[답안 작성 요령(실무, 관측 시험)]

답안에는 어떠한 언어로도 설명하는 글을 쓸 수 없다.(문제에서 특별히 '영어'로 무언가 쓰게 하지 않는다면) 그림을 그리거나, 그래프를 그리거나, 수식이나 숫자를 쓰거나, 천문학에서 사용하는 표준 기호(♂, (천칭자리 기호), UMa, M31, 5m) 등을 사용하거나 하는 등 만이 허용된다. 숫자는 아라비아 숫자로 기재하고, 특정한 나라의 문자를 이용해서는 안 된다. 실무 시험(Practical Round)에서는 답안에 글로 설명된 어떠한 부분도 채점에 고려되지 않을 것이다.
예: 별자리 이름은 UMa, Ori 등이어야 하고 영어, 러시아어 등 어떤 언어도 사용해서는 안 된다.

[실무시험]

(α, β 공통) 6. **경도와 위도**

지구의 자전과 공전 때문에 천체의 겉보기 일주운동이 관측된다. 어떤 관측 지점에서, 매일 밤 별은 자오면을 따라 움직인다. 망원경이 위치한 지점의 경도와 위도를 정확히 구하려면 별의 천정거리가 최소일 때의 시각, 즉 남중시각을 측정해야 한다.

Table 6.은 어느 천문대에서 관측한 몇몇 별의 데이터이다.

T : 남중 시각, 중국 표준시 사용
Z : 천정거리
D : 남중 시각에 천정 기준으로 별이 어느 방향에 위치하는가에 대한 표시(N: 천정 북쪽, S: 천정 남쪽)

별의 적경("RA")과 적위("DEC")는 겉보기 위치이다.

지상 관측으로 측정한 천정거리는 대기의 굴절 때문에 실제 천정거리와는 약간 다르다. 그렇기 때문에 천정의 남쪽과 북쪽을 지나는 여러 개의 별을 이용할 필요가 있다.

6.

No.	T	Z	D	RA	DEC
	h m s	° ′ ″		h m s	° ′ ″
1.	22 5 47.580 =22.09655^h	31 13 58.23	N	13 1 31.052 =13.02529^h	56 16 20.70
2.	22 21 12.780 =22.35355^h	45 3 12.33	S	13 16 58.873 =13.28302^h	-20 2 26.52
3.	22 28 28.992 =22.47472^h	30 2 20.99	S	13 24 16.311 =13.40453^h	-5 1 9.93
4.	22 36 15.264 =22.60424^h	16 58 52.11	N	13 32 3.805 =13.53439^h	42 0 56.66
5.	22 39 23.544 =22.65654^h	23 53 22.50	N	13 35 12.642 =13.58685^h	48 55 35.34
6.	22 41 49.884 =22.69719^h	46 6 26.22	N	13 37 39.326 =13.62759^h	71 9 14.62
7.	22 47 17.016 =22.78806^h	16 43 37.88	S	13 43 7.436 =13.71873^h	8 17 50.18
8.	23 1 31.692 =23.02547^h	24 3 34.11	S	13 57 24.400 =13.95678^h	0 57 45.03

6.1. 각 관측 별로 경도 λ와 위도 ϕ를 계산하시오.(단위는 도[°], 소수점 아래 4자리까지 값을 제시하시오.) 답안 공책에 다음 표를 옮겨 그리고 빈 칸에 결과를 채워넣으시오.

경도 계산을 위해서는 다음 식을 활용하시오.

$\lambda = [\ RA - 16.0372h - (T-8)h \times (1+1/365.2422) + 24h\ ] \times 15°$

RA는 적경, 16.0372h는 관측이 수행된 날짜(GMT 기준) 0:00의 평균 태양시와 항성시 차이, (T−8)h는 중국 표준시와 GMT 차이, (1+1/365.2422)는 공전으로 인한 평균 태양시와 항성시의 변화, 24h는 경도값을 (+) 부호로 구하기 위해 더해 준 값이다.

No.	λ (°)	φ (°)
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		

6.2. 앞의 결과에서 경도의 평균값(<λ>)과 위도의 평균값(<ϕ>)을 계산하시오. 단위는 도[°]를 사용하고, 답은 <λ> = ... , <ϕ> = ... 와 같은 형태로 쓰시오.

6.3. 각 관측으로 구한 위도 ϕ와 위도의 평균값 <ϕ>의 차이 Δϕ = | ϕ − <ϕ> | 를 각 관측에 대해 계산하시오. Δϕ (단위는 arcsec [″]을 사용)와 tan (Z) (Z: 천정거리)의 관계를 보여주는 그래프를 그리시오. 그래프의 x축을 tan (Z)로 하시오.

6.4. 그래프를 이용해 이 지역의 대기 굴절 모델 계수 A (단위: arcsec [″])를 구하시오. 대기 굴절 모델은 다음의 식을 따른다.

$$\Delta\phi = A \tan(Z)$$

(답은 소수점 아래 1자리까지 나타내시오.)

(α) 7. **식쌍성**

리장 천문대의 2.4m 망원경, YFOSC 분광기로 어떤 식쌍성의 시선속도를 측정한 데이터를 표로 제공하였다. 관측 시각은 율리우스일(JD), V1과 V2는 각각 별1과 별2의 시선속도이다. 속도의 단위는 km/s이다. 두 별은 질량 중심을 각각 원궤도로 공전한다.

7.

Observational Time (JD)	V_1 (km/s)	V_2 (km/s)
2458203.01601	-300.6	75.7
2458203.03151	-340.5	94.2
2458203.04772	-353.0	104.1
2458203.07990	-283.0	90.8
2458203.11140	-140.7	57.5
2458203.12645	-48.8	-41.4
2458203.14290	41.2	-142.9
2458203.17350	194.9	-175.9
2458203.18924	231.5	-191.0
2458203.20481	253.8	-197.3
2458203.22072	247.4	-181.6
2458203.23636	219.5	-170.8
2458203.26764	120.1	-94.9
2458203.28372	-40.2	-42.9
2458203.29952	-210.3	-3.8
2458203.31535	-247.2	40.2

7.1. 공전주기를 결정하시오.(단위: 일[day])

7.2. 하나의 그래프에 두 별의 시선속도 변화를 모두 표시하시오. x축을 위상(Phase)로 하여 위상에 따른 시선속도 변화를 나타내시오. 위상은 공전 주기 동안

0부터 1까지 변한다 식쌍성이 극소인 시각, JD 2457888.63199를 위상의 기준점 (Phase=0)으로 삼으시오.

7.3. 이 쌍성계의 관측자에 대한 시선속도를 구하시오.(우리에게 가까워진다면 (-), 멀어진다면 (+) 부호를 사용해 나타내시오.)

7.4. 별 1과 별 2의 질량비 q를 구하시오.(q = M2/M1, M1과 M2는 각각 별 1과 별2의 질량이다.)

(β) 7. **블랙홀**

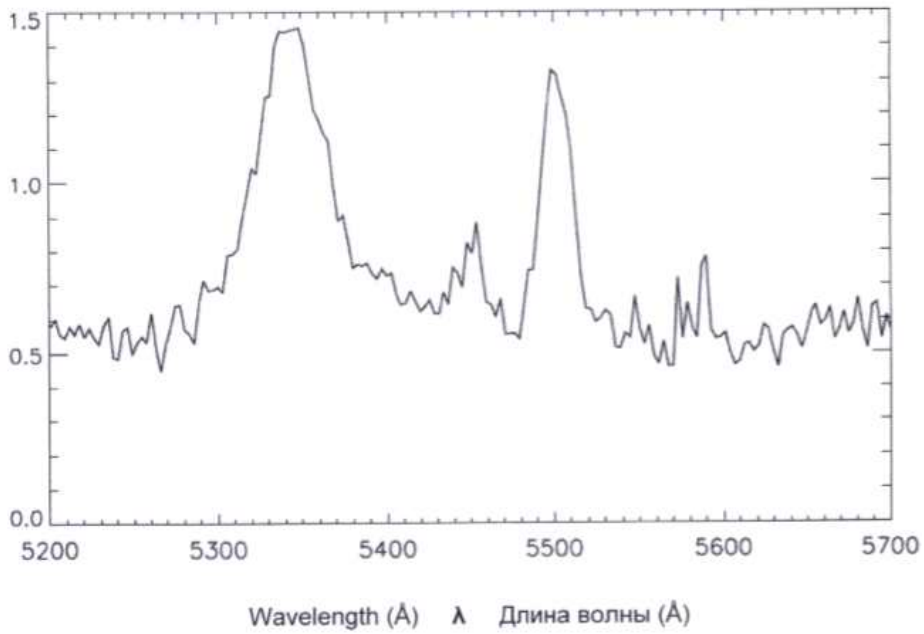
퀘이사의 스펙트럼은 멱함수를 따르는 연속 스펙트럼(플럭스가 파장의 급수에 비례, $f \propto \lambda^{-a}$, 파장 간격이 좁은 범위에서는 거의 직선에 가깝게 보임)과 방출선의 합으로 구성되어 있다.

관측된 스펙트럼으로부터 방출선의 선폭을 잴 수 있다. 선폭을 이용하면, 넓은 선폭 방출선(broad line)을 내는 기체 구름들이 블랙홀을 공전하는 공전 속도를 구할 수 있다. 퀘이사를 계속 모니터링하면서 얻은 일련의 스펙트럼으로부터 특정 파장에서의 연속 스펙트럼 플럭스와 방출선 플럭스를 측정하면, 두 플럭스 모두 시간에 따라 변한다는 것을 알 수 있다. 하지만 변화하는 모양(광도곡선의 마루, 골 등 형태)이 유사하면서도 두 광도 곡선 사이에는 시간 차이가 있다. 연속 스펙트럼은 주로 중심 블랙홀 주변의 강착 원반으로부터 나온다. 연속 스펙트럼 플럭스와 방출선 플럭스의 광도곡선을 비교하면 시간 차이(time delay)를 구할 수 있다. 정지좌표계(rest-frame)에서의 시간 차는 블랙홀 근처에서 나온 빛이 넓은 방출선 지역(BLR)까지 도달하는 데에 걸리는 시간이다. 블랙홀로부터 구름까지의 거리와 중심 블랙홀을 공전하는 기체 구름의 공전 속도를 알면, 중심 블랙홀의 질량을 구할 수 있다.

그림 7.에 퀘이사의 스펙트럼이 주어져 있다. 파장의 단위는 Å, 두 개의 강한 방출선은 각각 Hβ와 [OIII] 이다.(이들의 실험실 파장은 상수 및 공식 표에 주어져 있다.)

몇 달 동안 이 퀘이사를 리장 천문대 2.4m 망원경과 YFOSC 기기로 모니터링하며 5100Å 연속 스펙트럼의 플럭스와, Hβ 방출선의 플럭스를 측정한 결과가 표 7에 주어져 있다. 첫 번째 열은 관측 시간, T = 율리우스일(JD) - 2457035.5이다. 두 번째, 세 번째 열은 각각 연속 스펙트럼의 플럭스, Hβ 방출선의 플럭스이다.

7.



T	f(5100Å)	f(Hβ)	T	f(5100Å)	f(Hβ)
14.0	5.7	4.2	54.0	5.1	4.1
18.0	4.7	3.7	58.8	4.4	3.8
26.0	4.2	2.8	62.8	3.4	3.0
28.0	3.9	2.7	65.8	3.1	2.6
33.0	4.5	2.5	68.8	2.8	2.1
35.0	5.0	2.3	72.0	3.0	1.6
37.0	5.2	2.5	76.0	3.4	1.3
45.0	6.0	3.5	81.8	3.8	1.7
50.0	6.3	3.9	90.0	4.5	2.3

7.1. 스펙트럼을 이용해 퀘이사의 redshift (z)를 계산하시오.

7.2. 주어진 데이터를 이용, 연속 스펙트럼의 광도곡선과 Hβ 방출선의 광도곡선을 그리고, 정지좌표계에서의 시간 차이를 계산하시오. 단위는 일[days]을 사용하시오.

7.3. Hβ 방출선이 블랙홀을 공전하는 기체구름으로부터 나온다고 가정하고, Hβ 방출선의 FWHM (반치전폭)이 구름의 공전속도를 반영한다고 할 때, 공전속도를 계산하시오.(속도 단위는 km/s 사용)

7.4. 블랙홀의 질량을 계산하시오.(단위: kg)

상수 및 공식

Some constants and formulae

진공 중에서 빛의 속력, c (m/s)	299 792 458	Speed of light in vacuum, c (m/s)
중력상수, G ($N \cdot m^2/kg^2$)	$6.674 \cdot 10^{-11}$	Constant of gravitation, G ($N \cdot m^2/kg^2$)
태양상수, A (W/m^2)	1367	Solar constant, A (W/m^2)
허블상수, H_0 (km/s/Mpc) 평균값 / 값의 범주	68 50-100	mean value / diapason of values — Hubble parameter, H_0 (km/s/Mpc)
플랑크 상수, h (J·s)	$6.626 \cdot 10^{-34}$	Plank constant, h (J·s)
전자의 전하, e (C)	$1.602 \cdot 10^{-19}$	Charge of electron, e (C)
전자의 질량, m_e (kg)	$9.109 \cdot 10^{-31}$	Mass of electron, m_e (kg)
양성자-전자 질량비	1836.15	Proton-to-electron mass ratio
패러데이 상수, F (C/mol)	96 485	Faraday constant, F (C/mol)
자기상수, μ_0 (H/m)	$1.257 \cdot 10^{-6}$	Magnetic constant, μ_0 (H/m)
기체상수, R (J/mol/K)	8.314	Universal gas constant, R (J/mol/K)
볼츠만 상수, k (J/K)	$1.381 \cdot 10^{-23}$	Boltzmann constant, k (J/K)
스테판-볼츠만 상수, σ ($W/m^2/K^4$)	$5.670 \cdot 10^{-8}$	Stefan-Boltzmann constant, σ ($W/m^2/K^4$)
비인의 법칙 상수, b (m·K)	0.002897	Wien's displacement constant, b (m·K)
H**α** 의 실험실 파장 (Å)	6562.81	Laboratory wavelength of H**α** (Å)
H**β** 의 실험실 파장 (Å)	4862.68	Laboratory wavelength of H**β** (Å)
O **III** 의 실험실 파장 (Å)	5008.24	Laboratory wavelength of O **III** (Å)
회귀년의 길이, T (days)	365.242199	Tropical year length, T (days)
항성년의 길이, T (days)	365.25636	Sidereal year length, T (days)
근점년의 길이, T (days)	365.259636	Anomalistic year length, T (days)
달 궤도의 교점주기 (years)	-18.6	Nodal period of lunar orbit (years)
표준 대기압, P_0 (Pa)	101 325	Standard atmosphere, P_0 (Pa)
천정에서 지구대기에 의한 가시광의 소광 (최소), a_0	19%, 0.23^m	Visible light extinction by the terrestrial atmosphere in zenith (minimum), a_0
균질 대기의 높이 (m)	7991	Height of homogeneous atmosphere (m)
20°C 물의 굴절률, n	1.334	Refractive index of water for 20°C, n
고체공의 관성능률	$I = {}^2/_5 MR^2$	Moment of inertia of a solid ball
구의 관성능률	$I = {}^2/_3 MR^2$	Moment of inertia of sphere
구의 부피	$V = {}^4/_3 \pi R^3$	Volume of a ball
구의 표면적	$S = 4\pi R^2$	Area of sphere