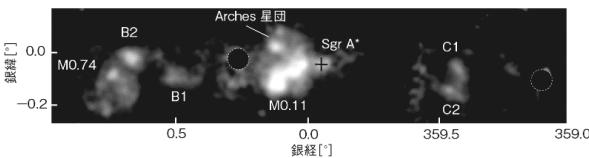
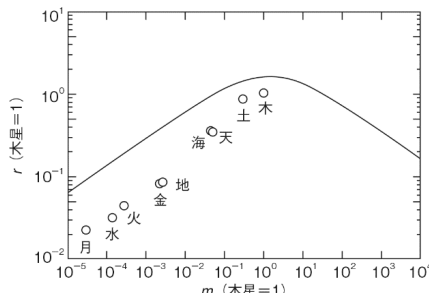


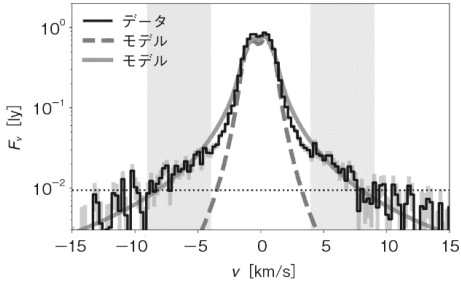
第18回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
1	<p>超大質量ブラックホール同士の合体から生じる重力波の検出が可能な観測方法、または観測機器として正しいものを選び。</p> <p>① パルサータイミングアレイ (IPTAなど)                  ② マイケルソン干渉計型検出器 (LIGOなど)                  ③ レーザー干渉計宇宙アンテナ (LISAなど)                  ④ 共振型検出器 (ウェーバー・バーなど)</p>	①	<p>現在稼働している重力波望遠鏡 (LIGOやKAGRA) は、恒星サイズのブラックホールが合体したときに放射される比較的高振動数 (短周期) の重力波を検出できる。一方、超大質量ブラックホールの合体からは低振動数 (長周期) の重力波が放射されるため、そのような振動数に感度をもつ重力波検出器が必要である。</p>
2 ☆	<p>図は天の川銀河中心の500光年領域のX線放射分布を示したもので、複数のX線反射星雲が存在する。その存在の理由と関係のないものを選び。</p>  <p>① 天の川銀河中心のまわりには低温の分子雲があるから                  ② 星雲の中心付近にパルサーがあるから                  ③ 天の川銀河中心が強いX線を放射したことがあるから                  ④ 星雲内には鉄原子が含まれているから</p>	②	<p>天の川銀河中心のまわりには複数の分子雲が存在しており、それらが天の川銀河中心からの強いX線を受け、星雲内部の鉄原子が光電離して蛍光X線を放射し、X線反射星雲として観測されていると考えられている。蛍光X線の強さはX線源 (天の川銀河中心) と星雲ガスの (実際の) 距離の2乗に反比例するので (中心の光度や星雲の密度にも依存する)、分子雲までの知られている距離などと併せて、X線反射星雲の分布や天の川銀河中心が強いX線を放射した時期など、さまざまなことがわかる。パルサーの存在は、X線反射星雲とは無関係である。</p>
3 ☆	<p>不透明度についての説明のうち、誤っているものを選び。</p> <p>① 電子散乱の不透明度は振動数にも温度にもよらない                  ② 電子散乱の不透明度はおおむね温度が高いと小さくなる                  ③ 自由-自由吸収の不透明度はおおむね温度が高いと小さくなる                  ④ 自由-自由吸収の不透明度はおおむね振動数が高いと小さくなる</p>	②	<p>自由電子が光子を散乱する電子散乱 (トムソン散乱) の不透明度は、振動数や温度によらず一定になる。たとえば、完全に電離した高温の太陽コロナ中の電子は太陽光を電子散乱するため、皆既日食中にみえる白色光コロナは、まさに白色になっている。自由-自由吸収の不透明度は振動数が高いと小さくなり、逆に振動数が低い (波長が長い) と大きくなる。たとえば、オリオン大星雲のように希薄な星間ガス雲は、振動数が高い電波領域では光学的に薄い熱制動放射がみえるが、振動数が小さい電波領域では不透明になり黒体放射 (レイリー-ジーンズ分布) としてみえる。</p>
4	<p>ロケットの打ち上げシーケンスにおいて、Max Qと呼ばれる時点について正しく説明したものを選び。</p> <p>① 最大の加速度がかかる時点                  ② 最大の動圧がかかる時点                  ③ ロケットの振動が最大となる時点                  ④ エンジンの推進力が最大となる時点</p>	②	<p>Max Qとは、最大動圧点のことをいう。ロケットの加速上昇に伴い、速度は増加するが、大気密度は減少する。多くの場合、高度が数キロから数十キロの時点で、大気の抵抗とロケットの速度との兼ね合いによって、動圧が最大となる点がある。その点がMax Qである。それを過ぎると大気密度が減少するので、速度が増加しても動圧は減少する。</p>

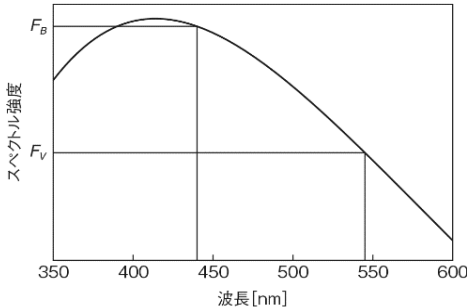
第18回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
5 ☆	<p>図の実線は月および惑星の質量と半径の関係を表した理論曲線である。曲線のピークより左側では実際の惑星の関係と傾きがよく合っているが、そこではどのような状態になっているか。</p>  <p>① 静電力と自己重力が釣り合っている                  ② 固体の圧力と自己重力が釣り合っている                  ③ 内部運動エネルギーと自己重力が釣り合っている                  ④ 内部運動エネルギーと静電エネルギーが釣り合っている</p>	④	<p>ほぼ理想気体(古典力学)で扱える恒星や星間ガス雲と異なり、固体物質でできた惑星の内部構造はやや面倒で、白色矮星などの縮退物質に近い取り扱いになる。星の内部構造は流体の静水圧平衡で考えることが多いが、固体惑星の場合はビリアル定理の方が考えやすい。</p> <p>すなわち、固体惑星にビリアル定理を適用すると、<math>2 \times</math> (固体を構成している物質内部の微小振動などのエネルギー) + (構成粒子相互に働く静電ポテンシャルエネルギー; マイナス) + (構成粒子相互に働く重力エネルギー; マイナス) = 0となる。</p> <p>そして、質量が小さな範囲では(図の実線のピークの左側)、<math>2 \times</math> (固体を構成している物質内部の微小振動などのエネルギー) = - (構成粒子相互に働く静電ポテンシャルエネルギー; マイナス) が成り立っていて、(重力で球状にはなっているものの)通常の岩石などと同様に、密度がほぼ一定の固体物質となっている。</p> <p>したがって、質量は半径の約3乗に比例する。一方、質量がより大きくなると(図の実線のピークの右側)、<math>2 \times</math> (固体を構成している物質内部の微小振動などのエネルギー) = - (構成粒子相互に働く重力エネルギー; マイナス) = 0 が成り立っていて、自己重力の効果により、質量が大きいくほど半径が小さくなる。</p>
6	<p>一辺が<math>1^\circ</math>の正方形の領域の広がりには1平方度で表される。この1平方度の立体角はおよそ何ステラジアンか。</p> <p>① 1/60ステラジアン                  ② 1/360ステラジアン                  ③ 1/1800ステラジアン                  ④ 1/3600ステラジアン</p>	④	<p>球面の半径を<math>r</math>、球面上の領域の面積を<math>S</math>とすると、立体角<math>\Omega</math>は、<math>\Omega = S/r^2</math>で定義される。角度と弧度法の関係から、<math>360^\circ</math>が<math>2\pi</math>ラジアンに対応するので、<math>1^\circ</math>は<math>2\pi/360 = \pi/180 \sim 1/60</math>ラジアンとなる。一辺が<math>1^\circ</math>の球面上の長さを<math>l</math>とすれば、<math>l = (\pi/180)r \sim r/60</math>となり、1平方度の領域の面積<math>S</math>は<math>S = l^2 \sim (r/60)^2</math>と表される。したがって1平方度の立体角<math>\Omega</math>は、<math>\Omega = S/r^2 \sim (1/60)^2 = 1/3600</math>ステラジアンとなる。</p>
7	<p>電磁波以外で天体を研究するために用いられるものとして、誤っているものを選べ。</p> <p>① ニュートリノ                  ② 重力波                  ③ ガンマ線                  ④ 宇宙線</p>	③	<p>古来、天文学は天体から放射される電磁波が唯一の手がかりだったが、近年は様々な検出技術の向上に伴って、他の情報も手がかりとして用いられるようになり、マルチメッセンジャー天文学と呼ばれている。ニュートリノは素粒子、重力波は時空の歪みが伝わるもの、宇宙線は陽子やヘリウム原子核、ガンマ線は最も高いエネルギーをもつ電磁波なので、誤っているのは③である。</p>
8 ☆	<p>恒星内部での元素合成の具体的な過程を明らかにした1957年の記念碑的論文の筆頭著者となっている女性天文学者を選べ。</p> <p>① スーザン・ジョスリン・ベル＝バーネル                  ② アニー・ジャンプ・キャンオン                  ③ セシリア・ペイン＝ガボシュキン                  ④ マーガレット・パービッジ</p>	④	<p>この論文はその4人の著者名からB<sup>2</sup>FH(マーガレット・パービッジ、ジェフリー・パービッジ、ウィリアム・ファウラー、フレッド・ホイル)とも略される。</p> <p>スーザン・ジョスリン・ベル＝バーネルはパルサーの発見で、アニー・ジャンプ・キャンオンは恒星のスペクトルの分類で、セシリア・ペイン＝ガボシュキンは恒星の組成についての研究で知られる。</p>

第18回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
9	<p>図はALMA電波望遠鏡で得られた原始惑星系円盤のスペクトルで、凸凹した実線が観測データ、破線と裾広がりの実線がモデルを表している。次の解釈のうち正しいと考えられているものはどれか。</p>  <p>① 破線の輝線が円盤の回転によるドップラー効果で裾部分まで広がった                  ② 破線の輝線が円盤ガスの熱運動によるドップラー効果で裾部分まで広がった                  ③ 輝線が量子効果で破線のように広がり、さらにドップラー効果で裾部分まで広がった                  ④ 輝線がドップラー効果で破線のように広がり、さらに量子効果で裾部分まで広がった</p>	④	<p>一見、一番ありそうにない答えだが、高速自転星などを除き、一般の吸収線では④のようになる。吸収線(輝線)の波長は決まっており、もともとは線スペクトルの幅は狭いが、いろいろな原因で線スペクトルの幅は広がる。まず、線スペクトルを放射・吸収するガス粒子は一般に熱運動しており、そのドップラー効果によって、破線のように広がる(ドップラー核と呼ぶ)。また線スペクトルの波長は決まっているとはいったが、実は、量子力学的な不確定性原理によって、エネルギー準位には少しエネルギー幅(ゆらぎ)がある。そのため線スペクトルの波長にも幅が出て、線スペクトルには裾の広いローレンツ翼と呼ばれる部分が生じる。このローレンツ翼の裾は一般にドップラー核よりも広い。この線中心のドップラー核と裾を引いたローレンツ翼からなる合成線スペクトル輪郭をフォークプロファイルと呼んでいる。                  (図:Yoshida et al., 2022, ApJL, 937, L14 を一部改変)</p>
10	<p>自然界に存在する4種類の力の大小関係として正しいものを選び。</p> <p>① 重力 &gt; 強い力 &gt; 電磁気力 &gt; 弱い力                  ② 重力 &gt; 電磁気力 &gt; 強い力 &gt; 弱い力                  ③ 強い力 &gt; 弱い力 &gt; 電磁気力 &gt; 重力                  ④ 強い力 &gt; 電磁気力 &gt; 弱い力 &gt; 重力</p>	④	<p>電磁気力の強さを1とすると、強い力は約100、弱い力は約1000分の1、重力は約10のマイナス38乗となる。強い力(強い核力とも)はクォークを結び付けて陽子や中性子をつくり、陽子や中性子を結び付けて原子核をつくる力である。電磁気力は日常でおなじみの電気力と磁気力である。弱い力(弱い核力とも)は素粒子が自発的に崩壊する性質の原因となる力である。重力は日常でおなじみの万有引力である。核力の強い・弱いは、電磁気力と比較した大小関係にもとづいている。</p> <p>※解説文2行目に誤りがありました。「重力は約10のマイナス36乗分の1となる。」となっておりますが、正しくは「重力は約10のマイナス36乗となる。」です。また、値については、文献により振れがありますが、天文学辞典(日本天文学会)の値を採用し、表記の通り「電磁気力の強さを1とすると、強い力は約100、弱い力は約1000分の1、重力は約10のマイナス38乗となる。」に修正いたします。</p>
11 ☆	<p>同じ明るさの星2個からなる連星が、お互いに重なることなく、1個の<math>m</math>等級の星として観測されている。この連星を構成する星は、単独では何等級として観測されるか。なお <math>\log 2 = 0.3</math> としてよい。</p> <p>① <math>m + 0.25</math>                  ② <math>m + 0.50</math>                  ③ <math>m + 0.75</math>                  ④ <math>m + 1.00</math></p>	③	<p>連星を構成する星の明るさを<math>l'</math>、等級を<math>m'</math>、連星の明るさを<math>l</math>、等級を<math>m</math>とすると、明るさと等級の関係より、<math>m' - m = (5/2)\log(l/l')</math>の関係が成り立つ。連星の明るさは2個の恒星の明るさを足し合わせたものであるから、<math>l = 2l'</math>となる。したがって<math>m' - m = (5/2)\log(l/l') = (5/2)\log(2l'/l') = (5/2)\log 2 = (5/2) \times 0.3 = 0.75</math>。これから<math>m' = m + 0.75</math>となり、③が正答となる。</p>

第18回天文学検定1級問題・解答

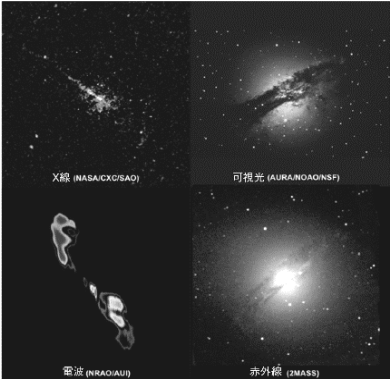
No.	問題	正答	解説
12 ☆	<p>アルテミス計画についての次の記述のうち、誤っているものを選び。</p> <p>① 新型のSLSロケットはコアとブースターを組み合わせたシステムになっている                  ② 宇宙ステーション「ゲートウェイ」建設も含まれる                  ③ 宇宙船「オリオン」には最大6人が搭乗できる                  ④ 水の氷が存在する可能性のある月の北極が探査目標になっている</p>	④	<p>「アルテミス計画」は日本も参加する国際ミッションで、アポロ以来、再び月に人間を送ることを目指している。2021年から2023年にかけて行われたJAXAの宇宙飛行士候補募集は、有人月探査ミッション「アルテミス計画」をにらんだものであり、選抜された米田あゆ、諏訪理の2名は、2024年10月に宇宙飛行士として認定されている。</p> <p>① 液体水素燃料のコア・ステージと固体ブースターを組み合わせることで目的に応じた打ち上げ能力を発揮するので正しい。                  ② 月の北極・南極方向の周回軌道に中継基地となるゲートウェイの建設が計画されているので正しい。                  ③ 宇宙船「オリオン」は現在、4人乗りで運用を計画しているが、6人まで搭乗員を増やすことが可能な宇宙船であるので正しい。                  ④ 氷の存在があると考えられているのは月の極地だが、最初の目的地は南極の方なので間違い。よって正答は④となる。</p>
13 ☆	<p>図は温度7000 Kの恒星の連続光スペクトルを模式的に示したものである。色指数<math>B-V</math>がもつ情報と最も近いものを次から選べ。</p>  <p>① <math>F_B - F_V</math>                  ② <math>F_V - F_B</math>                  ③ <math>\frac{F_B}{F_V}</math>                  ④ <math>\frac{F_V}{F_B}</math></p>	④	<p>色指数は異なる波長帯での等級差であり、等級差は明るさ（フラックス）の比であるため、①と②は間違い。色指数は短波長側の等級から長波長側の等級を引いたものであり、その値が大きいほど色が赤い、すなわち、値が大きいほど長波長側で比較的明るくなる。したがって、④が正答となる。</p>
14	<p>Sgr A* やM 87中心の超大質量ブラックホールの質量を観測的に見積もる方法として、使われたことがないものはどれか。</p> <p>① 恒星系力学の方法                  ② 近傍星の運動                  ③ 水素の21 cm線の観測                  ④ ブラックホール・シャドウ</p>	③	<p>天の川銀河中心の超大質量ブラックホールの質量は、恒星系力学による方法や近傍星の運動、そして最近ではブラックホール・シャドウによって測定されてきた。またM 87中心の超大質量ブラックホールの質量は、恒星系力学による方法やガス円盤の観測、そして最近ではブラックホール・シャドウによって測定されてきた。いずれの天体に対しても、超大質量ブラックホールの質量を求めるための水素の21 cm線の観測は行われていない。</p>

第18回天文学検定1級問題・解答

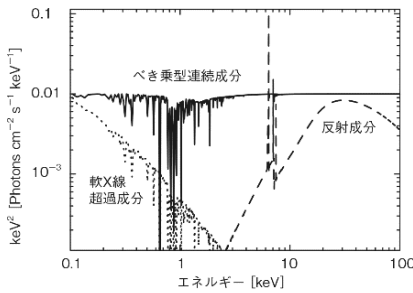
No.	問題	正答	解説
15	<p>図はブラックホール時空を表現する座標系の一種だが、何と呼ばれるか。なお図中で、○のついた直線はシュバルツシルト半径の位置を表し、左の図で、<math>t</math> はシュバルツシルト座標の時間、<math>r</math> は半径を表す。</p> <p>① ボイヤー・リンクスト座標 ② エディントン・フィンケルシュタイン座標 ③ クルスカル図 ④ ペンローズ図</p>	③	<p>通常のシュバルツシルト座標(計量)を使うと、シュバルツシルト半径では計量が0になったり発散したりする。これは座標の設定が悪いために起こる座標特異性というもので、シュバルツシルト半径のところでは物理量が発散したりするわけではない。北極点や南極点では東経や西経が定義できないが、そこも通常の世界(球面)なのと同じである。適当な座標変換によって、このような座標特異性を避けることができ、その一つがクルスカル図である。クルスカル図において、光は45°の方向へ進み、Iはブラックホールの外部領域、IIは内部領域、そして▲の連なりは中心の特異点を表している。なお、ボイヤー・リンクスト座標はカー時空を表す座標表現の一つ。ちなみに、IIIはIとは別のブラックホールの外部領域で、IVはいわゆるホワイトホール領域となる。</p> <p>なお、ボイヤー・リンクスト座標、エディントン・フィンケルシュタイン座標、ペンローズ図などは、どれもブラックホール時空の表現方法である。</p>
16 ☆	<p>ケンタウルス座<math>\alpha</math>星から見ると、太陽は何座付近に見えるか。</p> <p>① おうし座付近 ② ペルセウス座付近 ③ りょうけん座付近 ④ ケンタウルス座付近</p>	②	<p>まずケンタウルス座<math>\alpha</math>星からみた太陽の明るさだが、太陽の絶対等級が4.9等で、ケンタウルス座<math>\alpha</math>星の距離4.3光年(=1.3 pc)を知っていれば、距離が1 pcに近いことから、距離指数 <math>m - M = 5 \log r [\text{pc}] - 5</math> に入れると、概算で、  <math>m = 4.9 + 5 \log 1 - 5 \sim 0</math>  と、0等ぐらいでかなり明るいことがわかる。電卓を叩けば0.47等ほどになるだろう。</p> <p>つぎにケンタウルス座<math>\alpha</math>星からみたときに、太陽は天球上でケンタウルス座<math>\alpha</math>星の対蹠点に位置する。ケンタウルス座<math>\alpha</math>星は黄道十二星座ではないので、黄道十二星座のおうし座方向は違う。3級テキストP24-P25の星座図でみると、ケンタウルス座<math>\alpha</math>星の対蹠点は、ペルセウス座・カシオペア座・アンドロメダ座の境界付近になることがわかる。より正確には、ケンタウルス座<math>\alpha</math>星の赤経赤緯は(14h40', -60°)なので、対蹠点の赤経赤緯は(2h40', +60°)あたりとなる。</p>
17	<p>質量<math>M</math>、半径<math>D</math>の天体Aと、質量<math>m</math>、半径<math>d</math>の天体Bを考える。天体Bに対する天体Aの潮汐半径<math>R_t</math>を与える式はどれか。</p> <p>① <math>R_t = 2d (M/m)^{1/3}</math> ② <math>R_t = 2d (m/M)^{1/3}</math> ③ <math>R_t = 2D (M/m)^{1/3}</math> ④ <math>R_t = 2D (m/M)^{1/3}</math></p>	①	<p>天体Bは自己重力で形状を保っている。この自己重力<math>F_s</math>の大きさは、星の半分(質量<math>m/2</math>)ずつがお互いに重力で引き合っていると考えると、  <math>F_s = G (m/2)^2 / d^2</math>  程度になる。ここで<math>G</math>は重力定数である。一方、天体Aと天体Bの距離を<math>R</math>とすれば、天体Bが天体Aから受ける潮汐力<math>F_t</math>は  <math>F_t = (GmM/R^2) \times (2d/R)</math>  で与えられる。ここで<math>F_t &gt; F_s</math>となれば、天体Bは天体Aの潮汐力によって破壊されてしまう。そのため、その境目である<math>F_t = F_s</math>となる距離<math>R_t</math>を天体Bに対する天体Aの潮汐半径という。<math>F_t = F_s</math>から、  <math>(GmM/R_t^2) \times (2d/R_t) = G(m/2)^2 / d^2</math>  が成り立つ。これから<math>R_t</math>を求めると、  <math>R_t = 2d(M/m)^{1/3}</math>となり、①が正答となる。</p>



第18回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
18 ☆	<p>図はさまざまな波長で観測したケンタウルス座Aの画像だが、これらの画像からでは推定できないことはどれか。</p>  <p>① 左上のX線画像などから、ジェットの放射は熱放射ではないこと                  ② 右上の可視光画像から、塵を含んだ円盤銀河と合体したことがあること                  ③ 左下の電波画像から、中心部の活動でジェットが吹き出していること                  ④ 右下の赤外線画像から、銀河本体の星は中心部まで密に存在していること</p>	②	<p>電波銀河ケンタウルス座A/NGC5128では、中心に超大質量ブラックホールと降着円盤が存在しており、降着円盤の円盤面から垂直方向に宇宙ジェットが吹き出している。ジェットは電波とX線では観測されるが、可視光などでは見えていないので、ジェットの放射は単純な熱放射ではないことがわかる(①は画像を比べて推測できる)。おそらくは高エネルギー電子と磁場の相互作用によるシンクロトロン放射と、高エネルギー電子による逆コンプトン散乱などによるものと思われる。</p> <p>銀河本体は赤外線画像からわかるように丸い形状の楕円銀河だが、赤道面には塵を多く含んだガス円盤が存在している。問題の画像からではわからないが、楕円銀河自体はほとんど回転していないのに対し、赤道面のガス円盤は回転しているため、おそらく過去に、楕円銀河と塵を多く含んだ円盤銀河が合体したのではないかと推測されている(赤道面の塵を多く含んだガス円盤の回転は画像からわからないため、②は推測できないので、②が正答になる)。</p> <p>なお、電波画像で中心からジェットがみえているので、③は画像から推測できる。</p> <p>最後に、可視光の画像では中心部がみえないが、赤外線の画像では中心部まで明るいので、④も画像から推測できる。</p>
19 ☆	<p>惑星の軌道長半径を<math>a</math>、離心率を<math>e</math>、公転周期を<math>P</math>とするとき、近日点における公転速度を表す式はどれか。</p> <p>① <math>\frac{\pi a \sqrt{1-e^2}}{(1-e)P}</math>                  ② <math>\frac{\pi a (1-e^2)}{(1-e)P}</math>                  ③ <math>\frac{2\pi a \sqrt{1-e^2}}{(1-e)P}</math>                  ④ <math>\frac{2\pi a (1-e^2)}{(1-e)P}</math></p> <p>※選択肢に誤りがありました。お詫びして訂正いたします。</p>	③	<p>楕円の短軸<math>b</math>は、  <math display="block">b = a\sqrt{1-e^2}</math>                 である。したがってこの楕円軌道の面積速度<math>S</math>は、  <math display="block">S = \text{楕円の面積} / \text{公転周期}</math> <math display="block">= \pi ab / P = \pi a^2 \sqrt{1-e^2} / P</math>                 となる。他方、近日点での速度<math>v</math>を使うと、面積速度は  <math display="block">S = (1/2) \times a(1-e) \times v</math>                 となる。これらは等しいので、  <math display="block">\pi a^2 \sqrt{1-e^2} / P = (1/2) \times a(1-e) \times v</math>                 が成り立つ。これから、  <math display="block">v = 2\pi a \sqrt{1-e^2} / (1-e)P</math>                 と求まり、③が正答となる。                  なお、<math>e=0</math>のとき、すなわち円運動の場合  <math display="block">v = 2\pi a / P</math>                 となり、円運動の速度になることがわかる。</p>
20 ☆	<p>2021年に行われたJAXAの宇宙飛行士募集における、学歴に関する応募資格で正しいものはどれか。</p> <p>① 学歴は問わない                  ② 高等学校卒業以上                  ③ 大学卒業以上                  ④ 大学(自然科学系)卒業以上</p>	①	<p>2008年の宇宙飛行士の募集では、大学(自然科学系)卒業以上となっていたが、2021年の募集における応募資格では、3年以上の実務経験の要求はあるが、学歴についての条件はない。</p> <p>なお、応募資格として、身長は149.5-190.5cmであること、遠距離視力は両眼とも矯正視力1.0以上であること、色覚・聴力が正常であること、という医学的要件を満たすことも必要である。</p>

第18回天文学検定1級問題・解答

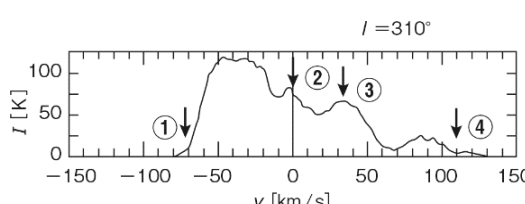
No.	問題	正答	解説
21	<p>図は活動銀河核の典型的なX線スペクトルである。反射成分には6~7 keV付近に強いピークが見られるが、その原因は何だと思われるか。</p>  <p>① 中性鉄原子の蛍光輝線                  ② 電離した鉄原子の輝線                  ③ 電子陽電子対消滅輝線                  ④ まだ原因はわかっていない</p>	①	<p>X線領域のスペクトル図は、横軸を波長や振動数のかわりにX線光子のエネルギーで表すことが多い。図のピークは6.4 keVにあるので、中性鉄原子に強いX線が入射し、最内殻の電子を弾き出して、そこへ上の準位から電子が遷移して放射された蛍光X線輝線だと考えられる。ほとんどの電子が電離して、最内殻の電子2個が残った電離鉄原子(ヘリウム様鉄原子と呼ぶ)の場合、やはり輝線を出す。そのエネルギーは6.7 keVとなる。電子陽電子対消滅線も観測されることがあるが、エネルギーは電子の静止質量エネルギーと同じ511 keVとなる。</p>
22 ☆	<p>球状にダークマターが分布する銀河で、銀河中心からの距離<math>R</math>における銀河回転速度を<math>V(R)</math>とする。銀河中心から半径<math>R</math>の球内の銀河の質量<math>M(R)</math>を表す式はどれか。ただし、<math>G</math>は重力定数を表す。</p> <p>① <math>M(R) = \frac{V^2 R}{G}</math>                  ② <math>M(R) = \frac{V^2 R^2}{G}</math>                  ③ <math>M(R) = \frac{GV^2}{R}</math>                  ④ <math>M(R) = \frac{GV^2}{R^2}</math></p>	①	<p>質量<math>m</math>の恒星が銀河中心から<math>R</math>の距離の位置を、速度<math>V</math>で円運動している場合、恒星に働く遠心力<math>f</math>は外向きに働き、<math>f = mV^2/R</math>となる。他方、この恒星に働く銀河の重力<math>F</math>は、半径<math>R</math>の外側からの重力は0となるので、半径<math>R</math>の球内の質量<math>M(R)</math>が銀河中心に集中したときの重力と同じになる。重力は内向きに働くので、重力定数を<math>G</math>とすると、<math>F = -GmM(R)/R^2</math>となる。遠心力と重力は釣り合うので<math>f + F = 0</math>が成り立ち、これから  <math display="block">M(R) = V^2 R / G</math>                 となるので、①が正答となる。</p>
23 ☆	<p>見かけの<math>V</math>等級を<math>m_V</math>、全く減光を受けなかった場合の見かけの<math>V</math>等級を<math>m_{V0}</math>、減光量を<math>A_V(&gt;0)</math>とすると、これらの間の関係を表すものはどれか。</p> <p>① <math>m_V = m_{V0} + A_V</math>                  ② <math>m_V = m_{V0} - A_V</math>                  ③ <math>m_V = m_{V0} A_V</math>                  ④ <math>m_V = \frac{m_{V0}}{A_V}</math></p>	①	<p>遠くの恒星から出た光は、星間物質による吸収や散乱の影響を受けて減光し、私たちに届く。減光量<math>A_V</math>は、どのくらい減光されたかを等級で表した量である。等級は減光を受けるとその数値は大きくなる。したがって、<math>m_V = m_{V0} + A_V</math>となり、①が正答となる。</p>
24	<p>有名なクエーサー 3C 273の「C」は何を表しているか。</p> <p>① Compact(小さな電波源であること)                  ② Catalogue(カタログであること)                  ③ Cassiopeia(カシオペア座にあること)                  ④ Cambridge(ケンブリッジ大学が作成したこと)</p>	④	<p>さまざまな観測装置で観測された天体は、人名や地名や装置名などを付したカタログとしてリストされることが多い。1959年にケンブリッジ大学が発表した3番目の電波源のカタログを、ケンブリッジ大学の頭文字を付して、通称3Cカタログと呼んでいる。そして、第3ケンブリッジ電波カタログの273番目登録天体が3C 273である。電波源がX線源のカタログが発表されると、対応する可視光天体がわからないときは、しばしば可視光での同定観測が行われる。そして、可視光のスペクトル観測により、3C 273がきわめて大きな赤方偏移をしていることを、1962年の暮れにマーテン・シュミットが発見した(発表は1963年)。これがクエーサーの発見である。</p>

第18回天文学検定1級問題・解答

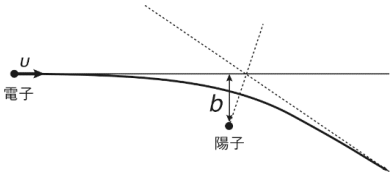
No.	問題	正答	解説
25	<p>電波天文観測衛星「はるか」を用いたスペースVLBI計画「VSOP」の基線長が3万kmで、波長5 cmのときの空間分解能はどれぐらいか。</p> <p>① 約3秒角 ② 約0.3秒角 ③ 約3ミリ秒角 ④ 約0.3ミリ秒角</p>	④	<p>観測波長<math>\lambda</math>で口径(基線長)<math>D</math>の望遠鏡による空間分解能<math>\phi</math>(ラジアン)は、だいたい<math>\phi \sim \lambda/D</math>となる。この問題では、</p> $\phi \sim 5 \text{ cm}/30000 \text{ km}$ $\sim 5 \text{ cm}/(3 \times 10^9 \text{ cm})$ $\sim 1.6666 \times 10^{-9} \text{ ラジアン}$ $\sim 1.6666 \times 10^{-9} \times 180/\pi \times 3600 \text{ 秒角}$ $\sim 0.344 \text{ ミリ秒角}$ <p>ちなみに、VSOPは公式には「VLBI Space Observatory Programme」の省略だが、お酒が好きだった故森本雅樹さんが、ブランデーのクラスの一つ、VSOP(Very Superior Old Pale)に引っかけて命名したのは、その筋では有名な話である。</p> <p><b>※解説文中の数式4行目に誤りがありました。「<math>\pi/180</math>」となっておりますが、正しくは表記の通り「<math>180/\pi</math>」となります。お詫びして訂正いたします。</b></p>
26	<p>原子スペクトルに関する次の性質や法則のうち、量子力学のシュレーディンガー方程式で説明できないことはどれか。</p> <p>① 水素原子のエネルギー準位 ② 水素原子がH<math>\alpha</math>輝線を放出すること ③ 電子と陽電子がつくるポジトロニウムのエネルギー準位 ④ 基底状態の電子の存在確率がもっとも高くなる原子核からの距離</p>	②	<p>シュレーディンガー方程式は非相対論的な量子力学の方程式で、たとえば、水素原子のまわりの電子のエネルギー準位や、他の原子や分子のエネルギー準位などを計算し説明できる。基底状態の電子の存在確率がもっとも高くなる原子核からの距離もシュレーディンガー方程式を解いて求めることができる。また、電子の反粒子である陽電子の存在自体は、相対論的な量子力学の方程式であるディラック方程式が必要となる。</p> <p>しかし、電子と陽電子がつくるポジトロニウムの構造は水素原子と形式的に同じで、そのエネルギー準位はシュレーディンガー方程式で計算できる。ただし、シュレーディンガー方程式やディラック方程式は、ミクロな世界における1個の粒子(電子)の振る舞いを記述するもので、粒子の生成消滅など粒子数の変化を説明することはできない。</p> <p>具体的には、水素原子の電子がエネルギー準位を遷移して、たとえばH<math>\alpha</math>輝線を放出することを説明できない。(半古典近似を使えば、遷移確率までは出せる)エネルギー準位間の遷移で光子が吸収・放射されるのは、量子力学の範囲内では、あくまでも現象論的な理解なのである。</p> <p>エネルギー準位間の遷移や、電子陽電子対生成・対消滅などを説明するためには、生成消滅演算子を導入して粒子数の変化を取り扱う、「場の量子論」という理論を用いることになる。</p>
27	<p>オールト定数<math>A</math>、<math>B</math>は、現在、<math>A=14 \text{ km/s/kpc}</math>、<math>B=-12 \text{ km/s/kpc}</math>の値が採用されている。これらの値を用いて、太陽近傍の恒星の接線速度<math>v_t</math> [km/s]を恒星までの距離<math>r</math> [kpc]で割った値の銀経<math>l</math>分布を表す理論曲線を描いた。正しい図はどれか。</p> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;"> <p>①</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>②</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>③</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>④</p> </div> </div>	④	<p>太陽近傍の恒星の接線速度<math>v_t</math> [km/s]を恒星までの距離<math>r</math> [kpc]で割った値の銀経<math>l</math>の分布の理論曲線は、<math>v_t/r = A \cos 2l + B</math>と表される。この理論曲線に<math>A=14 \text{ km/s/kpc}</math>、<math>B=-12 \text{ km/s/kpc}</math>の値を適用すると、全体的にマイナス側に下がり、また、<math>l=0^\circ</math>と<math>l=180^\circ</math>で最大値をとる④のグラフになる。</p> <p>なお、①は<math>v_t/r = A \sin 2l - B</math>、②は<math>v_t/r = A \sin 2l + B</math>、③は<math>v_t/r = A \cos 2l - B</math>のグラフであり、いずれも間違った図になる。</p>



第18回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
28 ☆	<p>2024年1月20日に月面に逆立ちでピンポイント着陸した「SLIM」は、どんな名称を省略したものか。</p> <p>① Smart Lander for Investigating Moon ② Smart Lunar Investigating Module ③ Small Lunar Investigating Module ④ Shot Lunar Investigating Module</p>	①	<p>SLIMは小型月着陸実証機(Smart Lander for Investigating Moon)の略称で、「月の狙った場所へのピンポイント着陸」、「着陸に必要な装置の軽量化」、そして「月の起源を探る」といった目的をもった実証機である。当初は2018年度に打ち上げられる予定であったが、何度か延期になったのち、2023年9月に打ち上げられ、4か月ほどかけて月へ到着し、2024年1月20日に月面へのピンポイント着陸に成功した。逆立ち状態ではあったが、ピンポイントの目的は達成し、日本の精密技術を誇る成果となった。</p>
29 ☆	<p>ステファン・ボルツマン定数に含まれない物理定数はどれか。</p> <p>① ボルツマン定数 ② 光速 ③ プランク定数 ④ 素電荷</p>	④	<p>ステファン・ボルツマンの定数は、光子のミクロな統計分布であるプランク分布から導かれるステファン・ボルツマンの法則の比例定数である。その結果、ステファン・ボルツマンの定数は、光子が関係する分布なので光速を含み、ミクロな世界の法則なのでプランク定数が現れ、そして光子の統計分布なのでボルツマン定数を含んでいる。電子は直接は関係しないので、素電荷は出てこない。なお、これらの定数の値はすべて現在では定義値となっている。</p>
30 ☆	<p>図は、銀河面内で銀経<math>310^\circ</math> 方向の水素の21 cm線の電波強度分布図(横軸が視線速度、縦軸が電波強度)である。この方向の終端速度(terminal velocity)に最も近い視線速度はどの位置のものか。</p> 	①	<p>終端速度とは、太陽軌道内の銀河回転運動に対して、回転方向と視線方向が平行となる点で、視線方向に内接する銀河中心を中心とした円の接点の位置の視線速度のことである。終端速度は、銀経が第一象限(<math>0^\circ &lt; l &lt; 90^\circ</math>)の場合は視線速度の最大値に、第四象限(<math>270^\circ &lt; l &lt; 360^\circ</math>)の場合は視線速度の最小値になるので、①が正答となる。なお、①の位置の視線速度が視線速度の最小値よりおよそ10 km/s大きい部分を示しているのは、ガス雲のランダムな速度がおよそ10 km/sであることを考慮したためである。</p>
31	<p>中性子星とブラックホール内部の重力に対抗する力について述べた文として適切なものを選び。</p> <p>① 中性子星では水素ガスの圧力で支えられ、ブラックホールを支えている力は未知である ② 中性子星では中性子の縮退圧で支えられ、ブラックホールを支えている力は未知である ③ 中性子星では水素ガスの圧力で支えられ、ブラックホールを支える力は存在しない ④ 中性子星では中性子の縮退圧で支えられ、ブラックホールを支える力は存在しない</p>	④	<p>太陽のような恒星では、内向きの重力に対して、ガスや放射の圧力が外向きに働くことで、その構造が支えられている。中性子星や白色矮星の場合は密度が高いため通常のガスの圧力は働かず、量子力学的な縮退圧で構造を支えている。白色矮星は電子の縮退圧、中性子星は中性子の縮退圧で支えられているが、それぞれ限界質量が存在し、それを超えるともはや自身の構造を支える力は存在せず、ブラックホールになる。</p>

第18回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
32	<p>H-II Aロケット打ち上げ前に推進剤(燃料)の液体水素、酸化剤の液体酸素を充填するが、エンジン点火直前に最終的な充填(100%までの補充)をする。この際に用いられている手法は次のうちどれか。</p> <p>① 液体水素を液体ヘリウムの熱交換器を通して液体水素沸点以下に冷却して充填する                  ② 液体酸素を液体窒素の熱交換器を通して液体酸素沸点以下に冷却して充填する                  ③ 上記①と②の両方を実施する                  ④ 熱交換器は通さずそのまま充填する</p>	②	<p>細長い垂直管に液体酸素等極低温液体を充填放置した場合、管外部からの熱流入等により管内壁の液が気化し気泡が発生するが、これが過度に生長すると巨大な泡となって管を上昇し、配管内の流体のスピードが急激に変化することで、推進剤の充填に支障が生じることがある。この一連の現象をゲイザリングと呼ぶ。これを避けるため、②のように、熱交換器で液体窒素により酸素をその沸点よりもさらに低くして密度を高くし、かつ極低温の状態を極力維持し、液体酸素を充填する。ただし、①の水素については、水素タンクとエンジン間の配管で発生するゲイザリングの規模が小さいことと、液体ヘリウムは高価すぎてコストパフォーマンスに合わないため、実施していない。</p>
33 ☆	<p>系外惑星の探査方法の一つであるドップラー法によって直接得られる情報として、正しいものを選び。</p> <p>① 系外惑星の質量と直径                  ② 系外惑星の軌道長半径と軌道傾斜角                  ③ 系外惑星の主星の減光率と減光継続時間                  ④ 系外惑星の公転周期と視線速度振幅</p>	④	<p>ドップラー法とは、主星のふらつき運動に伴うドップラー効果によって、主星の分光観測で得られる吸収線が周期的に赤方・青方偏移する様子を調べることで、惑星を間接的に検出する方法である。したがって、視線方向の周期的な速度変化が観測でき、公転周期と視線速度振幅が得られる。</p>
34	<p>図は陽子に向かって飛来する電子の軌道の模式図だが、図中の<b>b</b>を何と呼ぶか。</p> <p>① 最接近半径                  ② 衝突半径                  ③ 衝突パラメータ                  ④ とくに名前はない</p> 	③	<p>ある粒子(たとえば陽子)に対して、無限遠方から速度<math>v</math>で飛来した粒子(たとえば電子)が、その速度のまま直線運動したときの最接近距離を衝突パラメータ<b>b</b>と呼ぶ。クーロン力によって実際の軌道は曲げられるが、速度<math>v</math>と衝突パラメータ<b>b</b>がわかれば、軌道は計算できる。重力を受けた天体同士の衝突でも同じである。</p>
35	<p>年周視差による恒星の運動がほぼ円になる恒星は、天球上のどのあたりにあるか。</p> <p>① 天の赤道付近                  ② 天の北極や天の南極付近                  ③ 黄道付近                  ④ 黄道の極付近</p>	④	<p>年周視差は、地球の公転運動に伴って恒星の見かけの位置が変わるために生じる現象である。その結果、地球の軌道面(黄道面)付近の恒星の年周視差による位置の変化はほぼ直線状になり、黄道の極(黄道から<math>90^\circ</math>離れた位置)付近の恒星の年周視差による位置の変化はほぼ円になる。したがって④が正答となる。なお、それ以外の場所の恒星の年周視差による位置の変化は黄道に近いほど細長い楕円になる。</p>
36 ☆	<p>エディントン光度に関する記述のうち、正しいものはどれか。</p> <p>① 天体の質量に関係するが、半径やガスの状態方程式にはよらない                  ② 天体の質量と半径が関係するが、ガスの状態方程式にはよらない                  ③ 天体の質量と半径とガスの状態方程式が関係する                  ④ 天体の性質によらない普遍的な量である</p>	①	<p>天体の質量と天体からの放射圧で決まるエディントン光度は、物理定数以外には、天体の質量に比例し、天体の半径やガスの状態方程式などには関係しない。厳密には、水素ガスかヘリウムガスかなど、ガスの種類によってエディントン光度は異なるが、通常は水素が主成分のガスとしてエディントン光度を定義する。</p>

第18回天文学検定1級問題・解答

No.	問題	正答	解説
37	<p>2024年8月、月と地球のダブルスイングバイを成功させた探査機「JUICE」は、最終的にどの天体の周回軌道に投入される予定か。</p> <p>① イオ ② エウロパ ③ ガニメデ ④ エンケラドス</p>	③	<p>「JUICE」は木星氷衛星探査計画「JUperiter ICy moons Explorer」の略。欧州各国やアメリカ、イスラエル、そして日本が参加する国際探査計画である。その名の通り、木星の氷衛星の近接探査を行いつつ、2034年、最終的にガニメデを周回する軌道に投入される予定となっている。①のイオは木星の衛星だが氷衛星ではなくJUICE探査機では近接探査を行わない。④のエンケラドスは氷衛星だが土星の衛星である。</p>
38 ☆	<p>図は太陽表層の温度分布と密度分布を示したものである。図のCの領域を何と呼ぶか。</p> <p>① 彩層 ② 変位層 ③ 遷移層 ④ 境界層</p>	③	<p>太陽の見えている本体を光球(図のA)と呼ぶ。光球の外側の上空へ向けて温度が増加する領域が彩層(図のB)である。彩層上層で、コロナ(図のD)へ向けて急激に温度が上昇する領域が遷移層(図のC)である。</p>
39 ☆	<p>空間が平坦なド・ジッター宇宙ではスケールファクター <math>a(t)</math> は時間 <math>t</math> の関数としてどのように変化するか。ただし、<math>\alpha</math> は定数とする。</p> <p>① <math>a(t) \propto t^{2/3}</math> ② <math>a(t) \propto \cosh \alpha t</math> ③ <math>a(t) \propto e^{\alpha t}</math> ④ <math>a(t) \propto \ln \alpha t</math></p>	③	<p>物質はないが宇宙項 <math>\Lambda</math> があるド・ジッター宇宙では、<math>\alpha = \sqrt{\Lambda c^2/3}</math> として、<math>k=1</math>(閉じた宇宙)のとき、<math>a(t) \propto \cosh \alpha t</math>、<math>k=0</math>(平坦な宇宙)のとき、<math>a(t) \propto e^{\alpha t}</math>、<math>k=-1</math>(開いた宇宙)のとき、<math>a(t) \propto \sinh \alpha t</math> という解がある。平坦な宇宙でのビッグバン減速膨張解は、<math>a(t) \propto t^{2/3}</math> のように時間のべき乗で膨張するが、平坦な宇宙でのド・ジッター解は指数的に急激に膨張する。観測的には現在の宇宙は加速膨張していると考えられている。実際の宇宙では物質も宇宙項も存在しているが、約46億年前あたりを境にして、過去の宇宙では宇宙項が無視できてビッグバン減速膨張だったが、約46億年前以降では宇宙項が物質の質量より優勢になり、ド・ジッター宇宙に近い指数的膨張になっていると推定されている。</p>
40	<p>歴史書『大鏡』に記述された花山天皇退位事件では、このとき天変が見られ、陰陽師・安倍晴明がそのことを知らせるべく宮中に参内しようとしたとされている。このときに見られた天変とは何と考えられているか。次のうちから選べ。</p> <p>① 月食 ② 彗星 ③ 惑星と恒星の見かけ上の接近(犯) ④ 惑星同士の見かけ上の接近(犯)</p>	③	<p>大河ドラマ「光る君へ」でも描かれた花山天皇退位事件。『大鏡』には「帝おりさせ給ふと見ゆる天変ありつるが、すでになりにけりと見ゆるかな。参りて奏せむ。車に装束疾うせよ。」とある。このときの天変とは何か、シミュレーションなどから2つの候補がある。1つは月がプレアデス星団(すばる)を隠す「すばるの食」、もう1つは歳星(木星)と氐宿距星(てんびん座 <math>\alpha</math> 星)の接近(犯)である。大河ドラマでは前者が採用されていた。</p>

※配点方法は☆印が3点、無印は2点です。