29 ☆	<p>天の川銀河を太陽が1000億個集まったものとする。このとき、銀河全体の絶対等級は、およそ何等級になるか。</p> <p>① -32.5等級 ② -27.5等級 ③ -22.5等級 ④ -17.5等級</p>	③	<p>太陽の絶対等級 M_{sun} はおよそ $M_{\text{sun}} \sim +5$ であり、銀河全体の絶対等級 M_{gal} との差は、$M_{\text{gal}} - M_{\text{sun}} = -2.5 \log(f_{\text{gal}}/f_{\text{sun}})$。ここで f_{gal} は f_{sun} の1000億倍なので、$M_{\text{gal}} - M_{\text{sun}} = -2.5 \log(10^{11}) = -27.5$。したがって、$M_{\text{gal}} = M_{\text{sun}} - 27.5 = +5 - 27.5 = -22.5$ となり、正答は③。</p>

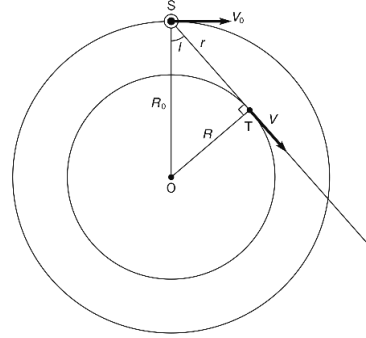
第20回天文宇宙検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
30	<p>図は地球近傍で観測された宇宙線のエネルギースペクトル図である。図のアンクル付近の宇宙線はどのように観測されるか。</p> <p>① 太陽圏外の宇宙探査機で観測する ② 気球や人工衛星などの飛翔体で観測する ③ 超高エネルギー宇宙線によって生じる空気シャワーで観測する ④ 地中深くに検出器を設置して観測する</p> 	③	<p>10^{10} eV以下の低エネルギー宇宙線は、太陽系を覆う太陽の磁気圏(太陽圏)によって侵入が妨げられている。低エネルギー宇宙線を太陽磁場の影響を受けずに測定するには、太陽圏の外側へ出ていくしかない。1977年に打ち上げられたボイジャー1号は2012年に太陽圏を脱出し、低エネルギーの銀河宇宙線を直接測定することに成功した。</p> <p>10^{10} eV以上、10^{15} eV以下の宇宙線は、気球や人工衛星などの飛翔体によって直接観測が行われている。</p> <p>10^{15} eV以上の超高エネルギー宇宙線では、到来頻度が非常に小さくなるため、飛翔体による観測は困難である。超高エネルギー宇宙線が大気に入ると、大気中の原子核と相互作用することで2次粒子が生じ、さらに2次粒子が相互作用を起こす。これを何度も繰り返すことで粒子のシャワーができる。この現象を空気シャワーと呼ぶ。超高エネルギー宇宙線は空気シャワーを地上の大型装置で測定することで観測が行われている。</p> <p>なお、素粒子のニュートリノは地下深くの検出器で検出するが、宇宙線の粒子(陽子やアルファ粒子など)は一般に地上まで届かず、ましてや地下に貫入することはできない。</p>
31 ☆	<p>いわゆるオルバースのパラドックスの主な原因を正しく説明したものを選び。</p> <p>① 銀河・銀河団・超銀河団という階層構造 ② 銀河間ガスによる遠方の星光の吸収 ③ 宇宙膨張による遠方の星光の赤方偏移 ④ 宇宙の年齢が有限であること</p>	④	<p>宇宙が星(の光)で満ちているなら、夜空は昼間のように明るいはずだが、実際には夜空が暗い、というのが、いわゆるオルバースのパラドックスである。</p> <p>宇宙の星々が銀河・銀河団・超銀河団のように階層構造をなしていると、星の密度も階層的に希薄になるので、パラドックスは解決できそうだが、無限の星があれば無限の光が届くので解決にならない。</p> <p>星間ガスや銀河間ガスによって星の光が吸収されると、いったんは届く光は減るかもしれないが、時間が経てば星間ガスや銀河間ガスが暖められて光り出すので、これも解決にならない。</p> <p>宇宙膨張によって遠方の星の光が赤方偏移するため、というのはよくある説明だが、定常宇宙論のように無限の過去から宇宙が存在している場合、赤方偏移した光が無限に存在するため、オルバースのパラドックスは解決しない。</p> <p>宇宙の年齢が有限であるため、現在の地球から観測できる宇宙の範囲も有限であり、観測可能領域に含まれる星の数も有限であることが、オルバースのパラドックスを解決する正しい説明である(宇宙膨張も補助的には後押ししているが、根本的な理由ではない)。よって正答は④である。</p>
32 ☆	<p>太陽の表面温度を6000 Kとすると、半径が太陽の90倍で表面温度が3000 Kの恒星の光度は、太陽のおよそ何倍となるか。</p> <p>① 約45倍 ② 約180倍 ③ 約500倍 ④ 約4000倍</p>	③	<p>太陽の半径をR_s、表面温度をT_s、恒星のそれらをそれぞれR、Tとする。太陽の光度L_sと星の光度Lは、ステファン・ボルツマン定数をσとすると、それぞれ</p> $L_s = 4\pi\sigma R_s^2 T_s^4$ $L = 4\pi\sigma R^2 T^4$ <p>と表される。したがって、</p> $\frac{L}{L_s} = \left(\frac{R}{R_s}\right)^2 \left(\frac{T}{T_s}\right)^4$ $= 90^2 \times \left(\frac{1}{2}\right)^4 = 506$ <p>となり、③が正答となる。</p>

第20回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
33	<p>日本に初めて地動説を紹介したとされる人物を選べ。</p> <p>① 麻田剛立 ② 志筑忠雄 ③ 高橋至時 ④ 本木良永</p>	④	<p>本木はオランダ通詞(通訳)。『天地二球用法』(1774)の序文で地動説について触れ、その後『星術本源太陽窮理了解新制天地二球用法記』で地動説を詳しく解説した。これが、日本に地動説が紹介されたはじめだと言われている。</p> <p>麻田は豊後(現在の大分県)出身の天文学者で、独自にケプラーの第3法則を導き出したと言われる。</p> <p>志筑は本木の弟子で、『暦象新書』(1798-1802年)でニュートン力学を日本に紹介した。</p> <p>高橋は麻田の弟子で、後に江戸幕府天文方に就任し、間重富とともに寛政の改暦(1798年施行)を主導した。</p>
34	<p>古典新星は通常、極大後、徐々に暗くなっていくが、まれに可視光が急激に減光し、赤外線が増光する現象が数十日以上継続することがある。この原因として最も適切と考えられる説明を選べ。</p> <p>① 連星系の伴星である赤色矮星が、新星の光球面の手前を通過して隠す ② 降着円盤のガスが臨界密度を下回り、降着率の低い、暗い状態に遷移する ③ 爆発によって質量が放出されることで、白色矮星表面の核融合が止まる ④ 爆発によって放出された物質がダストを形成し、内側からの可視光を隠す</p>	④	<p>①や③では赤外線の増光を説明できない。</p> <p>②は矮新星のアウトバーストに関する記述であり、降着率が低下すると可視光だけでなく近赤外線も減光する。</p> <p>④はダストが可視光を吸収すると同時に、ダスト自身の放射によって赤外線が増光する。</p> <p>よって、正答は④。</p>
35 ☆	<p>軌道長半径が1、離心率が0.2の楕円軌道の形と太陽Sの位置の関係が正しいものはどれか。</p> <p>① </p> <p>② </p> <p>③ </p> <p>④ </p>	②	<p>固定された2点F、F'に対して点Pを考え、$FP+P'F=2a$ (aは定数)となる点Pの軌跡は、FとF'を焦点とする長半径aの楕円を描く。楕円の中心をOとすると、楕円の離心率eは$e=OF/a$で定義される。短軸と楕円の交点をBとすれば、$FB+F'B=2a$であり、$FB=F'B=a$となる。</p> <p>$\triangle OFB$はOを直角とする直角三角形であるから、短半径をbとすれば、$a^2=(ae)^2+b^2$の関係が成り立ち、$b=\sqrt{1-e^2}$と表すことができる。軌道長半径が1、離心率が0.2の場合、</p> $b=1 \times \sqrt{1-0.2^2} = \sqrt{1-\left(\frac{1}{5}\right)^2} = \sqrt{\frac{24}{25}}$ <p>となり、1に近い値となる。また、</p> $\sqrt{\frac{24}{25}} = \sqrt{\frac{24 \times 4}{25 \times 4}} = \frac{\sqrt{96}}{100} = \frac{\sqrt{81}}{100} = 0.9$ <p>よって$b=0.8$となっている③と④は間違いで、正答は①か②のどちらかになる。太陽は焦点の位置にあるので、離心率が0.2の場合、太陽の位置は長軸上の0.2の位置になり、②が正答になる。なお、離心率0.2の短半径bの値を計算すると$b \approx 0.98$となり、形は円に非常に近いことがわかる。</p>

第20回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
36	<p>次のうち、2025年に始動したヴェラ・C・ルービン天文台のシモニー・サーベイ望遠鏡 (LSST望遠鏡) を説明したものはどれか。</p> <p>① 116個のCCDをモザイク配置し、1度に満月9個分の天域の観測ができる ② 189のCCDと付随するCCDで、1度に満月45個分の天域を観測できる ③ 84枚のCMOSイメージセンサーで、2フレーム/秒、20平方度の動画を取得できる ④ 2K×2Kチップを4個使った、7.5平方分の観測ができる</p>	②	<p>近年、大型望遠鏡と観測装置による様々な大規模サーベイ観測が進められ、大きな天文学的成果を上げている。</p> <p>①はすばる望遠鏡の主焦点に2013年に設置されたHSC (Hyper Suprime-Cam) で、116個のCCDをモザイク配置し8億7千万画素のカメラとして1度に満月9個分の天域の観測ができる。</p> <p>②はヴェラ・C・ルービン天文台のシモニー・サーベイ望遠鏡 (LSST望遠鏡) に設置されたLSSTカメラで189のCCDと付随するCCDで、計32億ピクセルで1度に満月45個分の天域を観測する。</p> <p>③は東京大学木曽観測所のシュミットカメラに設置された広視野動画観測システム「Tomo-e gozen (トモエゴゼン)」で、84枚のCMOSイメージセンサーで2フレーム/秒、20平方度の動画を取得できる。</p> <p>④はESOのVLTに設置された赤外線カメラ「HAWK-I」で2K×2Kチップを4個使った7.5平方分の観測をする。</p>
37 ☆	<p>図は、銀河面内の銀経 l ($0^\circ < l < 90^\circ$) 方向で、視線速度が最大になるT点の銀河回転速度 V と、太陽の銀河回転速度 V_0 の関係を示している。銀河中心Oから太陽SまでとT点までの距離をそれぞれ R_0、R、T点の視線速度を v_T とする。銀河回転がすべて円運動であるとき、R と V はどのように表されるか。</p> <p>① $R = R_0 \sin l$ $V = v_T + V_0 \sin l$ ② $R = R_0 \sin l$ $V = v_T + V_0 \cos l$ ③ $R = R_0 \cos l$ $V = v_T + V_0 \sin l$ ④ $R = R_0 \cos l$ $V = v_T + V_0 \cos l$</p> 	①	<p>図から、$\triangle SOT$ は T を直角とする直角三角形であるから、$R = R_0 \sin l$ で与えられる。また、視線方向は銀河中心 O を中心とする半径 R の円の接線になっており、T 点はその接点である。そのため T 点の銀河回転速度 V の方向は視線方向と一致する。したがって T 点の視線速度 v_T は、V から太陽の銀河回転による視線成分 $V_0 \sin l$ を引いた値となり、$v_T = V - V_0 \sin l$ で与えられる。これから、$V = v_T + V_0 \sin l$ を得る。T 点の視線速度 v_T は、中性水素の21 cmによる観測のスペクトル線輪郭の終端速度で与えられ、観測から求めることができる。このことを利用して、$0^\circ < l < 90^\circ$ および $270^\circ < l < 90^\circ$ の範囲で終端速度を観測すれば、太陽の R_0 と V_0 の値から、$0 < R < R_0$ の範囲の銀河回転速度 $V(R)$ を求めることができる。</p>
38 ☆	<p>軌道長半径 a、離心率 e、公転周期 P の惑星の面積速度はどう表されるか。</p> <p>① $\frac{\pi a^2 \sqrt{1-e^2}}{P}$ ② $\frac{\pi a^2 (1-e^2)}{P}$ ③ $\frac{\pi a^2}{\sqrt{1-e^2} P}$ ④ $\frac{\pi a^2}{(1-e^2) P}$</p>	①	<p>ケプラーの第2法則は「太陽と惑星を結ぶ線分が一定の時間に掃く面積は常に等しい」と表され、これは面積速度一定の法則とも呼ばれる。微小時間 dt の間に太陽と惑星を結ぶ線分が掃く面積が dS であるとき、dS/dt を面積速度と呼ぶ。惑星が太陽を一周する時間 (公転周期 P) に掃く面積は、惑星の描く楕円軌道の楕円の面積になる。楕円の長半径を a、短半径を b とすると、楕円の面積 S は、$S = \pi ab$ と表される。面積速度は常に一定であるから、</p> $\frac{dS}{dt} = \frac{S}{P} = \frac{\pi ab}{P}$ <p>となる。ここで、短軸 b の長さは、$b = a\sqrt{1-e^2}$ で与えられるので、</p> $\frac{dS}{dt} = \frac{\pi a^2 \sqrt{1-e^2}}{P}$ <p>となり、①が正答となる。</p>
39	<p>2025年8月現在まで、ISSのコマンダーを務めた日本人は何人か。</p> <p>① 1人 ② 2人 ③ 3人 ④ 4人</p>	③	<p>2013年に若田光一宇宙飛行士が日本人として初めてISSのコマンダーに就任し、その後、2021年に星出彰彦宇宙飛行士、2025年に大西卓哉宇宙飛行士がそれぞれISSのコマンダーを務めた。</p>

第20回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
40 ☆	2025年に実写映画化された、辻村深月の小説を選べ。 ①『翠雨の人』 ②『この夏の星を見る』 ③『汝、星のごとく』 ④『美しい星』	②	『この夏の星を見る』はコロナ禍における中高生たちの苦悩と青春を描いた辻村 ^{つじむら} 深月 ^{みづき} の小説で、2025年に映画化された。茨城県下の高校の天文部などが集まって実際に行われているスターキャッチコンテストと呼ばれる活動が物語の軸となっている。 ①『翠雨の人』は伊与 ^{いよ} 原 ^{はら} 新 ^{しん} の小説。女性科学者を表彰する「猿橋賞」の創設で知られる化学者・猿橋 ^{さるはし} 勝子 ^{かつこ} の生涯を綴った作品。 ③『汝、星のごとく』は ^{なぎら} 尻 ^し 良 ^ら ゆうの小説。風光明媚な瀬戸内の島で育った女の子と母の恋愛に振り回され転校してきた男の子の恋の物語で、2026年に映画公開予定である。 ④『美しい星』は三島由紀夫の小説。彼の作品にはめずらしいSF的な空飛ぶ円盤や宇宙人を取り入れた作品。

※配点方法は☆印が3点、無印は2点です。