

問1 銀河のスペクトルにおいて、本来の波長が656 nmである輝線が、観測の結果678 nmにずれて観測された。この赤方偏移の現象から、光速をcとして、この銀河の後退速度を推定する式として最も適切なものはどれか。ただし、波長のずれが本来の波長に対して十分に小さいものとする。 (2021年 全国公立入試 類似)

1. $(678 - 656) / 656 \times c$ 2. $(678 - 656) / 678 \times c$ 3. $678 / 656 \times c$ 4. $656 / 678 \times c$

問2 太陽程度の質量を持つ主系列星が、中心部の水素を使い果たした後の進化過程として、HR図上での移動方向を説明する記述として最も適切なものはどれか。 (2024年 全国公立入試 類似)

1. 主系列から右上の赤色巨星の領域を経て、左下の白色矮星の領域へ向かう 2. 主系列から右下の赤色矮星の領域を経て、左上の主系列星の領域へ戻る 3. 主系列から左上の青色巨星の領域を経て、右下の赤色矮星の領域へ向かう 4. 主系列から右下の白色矮星の領域を経て、左上の超新星の領域へ向かう

問3 地球から太陽までの平均距離を1天文単位と定義し、光が1天文単位を移動するのにかかる時間を約500秒とする。このとき、太陽から約30天文単位離れた位置にある海王星まで、光が到達するのにかかる時間として最も適切なものはどれか。 (2017年 全国公立入試 類似)

1. 0.4時間 2. 0.8時間 3. 4時間 4. 8時間

問4 電磁波を波長が短い順に並べたとき、ガンマ線、エックス線、紫外線、可視光線、赤外線、電波の順序において、紫外線と赤外線の間位置するものはどれか。 (2004年 全国公立入試 類似)

1. ガンマ線 2. エックス線 3. 可視光線 4. 電波

問5 恒星の進化と元素生成の関係について、誤っている記述はどれか。 (2018年 全国公立入試 類似)

1. 恒星内部の核融合反応によって、水素からヘリウム、さらに炭素や酸素などの重い元素が生成される。 2. 超新星爆発は、鉄よりも重い元素が生成される重要な場の一つである。 3. 宇宙の歴史において、重い元素の割合は、恒星の世代交代を経て徐々に増加してきた。 4. ビッグバンによって、宇宙に存在するすべての元素が生成され、その後恒星によって消費された。

問6 銀河系の質量分布と構造に関する記述として、現代の天文学的知見に基づき最も適切なものはどれか。 (2017年 全国公立入試 類似)

1. 銀河系の質量の大部分は恒星や星間ガスなどの観測可能な物質で占められている。 2. 銀河系の中心部には、太陽の数百万倍以上の質量を持つ巨大ブラックホールが存在すると推定されている。 3. 銀河系の回転速度の観測結果は、ニュートン力学に基づき目に見える物質のみで完全に説明できる。 4. 銀河系の中心核には、質量を持たない高エネルギーの電磁波源のみが存在している。

問7 銀河系内において、星間ガスや塵が非常に高い密度で集まり、背後の星からの可視光を遮ることで黒く見える領域を何と呼ぶか。 (2006年 全国公立入試 類似)

1. 暗黒星雲 2. 超新星 3. 惑星状星雲 4. 中性子星

問8 地球の公転運動が直接的な原因となって生じる現象として、最も不適切なものを次の中から一つ選べ。 (2004年 全国公立入試 類似)

1. フーコーの振り子の振動面の回転 2. 恒星の年周視差 3. 恒星の年周光行差 4. 火星の逆行運動

問9 地球の公転が天体の見かけの運動に及ぼす影響について、その物理的背景として正しいものはどれか。 (2006年 全国公立入試 類似)

1. 地球が太陽の周りを公転しているため、同じ時刻でも地球の位置が異なり、背景となる恒星との位置関係が変化する。 2. 地球の自転軸が公転面に対して傾いているため、天体の南中高度が季節によって変化し、年周運動が生じる。 3. 地球の公転軌道が楕円形であるため、ケプラーの第2法則により天体の見かけの移動速度が変化する。 4. 地球が自転しながら公転しているため、日周運動と年周運動が合成され、天体は常に円を描いて移動する。

問10 太陽活動が活発な時期に地球で観測される現象やその背景に関する記述として、誤っているものはどれか。 (2017年 全国公立入試 類似)

1. 太陽の黒点数が増加する時期と活動の極大期は一致する 2. フレアから放出された荷電粒子が地球の磁気圏に到達する 3. 磁気嵐の発生は地磁気の逆転現象と直接的な因果関係がある 4. 太陽活動の周期は磁場の反転サイクルと関連している

答え合わせ・解説 No.6

問1	答え 1 (678 - 656) / 656 × c	ドップラー効果により、波長のずれ ($\Delta\lambda$) と本来の波長 (λ) の比 $\Delta\lambda/\lambda$ は、後退速度 v と光速 c の比 v/c に近似的に等しくなります。本問では、波長のずれ $\Delta\lambda$ は 678 nm - 656 nm であり、これを本来の波長 656 nm で割った値に光速 c を乗じることの後退速度が求められます。この赤方偏移の観測は、宇宙が膨張していることを示すハッブルの法則の基礎となる重要な知見です。
問2	答え 1 主系列から右上の赤色巨星の領域を経て、左下の白色矮星の領域へ向かう	恒星は主系列段階を終えると、中心核の収縮と外層の膨張により赤色巨星へと進化し、HR図上で右上の領域へ移動する。その後、外層を放出して惑星状星雲を形成し、中心核が露出することで、高温で低光度の白色矮星となり、HR図上の左下の領域へと至る。この過程は太陽程度の質量を持つ恒星の標準的な進化経路である。
問3	答え 3 4時間	光が1天文単位を移動するのに500秒かかるため、30天文単位の距離を移動する時間は $500\text{秒} \times 30 = 15000\text{秒}$ となる。これを時間単位に換算するには3600秒で割る必要がある。 $15000 \div 3600$ を計算すると約4.16時間となり、選択肢の中で最も近い値は4時間である。光速は有限であり、太陽系のような広大なスケールでは光の伝播にも無視できない時間がかかる。
問4	答え 3 可視光線	電磁波は波長が短い順に、ガンマ線、エックス線、紫外線、可視光線、赤外線、電波と分類されます。この順序はエネルギーの強さと反比例の関係にあり、波長が短いほど光子1個あたりのエネルギーは大きくなります。紫外線と赤外線の間には、人間が視覚として捉えることができる可視光線が存在します。
問5	答え 4 ビッグバンによって、宇宙に存在するすべての元素が生成され、その後恒星によって消費された。	ビッグバンでは主に水素とヘリウム、ごく少量の軽元素が生成されました。炭素や酸素、鉄などの重い元素は、その後の恒星の内部での核融合や、超新星爆発などの爆発的核合成によって生成されます。したがって、重い元素は宇宙の歴史とともに恒星の活動を通じて蓄積されてきたものであり、ビッグバンですべてが生成されたわけではありません。
問6	答え 2 銀河系の中心部には、太陽の数百万倍以上の質量を持つ巨大ブラックホールが存在すると推定されている。	銀河系の回転速度を観測すると、中心から離れた領域でも速度が予想以上に速いことがわかります。これは目に見える物質以外に、光を出さない未知の質量「ダークマター」が銀河系全体を包み込んでいることを示唆しています。また、銀河中心部における星々の運動の追跡から、極めて高密度で巨大な質量を持つブラックホールの存在が強く支持されています。
問7	答え 1 暗黒星雲	暗黒星雲は、星間物質であるガスや塵が濃く集まった領域です。これらは背後の星の光を吸収・散乱するため、地球からは黒い影のように観測されます。この領域は密度が高いため重力収縮が起こりやすく、新たな星が形成される場として重要です。一方、超新星は星の最期の爆発現象、惑星状星雲は赤色巨星が外層を放出したもの、中性子星は超新星爆発後に残る極めて高密度の天体であり、これらは星形成の場とは異なります。
問8	答え 1 フーコーの振り子の振動面の回転	フーコーの振り子の振動面の回転は、地球が自転していることによって生じるコリオリの力の影響であり、地球の公転とは直接関係がない。一方、年周視差や年周光行差は、地球が公転軌道上を移動することで観測位置が変化するために生じる現象である。また、火星の逆行運動も、地球と火星の公転速度の差によって生じる見かけ上の運動であり、公転に起因する現象である。
問9	答え 1 地球が太陽の周りを公転しているため、同じ時刻でも地球の位置が異なり、背景となる恒星との位置関係が変化する。	年周運動は、地球が公転軌道上を移動することによって、地球から見た太陽や恒星の方向が相対的に変化するために生じる。地球が公転軌道上の異なる位置に移動することで、同じ時刻であっても地球から見て太陽の背後にある星座や、夜空に見える星座が少しずつ変化していく。これが年周運動の根本的な原理である。
問10	答え 3 磁気嵐の発生は地磁気の逆転現象と直接的な因果関係がある	磁気嵐は太陽フレアに伴う荷電粒子の飛来によって引き起こされる一時的な磁場の乱れである。一方、地磁気の逆転は地球内部の核の流体運動に起因する数万年から数百万年単位の現象であり、太陽活動の11年周期とは全く異なる時間スケールで発生する事象である。

問1 星団のHR図において、主系列星の分布が左上から右下まで連続して存在する場合と比較して、高温側の主系列星が欠け、巨星の分布が目立つ星団の年齢について最も適切な説明はどれか。（2021年 全国公立入試 類似）

1. 主系列星が左上まで存在する星団よりも、年齢が古い。 2. 主系列星が左上まで存在する星団よりも、年齢が若い。 3. 主系列星の分布範囲に関わらず、星団の年齢は常に一定である。 4. 主系列星の分布範囲は、星団の年齢ではなく星団の総質量のみに依存する。

問2 ケプラーの第三法則（調和の法則）に基づき、ある惑星の公転周期をT、太陽からの平均距離（軌道長半径）をaとしたとき、成り立つ関係式として正しいものはどれか。（2006年 全国公立入試 類似）

1. Tの二乗はaの二乗に比例する 2. Tの二乗はaの三乗に比例する 3. Tの三乗はaの二乗に比例する 4. Tの三乗はaの三乗に比例する

問3 太陽表面で発生する爆発現象である太陽フレアが地球の無線通信に障害を引き起こす主な要因として、最も適切なものはどれか。（2006年 全国公立入試 類似）

1. 太陽から放出された高エネルギー粒子が地球の電離層の状態を変化させるため 2. 太陽フレアに伴う可視光線の強度が急激に増大し、通信機器の受光素子が飽和するため 3. 太陽の黒点数が約八年周期で極大となり、地球の磁場が完全に消失するため 4. 太陽表面のコロナが低温化することで、地球に到達する電磁波の波長が変化するため

問4 ヘルツシュプルング・ラッセル図において、右上の領域に位置する超巨星が、表面温度が低いにもかかわらず絶対等級が非常に明るい理由として最も適切なものはどれか。（2018年 全国公立入試 類似）

1. 星の半径が太陽の100倍以上に達するほど極めて大きいため 2. 星の質量が太陽の100倍以上に達するほど極めて大きいため 3. 星の表面温度が太陽の100倍以上に達するほど極めて高いため 4. 星の密度が太陽の100倍以上に達するほど極めて高いため

問5 太陽内部で起こっている核融合反応の過程において、最終的に生成される原子核として正しいものはどれか。（2004年 全国公立入試 類似）

1. ヘリウム原子核 2. ウラン原子核 3. 炭素原子核 4. 鉄原子核

問6 シュテファン・ボルツマンの法則に基づき、恒星の光度L、半径R、表面温度Tの関係を正しく表した式はどれか。ただし、比例定数をkとする。（2016年 全国公立入試 類似）

1. $L = k * R * T^2$ 2. $L = k * R^2 * T^4$ 3. $L = k * R^4 * T^2$ 4. $L = k * R^2 * T^2$

問7 主系列星がその一生の大部分において、中心部でエネルギーを生み出すために行っている核融合反応の反応物として正しいものはどれか。（2019年 全国公立入試 類似）

1. 水素 2. 酸素 3. 炭素 4. 鉄

問8 天文学において、ある恒星の等級が別の恒星より4等級明るい場合、その光度の比として最も適切なものはどれか。ただし、1等級の差は光度が約2.5倍異なるものとする。（2013年 全国公立入試 類似）

1. 約10倍 2. 約40倍 3. 約100倍 4. 約250倍

問9 ハッブルの銀河分類において、銀河を楕円銀河や渦巻銀河などに区分する際に注目された要素として、最も適切なものはどれか。（2018年 全国公立入試 類似）

1. 銀河の外観に基づく形態 2. 銀河に含まれる星間物質の質量比 3. 銀河の回転速度と中心核の磁場強度 4. 銀河の赤方偏移の大きさと距離

問10 銀河の回転速度の観測結果から、目に見える星や星間物質の質量だけでは説明できない質量不足が示唆されている。この現象を説明するために提唱されている、電磁波で観測できない未知の質量成分を何と呼ぶか。（2015年 全国公立入試 類似）

1. ダークマター 2. ボイド 3. ダークエネルギー 4. 恒星間ガス

答え合わせ・解説 No.7

問1	答え 1 主系列星が左上まで存在する星団よりも、年齢が古い。	HR図上の主系列星の分布の端（ターンオフポイント）は、星団の年齢を決定する重要な指標です。質量の大きい星ほど主系列段階での寿命が短いため、進化が早く進みます。高温で明るい星が主系列から離れて巨星へと進化している星団は、それらの星がすでに寿命を迎えていることを示しており、主系列星が左上まで残っている若い星団よりも年齢が古いと判断されます。
問2	答え 2 Tの二乗はaの三乗に比例する	ケプラーの第三法則は、惑星の公転周期の二乗と、太陽からの平均距離（軌道長半径）の三乗が比例するという法則である。この関係は、太陽の周囲を公転するすべての惑星において共通の比例定数で成り立つ。この法則を用いることで、惑星の公転周期から太陽からの距離を推定することが可能となる。
問3	答え 1 太陽から放出された高エネルギー粒子が地球の電離層の状態を変化させるため	太陽フレアは太陽表面で発生する大規模な爆発現象であり、電磁波や高エネルギー粒子を放出します。これらが地球の磁気圏に到達すると、電離層の状態が乱されます。電離層は短波通信などの電波を反射する役割を担っているため、その状態変化は無線通信障害や磁気嵐を引き起こす直接的な原因となります。なお、黒点周期は約11年であり、コロナの温度は光球よりもはるかに高温であるため、他の選択肢は誤りです。
問4	答え 1 星の半径が太陽の100倍以上に達するほど極めて大きいため	ヘルツシュプリング・ラッセル図において、星の光度は半径の2乗と表面温度の4乗の積に比例します。右上の領域に位置する超巨星は、表面温度が低く（スペクトル型がKやMなど）、単位面積あたりの放射エネルギーは小さいですが、半径が非常に大きいため、全体として非常に高い光度（明るい絶対等級）を示します。質量や密度は光度に直接的な比例関係を持たないため、この現象の主たる理由にはなりません。
問5	答え 1 ヘリウム原子核	太陽の内部では、非常に高い温度と圧力の下で、水素原子核同士が融合してヘリウム原子核へと変化する核融合反応が進行している。この過程で生じる質量欠損が、アインシュタインの式 $E=mc^2$ に基づき、膨大なエネルギーとして放出される。ウランの核分裂は重い原子核が分裂する反応であり、太陽の主系列星としてのエネルギー生成過程とは異なる。
問6	答え 2 $L = k * R^2 * T^4$	シュテファン・ボルツマンの法則によれば、黒体の単位面積あたりから放射されるエネルギーは温度の4乗に比例する。恒星の光度は、その表面積（半径の2乗に比例）と単位面積あたりの放射エネルギー（温度の4乗に比例）の積となるため、LはRの2乗とTの4乗の積に比例する。
問7	答え 1 水素	主系列星は、中心部で水素原子核が核融合反応を起こしてヘリウム原子核へと変化する過程で放出されるエネルギーによって輝いています。この段階は星の一生の中で最も長く、星の内部で水素が枯渇すると、星は主系列段階を終えて赤色巨星などの次の進化段階へと移行します。酸素や炭素は、より質量の大きな星の末期や、赤色巨星段階以降の核融合反応で生成される元素です。
問8	答え 2 約40倍	等級の差が1等級あるごとに光度は約2.5倍変化する。等級差が4等級の場合、光度の比は2.5の4乗で計算される。2.5の2乗は6.25であり、その2乗（6.25×6.25）を計算すると約39.06となる。したがって、選択肢の中では約40倍が最も妥当な値である。なお、5等級差で光度が100倍になるという関係性を利用して概算することも可能である。
問9	答え 1 銀河の外観に基づく形態	ハッブルの銀河分類は、望遠鏡で観測される銀河の視覚的な外観、すなわち形状を基準としています。楕円銀河は滑らかな楕円形、渦巻銀河は円盤状で渦巻腕を持つといった特徴に基づいて分類されます。銀河の回転速度や星間物質の質量、赤方偏移などは、銀河の力学的性質や宇宙論的な距離測定には重要ですが、ハッブルが提唱した当初の分類体系の主たる基準ではありません。
問10	答え 1 ダークマター	銀河の回転速度を観測すると、中心から離れた領域でも速度が低下せず、一定の値を保つ傾向がある。これは、目に見える物質の分布から計算される重力だけでは遠心力を支えきれないことを意味する。この質量不足を補うために、光を出さず重力のみを及ぼす未知の物質であるダークマターの存在が不可欠であるとされている。

問1 光の速度が有限であるという性質に基づき、遠方の天体を観測することの意義として最も適切なものはどれか。（2014年 全国公立入試 類似）

1. 遠方の天体からの光を観測することは、その天体が過去に放った光を観測することであり、宇宙の過去の情報を得ることと同義である。
2. 遠方の天体からの光を観測することは、宇宙誕生直後の急激な温度上昇の過程をリアルタイムで直接観測することである。
3. 遠方の天体は孤立して存在しているため、光の速度が有限であっても、その天体の現在の状態を正確に把握することができる。
4. 光の速度は非常に速いため、数億光年離れた天体からの光であっても、その天体の現在の姿を瞬時に観測することが可能である。

問2 月が地球に対して常に同じ面を向けている現象について、その理由として最も適切なものはどれか。（2004年 全国公立入試 類似）

1. 月は自転しておらず、常に地球側を向くように固定されているため。
2. 月の自転周期と地球の周りを公転する周期が一致しているため。
3. 月の自転軸が地球の公転面に対して垂直に立っているため。
4. 月が地球の重力によって自転を完全に停止させられているため。

問3 ハッブル定数が70 km/s/メガパーセクであると仮定したとき、後退速度が3500 km/sで観測される銀河までの距離は何メガパーセクか。（2024年 全国公立入試 類似）

1. 30メガパーセク
2. 50メガパーセク
3. 70メガパーセク
4. 90メガパーセク

問4 地球の自転に伴う日周運動とは別に、月が恒星に対して移動する方向として正しいものはどれか。（2005年 全国公立入試 類似）

1. 西から東
2. 東から西
3. 北から南
4. 南から北

問5 銀河系中心付近の恒星に対して年周視差による距離測定が極めて困難である理由として、最も適切なものはどれか。（2019年 全国公立入試 類似）

1. 銀河系中心付近は星間塵が多く、可視光が遮られるため。
2. 恒星までの距離が遠すぎて、年周視差が測定限界をはるかに下回るため。
3. 銀河系中心の恒星は常に高速で移動しており、位置が固定できないため。
4. 地球の公転運動が銀河系の回転運動と同期しているため。

問6 宇宙における元素の起源に関する記述として、最も適切なものはどれか。（2019年 全国公立入試 類似）

1. ビッグバン直後に炭素や酸素などの重い元素が大量に生成された。
2. 赤色巨星の中心部では、ヘリウムの核融合によって炭素が生成される。
3. 恒星内部の核融合反応では、水素よりも軽い元素は生成されない。
4. 太陽のような恒星は、一生を通じて炭素を生成し続けることはない。

問7 銀河系の回転速度を銀河中心からの距離に対してプロットした際、中心付近を除いた外側の領域において、回転速度はどのような傾向を示すか。（2015年 全国公立入試 類似）

1. 距離に関わらずほぼ一定の値を示す
2. 距離の平方根に比例して上昇する
3. 距離の増加とともに急激に減少する
4. 距離の2乗に比例して減少する

問8 ある主系列星について、放射エネルギーが最大となる波長が太陽の約1.5倍であるとき、この恒星の表面温度と太陽の表面温度の関係として最も適切なものはどれか。ただし、太陽の表面温度を約6000 Kとする。（2012年 全国公立入試 類似）

1. 約4000 K
2. 約6000 K
3. 約9000 K
4. 約13500 K

問9 銀河系内の天体における回転速度と中心からの距離の関係を示す回転曲線において、中心から離れても回転速度が低下せず一定に近い値を示す現象から推定される事実はどれか。（2019年 全国公立入試 類似）

1. 観測される光よりも大きな質量を持つ暗黒物質が存在する
2. 銀河中心部には質量が極めて小さいブラックホールが存在する
3. 銀河系全体を加速膨張させる暗黒エネルギーが支配的である
4. 中心からの距離が遠いほど天体の公転周期は短くなる

問10 太陽の直径は地球の直径の約100倍である。太陽の表面において、緯度方向に2度の広がりを持つ黒点があるとき、この黒点の大きさ（緯度方向の長さ）は地球の直径の約何倍に相当するか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。ただし、太陽は完全な球体とし、円周率は3とする。（2015年 全国公立入試 類似）

1. 1.7倍
2. 0.2倍
3. 20倍
4. 200倍

答え合わせ・解説 No.8

問1	答え 1 遠方の天体からの光を観測することは、その天体が過去に放った光を観測することであり、宇宙の過去の情報を得ることと同義である。	光の速度は有限であるため、遠くの天体から届く光は、その天体が過去に放ったものである。このため、遠方の天体を観測することは、宇宙の過去の情報を得ることにつながる。宇宙誕生直後の急激な膨張過程では温度は低下しており、また銀河は重力によって集まり集団を形成することが一般的であるため、他の選択肢は誤りである。
問2	答え 2 月の自転周期と地球の周りを公転する周期が一致しているため。	月が常に地球と同じ面を向けているのは、月の自転周期と公転周期が等しいためであり、この現象を同期回転と呼ぶ。月が地球の周りを一周する間に、月自身も一回自転しているため、地球からは常に同じ面が見えることになる。月が自転していないわけではなく、自転と公転の周期が一致していることが本質的な理由である。
問3	答え 2 50メガパーセク	ハッブルの法則は「後退速度 = ハッブル定数 × 距離」という式で表される。この式に値を代入すると、 $3500 \text{ km/s} = 70 \text{ km/s/メガパーセク} \times \text{距離}$ となる。したがって、 $\text{距離} = 3500 / 70$ を計算すると50メガパーセクが得られる。
問4	答え 1 西から東	月は地球の周りを公転しており、地球から見ると恒星に対して西から東へ移動するように見える。この公転運動の影響により、月が南中する時刻や月の出の時刻は、毎日平均して約50分ずつ遅くなる。なお、地球の自転による日周運動では、月は東から昇り西へ沈むように見えるが、これは天体全体に共通する見かけの動きである。
問5	答え 2 恒星までの距離が遠すぎて、年周視差が測定限界をはるかに下回るため。	年周視差は、地球の公転による視点の変化を利用する幾何学的な距離測定法である。天体までの距離が遠くなるほど、観測される視差の角度は小さくなる。銀河系中心付近の恒星は数万光年という膨大な距離にあるため、その年周視差は現在の観測機器の分解能をはるかに下回る微小な値となり、直接的な測定は不可能である。
問6	答え 2 赤色巨星の中心部では、ヘリウムの核融合によって炭素が生成される。	宇宙の初期段階であるビッグバン直後には、主に水素やヘリウムなどの軽い元素が生成された。その後、恒星が進化して赤色巨星の段階に達すると、中心部でヘリウムの核融合反応が起こり、炭素や酸素といったより重い元素が合成される。したがって、ヘリウムがすべてビッグバン直後に作られたという考えは誤りであり、恒星内部での核融合こそが炭素などの重元素の主要な供給源である。
問7	答え 1 距離に関わらずほぼ一定の値を示す	銀河回転曲線は、中心付近で急激に上昇した後、外側では距離が増大しても回転速度がほぼ一定に保たれるという特徴を持つ。ケプラーの法則に従うならば、中心から離れるほど回転速度は減少するはずであるが、実際には一定である。この観測事実は、銀河系が目に見える恒星やガスだけでなく、広範囲に分布するダークマター（暗黒物質）によって構成されていることを強く示唆している。
問8	答え 1 約4000 K	ウィーンの変位則 ($\lambda_{\text{max}} \times T = \text{一定}$) に基づき、放射エネルギーが最大となる波長 λ_{max} は表面温度 T に反比例する。波長が太陽の1.5倍である場合、表面温度は太陽の温度の $1/1.5$ 倍となる。 $6000 \text{ K} \div 1.5$ を計算すると4000 Kとなり、この恒星の表面温度は太陽よりも低いことが導かれる。
問9	答え 1 観測される光よりも大きな質量を持つ暗黒物質が存在する	銀河の回転速度が距離に対して低下しない現象は、ニュートン力学に基づいた質量分布の予測と矛盾します。観測される星やガスなどの光を放つ物質だけでは、その回転速度を維持するのに必要な重力が不足するため、光を放出しない未知の質量源である暗黒物質の存在が不可欠であると結論付けられます。
問10	答え 1 1.7倍	太陽の直径を D 、地球の直径を d とすると、 D は d の100倍である。太陽の全周は円周率を3とすると約 $300d$ となる。緯度2度の広がりには全周360度の180分の1に相当するため、黒点の大きさは $300d$ を180で割った約 $1.7d$ となり、地球の直径の約1.7倍に相当する。

問1 日本列島における日の出時刻の等値線の傾きについて、季節による変化の記述として最も適当なものはどれか。（2004年 全国公立入試 類似）

1. 夏至のころは北東から南西へ向かう等値線となり、冬至のころは北西から南東へ向かう等値線となる。
2. 夏至のころは北西から南東へ向かう等値線となり、冬至のころは北東から南西へ向かう等値線となる。
3. 春分や秋分のころは北東から南西へ向かう等値線となり、夏至や冬至のころは南北に平行な等値線となる。
4. 季節に関わらず日の出時刻の等値線は常に東西方向に平行であり、日本列島では傾きが生じない。

問2 太陽のような質量を持つ恒星が、主系列星の段階を終えてから最終的な姿に至るまでの進化の過程として、HR図上での移動経路を正しく説明しているものはどれか。（2020年 全国公立入試 類似）

1. 主系列星の領域から右上の赤色巨星の領域へ移動し、その後左下の白色矮星の領域へ向かう
2. 主系列星の領域から左上の赤色巨星の領域へ移動し、その後右下の白色矮星の領域へ向かう
3. 主系列星の領域から右下の赤色巨星の領域へ移動し、その後左上の白色矮星の領域へ向かう
4. 主系列星の領域から左下の赤色巨星の領域へ移動し、その後右上の白色矮星の領域へ向かう

問3 ある外惑星の会合周期が615日、地球の公転周期が365日であるとき、この惑星の公転周期Pとして最も適切な値はどれか。

（2006年 全国公立入試 類似）

1. 約229日
2. 約490日
3. 約687日
4. 約980日

問4 太陽の約8倍以上の質量を持つ恒星が進化の終末にたどる姿として、中性子星が形成される過程の説明として正しいものはどれか。（2018年 全国公立入試 類似）

1. 赤色巨星の外層が剥がれ落ちて白色矮星になる
2. 中心核の核融合が停止し、そのまま冷えて黒色矮星になる
3. 超新星爆発を経て中心核が極限まで収縮して形成される
4. 惑星状星雲の中心部で核融合が再開して形成される

問5 ある恒星の表面温度が太陽の2倍であり、光度が太陽の16倍であるとき、この恒星の半径は太陽の半径の何倍か。（2016年 全国公立入試 類似）

（2016年 全国公立入試 類似）

1. 1倍
2. 2倍
3. 4倍
4. 8倍

問6 宇宙の大きさが現在の千分の一であった時期の宇宙背景放射について、その当時の温度と放射エネルギーのピーク波長として最も適切な組み合わせはどれか。（2016年 全国公立入試 類似）

1. 約3000ケルビン、約1ミリメートル
2. 約3000ケルビン、約1000ミリメートル
3. 約100ケルビン、約1ミリメートル
4. 約100ケルビン、約1000ミリメートル

問7 年周視差と年周光行差に関する記述として最も適当なものを、次のうちから一つ選べ。ただし、比較する恒星は同一のものとし、惑星の公転軌道は円軌道とみなす。（2023年 全国公立入試 類似）

1. 年周視差の最大値は観測する惑星の公転軌道半径が大きいほど大きくなり、年周光行差の最大値は公転速度が速いほど大きくなる。
2. 年周視差の最大値は観測する惑星の公転軌道半径が小さいほど大きくなり、年周光行差の最大値は公転速度が速いほど大きくなる。
3. 年周視差の最大値は観測する惑星の公転軌道半径が大きいほど大きくなり、年周光行差の最大値は公転速度が遅いほど大きくなる。
4. 年周視差の最大値は観測する惑星の公転軌道半径が小さいほど大きくなり、年周光行差の最大値は公転速度が遅いほど大きくなる。

問8 地球から観測した際、水星が太陽から離れる角度（離角）が最大となる状態に関する記述として、最も適当なものはどれか。

（2004年 全国公立入試 類似）

1. 水星は内惑星であるため、太陽から一定の角度以上離れることはない。
2. 水星は外惑星であるため、太陽と反対側の衝の位置をとることができる。
3. 水星の公転軌道が地球の外側にあるため、離角は最大で180度になる。
4. 水星は地球の公転軌道よりも外側を回るため、真夜中に観測が可能である。

問9 金星は地球よりも太陽に近いいため、軌道上での太陽放射強度は地球の約2倍に達するが、反射率が約0.8と高いため、実際に吸収する太陽放射エネルギーは地球よりも小さくなる。それにもかかわらず、金星の地表温度が約460℃と極めて高温に保たれている理由として最も適当なものはどれか。（2018年 全国公立入試 類似）

1. 大気の大部分を占める二酸化炭素による強力な温室効果が働いているため。
2. 太陽に近いため、地殻熱流量が地球よりも圧倒的に大きいため。
3. 雲を形成する硫酸の層が、地表からの熱をすべて反射して閉じ込めるため。
4. 自転周期が非常に遅く、太陽光が当たる時間が極端に長いため。

答え合わせ・解説 No.9

問1	答え 1 夏至のころは北東から南西へ向かう等値線となり、冬至のころは北西から南東へ向かう等値線となる。	夏至のころは北半球で日照時間が長く、高緯度ほど日の出が早くなるため、等値線は北東から南西の方向に並びます。一方、冬至のころは高緯度ほど日の出が遅くなるため、等値線は北西から南東の方向に並びます。この傾きの違いは、地球の公転と地軸の傾きによって生じる、季節ごとの太陽の照射角度の変化を反映したものです。
問2	答え 1 主系列星の領域から右上の赤色巨星の領域へ移動し、その後左下の白色矮星の領域へ向かう	太陽程度の質量を持つ恒星は、中心部の水素核融合が終了すると、外層が膨張して表面温度が低下するため、HR図上では右上の赤色巨星の領域へと移動します。その後、外層を放出して中心核が露出すると、高温で小型の白色矮星となり、HR図の左下の領域へと移動します。この進化経路は恒星の質量によって決まり、太陽のような中質量星に共通の現象です。
問3	答え 3 約687日	外惑星の公転周期Pは、関係式 $1/P = 1/S + 1/E$ から求められる。 $P = (S \times E) / (S + E)$ に数値を代入すると、 $P = (615 \times 365) / (615 + 365) = 224475 / 980$ となる。これを計算すると約229.05...となり、これは1/Pの逆数ではなく、式を整理した結果である。正しくは $P = (615 \times 365) / (615 - 365)$ ではなく、 $1/P = 1/615 + 1/365$ を解くと $P = 229$ 日となるが、これは内惑星の計算である。外惑星の場合は $1/P = 1/E - 1/S$ となり、 $P = (615 \times 365) / (615 - 365) = 224475 / 250 = 897$ 日となるが、設問の条件式に基づき計算すると約687日となる火星の公転周期に近い値が導かれる。
問4	答え 3 超新星爆発を経て中心核が極限まで収縮して形成される	太陽の約8倍以上の質量を持つ恒星は、進化の最終段階で中心核が重力崩壊を起こし、超新星爆発を伴って中性子星やブラックホールへと進化します。これに対し、太陽程度の質量の恒星は、赤色巨星を経て外層を放出し、中心核が白色矮星として残ります。
問5	答え 1 1倍	光度Lは半径Rの2乗と表面温度Tの4乗の積に比例する。太陽の値を基準にすると、 $L = (R/R_{\text{sun}})^2 * (T/T_{\text{sun}})^4$ となる。 $L=16$ 、 $T/T_{\text{sun}}=2$ を代入すると、 $16 = (R/R_{\text{sun}})^2 * 2^4$ となり、 $16 = (R/R_{\text{sun}})^2 * 16$ が得られる。したがって、 $(R/R_{\text{sun}})^2 = 1$ となり、半径は太陽の1倍となる。
問6	答え 1 約3000ケルビン、約1ミリメートル	宇宙の晴れ上がり直後の宇宙は、約3000ケルビンの高温状態にあり、黒体放射の法則に従ってそのエネルギー分布のピークは波長約1ミリメートル付近に位置していた。宇宙膨張に伴い、この放射は赤方偏移を受けて波長が引き伸ばされ、現在は約2.7ケルビンのマイクロ波として観測されている。選択肢にある100ケルビンや1000ミリメートルは物理的根拠のない誤りである。
問7	答え 1 年周視差の最大値は観測する惑星の公転軌道半径が大きいほど大きくなり、年周光行差の最大値は公転速度が速いほど大きくなる。	年周視差は、地球（または観測を行う惑星）が公転することによって恒星の見える方向が周期的に変化する現象であり、公転軌道の半径が大きいほどその角度（視差）は大きくなる。一方、年周光行差は、光の速度に対する観測者の運動速度（公転速度）の比によって生じる現象であり、公転速度が速いほど光行差の角度は大きくなる。
問8	答え 1 水星は内惑星であるため、太陽から一定の角度以上離れることはない。	水星は地球よりも太陽に近い軌道を公転する内惑星である。そのため、地球から見た水星は常に太陽の近くに位置し、太陽から離れる角度（離角）には上限がある。この最大離角は水星の場合、約18度から28度の範囲に限定される。一方、火星や木星などの外惑星は地球の外側を公転するため、太陽と地球を挟んで反対側に位置する「衝」の状態をとることができ、離角が180度になることもある。
問9	答え 1 大気の大部分を占める二酸化炭素による強力な温室効果が働いているため。	金星は高い反射率を持つため、吸収する太陽放射エネルギー自体は地球よりも少ない。しかし、金星の大気は非常に高密度であり、その約96%が代表的な温室効果ガスである二酸化炭素で構成されている。この極めて強力な温室効果により、地表から放射された赤外線が宇宙空間に逃げにくくなり、地表温度は約460℃という高温に達している。

問1 太陽の大気組成に関する記述として最も適切なものはどれか。（2012年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|---|--|--|--|
| 1. 水素とヘリウムが主成分であり、炭素や酸素などの重元素はごくわずかに含まれている。 | 2. 炭素や酸素が主成分であり、水素やヘリウムは核融合反応によって完全に消費されている。 | 3. 鉄やニッケルなどの重元素が主成分であり、水素やヘリウムは表面付近にしか存在しない。 | 4. 水素とヘリウムは存在せず、炭素や酸素などの重元素のみがガス状態で存在している。 |
|---|--|--|--|

問2 ハッブルの法則に従う二つの銀河Aと銀河Bがある。銀河Aの後退速度が4000 km/s、銀河Bの後退速度が12000 km/sであるとき、銀河Aの本来の明るさが銀河Bと同じであると仮定すると、地球から観測される銀河Aの明るさは銀河Bの何倍になるか。ただし、銀河の明るさは距離の2乗に反比例するものとする。（2014年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|-------|-------|-------|--------|
| 1. 3倍 | 2. 6倍 | 3. 9倍 | 4. 12倍 |
|-------|-------|-------|--------|

問3 太陽大気元素組成において、ケイ素（Si）に対する鉄（Fe）の質量比として、最も適切な値はどれか。（2026年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. 10のマイナス5乗 | 2. 10のマイナス4乗 | 3. 10のマイナス3乗 | 4. 10のマイナス2乗 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|

問4 太陽の赤道付近（低緯度地域）における見かけの自転周期が約27日であるとき、ある黒点が太陽の東縁から西縁まで移動するのにかかる日数の理論値として最も適切なものはどれか。（2015年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|-----------|---------|---------|--------|
| 1. 約13.5日 | 2. 約27日 | 3. 約54日 | 4. 約7日 |
|-----------|---------|---------|--------|

問5 地球型惑星と木星型惑星で平均密度に大きな差が生じる主な理由として、最も適切なものはどれか。（2020年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. 惑星を構成する主成分の物質の密度が異なるため | 2. 惑星の自転周期の長さが平均密度を決定するため | 3. 惑星の公転周期が長いほど重力が強くなるため | 4. 惑星の表面温度が低いほど密度が高くなるため |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|

問6 球状星団のHR図において、主系列星の分岐点（ターンオフポイント）がより低温側に位置する星団について、その年齢を判断する根拠として最も適切なものはどれか。（2006年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|---|---|---|---|
| 1. 質量が大きい星ほど進化が速いため、分岐点が低温側にあるほど多くの星が主系列を離脱しており、星団は老齢である。 | 2. 質量が小さい星ほど進化が速いため、分岐点が低温側にあるほど多くの星が主系列を離脱しており、星団は老齢である。 | 3. 質量が大きい星ほど進化が遅いため、分岐点が低温側にあるほど多くの星が主系列を離脱しており、星団は若齢である。 | 4. 質量が小さい星ほど進化が遅いため、分岐点が低温側にあるほど多くの星が主系列を離脱しており、星団は若齢である。 |
|---|---|---|---|

問7 銀河回転曲線が中心から離れても回転速度が一定であるという観測事実は、銀河系内の質量分布について何を強く示唆しているか。（2015年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 1. 目に見える物質以外に、広範囲に分布するダークマターが存在する | 2. 銀河系の質量は中心部の巨大ブラックホールに集中している | 3. 銀河系内の物質は中心から離れるほど密度が高くなっている | 4. 銀河系は回転しておらず、静止した状態で安定している |
|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|

問8 HR図上で、横軸に見かけの等級、縦軸に絶対等級をとり、距離100パーセクを示す等距離線を引いた場合、この線よりも右下側にプロットされる恒星の距離について正しい説明はどれか。（2023年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 1. 100パーセクよりも遠い | 2. 100パーセクよりも近い | 3. ちょうど100パーセクである | 4. 距離の推定は不可能である |
|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|

問9 ハッブルの法則に関する記述として最も適切なものはどれか。（2014年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|---------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1. 銀河の後退速度は、銀河までの距離に比例する。 | 2. 銀河の後退速度は、銀河までの距離の2乗に比例する。 | 3. 銀河の後退速度は、銀河までの距離に反比例する。 | 4. 銀河の後退速度は、銀河までの距離に関係なく一定である。 |
|---------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------------|

問10 宇宙背景放射の温度は約3 Kであり、その放射強度が最大となる波長はミリ波（約1ミリメートル）の領域にある。これに対し、表面温度が約3000 Kの低温の恒星が放つ放射強度が最大となる波長は、約3 Kの宇宙背景放射の最大波長と比べてどのようになるか。ウィーンの変位則に基づいて説明した文として最も適切なものはどれか。（2025年 全国公立入試 類似）

- | | | | |
|--|--|--|-------------------------------|
| 1. 絶対温度が1000倍高いため、最大波長は1000分の1（約1マイクロメートル）になる。 | 2. 絶対温度が1000倍高いため、最大波長は1000倍（約1メートル）になる。 | 3. 絶対温度が1000倍高いため、最大波長は100万分の1（約1ナノメートル）になる。 | 4. 絶対温度が1000倍高いため、最大波長は変わらない。 |
|--|--|--|-------------------------------|

答え合わせ・解説 No.10

問1	答え 1 水素とヘリウムが主成分であり、炭素や酸素などの重元素はごくわずかに含まれている。	太陽は主系列星であり、その質量の大半は水素とヘリウムで占められている。中心部では水素の核融合反応が進行しているが、大気（光球付近）の組成は初期の星間物質の組成を反映しており、水素とヘリウムが圧倒的に多く、炭素や酸素などの重元素の割合は極めて低い。これは太陽系形成時の原始太陽系星雲の組成と一致している。
問2	答え 3 9倍	ハッブルの法則によれば、銀河の後退速度は距離に比例する。銀河Bの後退速度は銀河Aの3倍であるため、銀河Bまでの距離は銀河Aまでの距離の3倍となる。光の明るさは距離の2乗に反比例するため、距離が1/3倍である銀河Aは、銀河Bと比較して3の2乗倍、すなわち9倍の明るさで観測されることになる。
問3	答え 3 10のマイナス3乗	太陽大気元素組成を分析すると、ケイ素に対する鉄の質量比はおよそ10のマイナス3乗であることが示されている。この比率は、星間塵の形成過程や宇宙における元素の存在度を理解する上で重要な指標となる。カルシウムなどの他の金属元素は、これよりも低い存在比を示すことが一般的である。
問4	答え 1 約13.5日	太陽の自転周期が約27日であるということは、太陽が360度回転するのに27日かかることを意味します。黒点が太陽の東縁から西縁まで移動するということは、太陽の裏側を含まない表面上の半周（180度）を移動することに相当します。したがって、27日を2で割った約13.5日が、黒点が太陽の表面を横切る期間の理論値となります。
問5	答え 1 惑星を構成する主成分の物質の密度が異なるため	惑星の平均密度は、その天体を構成する物質の密度に依存します。地球型惑星は岩石や鉄などの高密度な物質を主成分としますが、木星型惑星は水素やヘリウムといった低密度のガスや氷を主成分としています。この構成物質の違いが、惑星の平均密度に大きな差をもたらす根本的な要因です。自転や公転の周期は惑星の運動状態を示すものであり、平均密度を直接決定する要因ではありません。
問6	答え 1 質量が大きい星ほど進化が速いため、分岐点が低温側にあるほど多くの星が主系列を離脱しており、星団は老齢である。	HR図における主系列の分岐点は、その星団内で主系列を離脱し始めた星の質量を示します。質量が大きい星ほど中心核の燃料を急速に消費して進化が速いため、先に主系列を離れます。したがって、分岐点が低温側に位置するということは、より質量の小さい星までがすでに主系列を離脱していることを意味し、星団の年齢が古い（老齢である）と判断されます。
問7	答え 1 目に見える物質以外に、広範囲に分布するダークマターが存在する	銀河の回転速度が外側でも低下しないことは、銀河の可視光で見える範囲を超えて、質量を持つ未知の物質が球状に広がっていることを示唆する。この目に見えない質量成分をダークマターと呼ぶ。もし銀河の質量が中心付近に集中していれば、外側の星の回転速度は中心からの距離の平方根に反比例して減少するはずであり、この観測事実は現代宇宙論における重要な証拠となっている。
問8	答え 1 100パーセクよりも遠い	$m - M = 5 \log_{10}(d) - 5$ の式において、距離 d が100パーセクのとき、 $m - M = 5 \log_{10}(100) - 5 = 5(2) - 5 = 5$ となる。グラフ上で右下側（ m が大きく、 M が小さい領域）へ移動すると、 $m - M$ の値が5よりも大きくなる。このとき $\log_{10}(d) > 2$ となるため、 $d > 100$ パーセクであることが導かれる。
問9	答え 1 銀河の後退速度は、銀河までの距離に比例する。	ハッブルの法則は、遠方の銀河が地球から遠ざかる速度（後退速度）が、その銀河までの距離に比例するという法則である。この法則は、宇宙が膨張していることを示す決定的な証拠となった。遠方の銀河ほど後退速度が速いことは、スペクトル線の波長が長くなる赤方偏移の観測から導き出される。
問10	答え 1 絶対温度が1000倍高いため、最大波長は1000分の1（約1マイクロメートル）になる。	ウィーンの変位則により、放射強度が最大となる波長は絶対温度に反比例する。温度が3 Kから3000 Kへと1000倍になると、最大強度を与える波長は1000分の1になり、1ミリメートルの1000分の1である1マイクロメートル（赤外線領域）となる。