

(T1) 참(True) 혹은 거짓(False) 판단 문제

아래 문제에 대해 참 또는 거짓을 구분하시오. 답안지(Summary Answersheet)의 TRUE / FALSE 항목에 해당하는 답을 체크하시오. 이 문제는 답에 대한 이유를 적지 않아도 된다.

- (T1.1) 보름달이 뜬 맑은 날 밤에 노출을 충분히 오래 준 사진의 경우, 주변 하늘의 색깔이 낮의 경우와 비슷한 푸른색을 띤다. 2
- (T1.2) 부바네스와르(Bhubaneswar)에 있는 천문학자가 매일 일정 시각(05:00 UT)마다 태양의 위치를 표시하였다. 만약 지구 자전축이 공전궤도에 대해 수직이라면, 표시된 위치는 하늘에서 대원(great circle)의 호(arc)를 그릴 것이다. 2
- (T1.3) 만약 황도면 상에서 태양에 대해 공전하는 소행성의 궤도 주기가 천왕성 궤도 주기보다 작다면, 이 소행성은 반드시 천왕성의 공전궤도 안쪽에만 존재할 것이다. 2
- (T1.4) 태양계의 질량 중심은 항상 태양 안쪽에만 존재한다. 2
- (T1.5) 자유 공간 상에서 광자가 움직이고 있다. 우주가 팽창할 수록, 이 광자의 운동량은 감소한다. 2

(T2) 타이탄에서의 가스 (Gases on Titan) 10

대기의 가스 입자들은 다양한 속력으로 분포한다. 만약 특정 가스의 열 운동에 의한 평균자승제곱근 속도(root mean square thermal speed)가 탈출 속도의 1/6을 넘어선다면, 대부분의 가스가 이 행성에서 날아가 버린다. 그렇다면 날아가지 않고 타이탄 대기 내에 남아있을 수 있는 단원자 가스(a monatomic gas)의 최소 원자 질량(relative atomic mass, A_{mH})은 얼마인가?

단, 타이탄의 질량, 반경, 그리고 표면 온도는 다음과 같다.

$$M_T = 1.23 \times 10^{23} \text{ kg, radius of Titan } R_T = 2575 \text{ km, surface temperature of Titan } T_T = 93.7 \text{ K.}$$

(T3) 초기 우주 (Early Universe) 3

우주론 모형에서, 우주의 복사에너지 밀도(radiation energy density, ρ_r)는 $(1+z)^4$ 에 비례하고, 물질에너지 밀도(matter energy density, ρ_m)는 $(1+z)^3$ 에 비례한다. z 는 적색이동(redshift)을 의미한다. 무차원 밀도 변수 (The dimensionless density parameter, Ω)는 $\Omega = \rho/\rho_c$ 로 주어지며, 여기서 ρ_c 는 임계에너지 밀도이다. 현재의 우주에서는 이 무차원 밀도값이 복사와 물질로 이루어지며, 무차원 복사 밀도와 무차원 물질 밀도는 각각 $\Omega_{r_0} = 10^{-4}$, $\Omega_{m_0} = 0.3$ 이다.

- (T3.1) 복사에너지 밀도와 물질에너지 밀도가 같을 때의 적색이동 값(z_e)를 구하시오. 3
- (T3.2) 초기우주의 복사가 2.732K의 이상적인 흑체 스펙트럼(blackbody spectrum)을 갖는다고 할 때, 위의 적색이동 값(z_e)을 이용하여 복사 온도(T_e)를 구하시오. 4
- (T3.3) 위의 적색이동 값(z_e)에 해당하는 경우의 전형적인 광자에너지(typical photon energy) E_ν (eV 단위)를 구하시오. 3

(T4) 그림자 문제 (Shadows)

10

북반구의 관측자가 1미터의 수직 막대를 이용해서 그림자의 길이를 하루 동안 측정하였다. 측정한 결과, 가장 짧은 길이는 1.732미터이며, 가장 긴 길이는 5.671미터였다. 이 관측자의 위도(the latitude, ϕ)와 이 날의 태양의 적위(declination, δ_{\odot})를 구하시오. 단, 태양은 점광원(point source)이며, 대기 굴절은 무시한다고 가정한다.

(T5) 전파망원경의 빔 통과 시간 계산 (GMRT beam transit)

10

인도의 Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT)는 미터급 전파 관측용으로 세계에서 가장 큰 망원경 중 하나이며, 인도의 서쪽에 위치한다 (latitude: $19^{\circ}6' N$, longitude: $74^{\circ}3' E$). GMRT는 총 30개의 망원경으로 구성되며, 각 망원경은 45미터의 지름을 갖는다. 하나의 전파망원경을 북쪽 자오선을 따라 천정각(zenith angle) $39^{\circ}42'$ 을 향하도록 고정하였다. 만약 어떤 전파원이 이 자오선을 지나면, 망원경의 지름으로 구해지는 빔크기 영역을 따라 지날 수 있도록 하였다.

위와 같이 고정되어 있는 GMRT 망원경을 이용해서 200MHz의 신호를 검출할 때, 어떤 전파원이 망원경의 FWHM(full width at half maximum) 크기를 지나는데 걸리는 시간(T_{transit})은 얼마인가?

힌트 : 특정 주파수에서의 망원경의 FWHM은 일반적으로 망원경의 분해능(angular resolution)과 같다고 가정한다. 그리고 전파원은 고른 밝기를 가정한다.

(T6) 세페이드의 맥동 (Cepheid Pulsations)

β -Doradus는 9.84일의 변광 주기(pulsation period)를 갖는 세페이드 변광성(Cepheid variable star)이다. 크기가 가장 줄어들었을 때 (반지름이 R_1 인 경우) 밝기가 가장 밝고, 가장 클 때 (반지름이 R_2 인 경우) 밝기가 가장 어둡다고 가정한다. 그리고 별은 구의 형태를 유지하고, 모든 변광 주기에서 완전한 흑체(black body)라고 가정한다. 복사등급(bolometric magnitude)은 3.46 과 4.08 사이에서 변한다. 도플러(Doppler) 측정을 통해서, 변광하는 동안 평균 속도 12.8 km s^{-1} 으로 표면이 수축 팽창을 반복한다고 알게 되었다. 그리고 반복 주기 동안 별이 내는 열적 복사(thermal radiation)는 531.0 nm 에서 649.1 nm의 값이 측정되었다..

(T6.1) 최대 수축된 경우와 최대 팽창한 경우의 반지름 비(R_1/R_2)를 구하시오.

6

(T6.2) 최대 수축 및 최대 팽창한 경우의 반지름 크기(R_1 과 R_2)를 미터 단위로 구하시오.

4

(T6.3) 최대 팽창한 경우의 별의 flux (F_2)를 구하시오.

5

(T6.4) 별과의 거리 (D_{star})를 파섹(parsecs) 단위로 구하시오.

5

(T7) 망원경 광학 (Telescope optics)

굴절 망원경의 초점비(focal ratio)는 $f/5$ 이며, 대물렌즈의 초점거리(the focal length of the objective lens)는 100 cm, 그리고 접안렌즈의 초점거리는 1 cm이다.

(T7.1) 망원경의 배율(angular magnification, m_0)과 망원경 길이(대물렌즈부터 접안렌즈까지의 길이, L_0)를 구하시오. 4

대물렌즈와 주초점 사이에 오목렌즈(Barlow lens)를 사용하면, 망원경의 길이가 크게 변하지 않더라도 배율을 높일 수 있다. 이 렌즈(Barlow lens)의 초점거리는 1cm이며, 대물렌즈와 접안렌즈 사이에 놓아서, 배율을 두 배로 증가시키려고 한다.

(T7.2) Barlow lens를 주초점으로부터 어느 정도 거리(d_B)에 두어야 배율이 두 배로 증가하는가? 6

(T7.3) 원래 길이로부터 늘어난 망원경의 길이 차(ΔL)는 얼마인가? 4

오목렌즈와 접안렌즈를 빼고 CCD 검출기를 주초점면에 두었다. 그리고 앞의 대물렌즈를 사용하여 하나의 망원경을 제작하였다. CCD 검출기의 각 픽셀 크기는 $10 \mu\text{m}$ 이다.

(T7.4) 만약 두 개의 별이 천구 상에서 $20''$ 떨어져 있다면, CCD 검출기 상에 나타난 두 별의 중심 간의 거리가 몇 개의 픽셀 간격(n_p)으로 나타나는가? 6

(T8) U 대역 측광학 (U-Band photometry)

어떤 별이 U 대역에서 겉보기등급(apparent magnitude, m_U)이 15.0 으로 측정되었다. 이 U 대역 필터는 이상적이며, 이 대역에서만 100% 투과(transmission)되고, 다른 대역에서는 투과되지 않는다고 가정한다. 이 필터의 중심 파장은 360 nm이며, 대역폭은 80nm이다. 그리고 별 또한 이 파장대에서 고른 분포의 에너지 스펙트럼(flat energy spectrum)을 갖는다고 가정한다. 등급 m 과 매초 단위 면적당 들어오는 에너지인 플럭스 밀도 f 간의 변환식은 아래와 같다. 단, 단위는 Jansky ($1 \text{ Jy} = 1 \times 10^{-26} \text{ W Hz}^{-1} \text{ m}^{-2}$) 이다.

$$f = 3631 \times 10^{-0.4m} \text{ Jy}$$

(T8.1) 이 별로부터 지구 대기의 맨 위 1 m^2 공간에 매초마다 떨어지는 U 대역 photon 개수(N_0)는 약 얼마 정도인가? 8

주경 지름 2미터인 망원경을 이용하여, 지면에서 이 별을 U 대역에서 관측하려고 한다. 이 대역에서 대기에 의한 소광은 50%이며, 시상의 문제는 없다고 가정한다. 그리고 밤 하늘(sky)을 관측하여 측정된 이 대역의 평균 표면 밝기(surface brightness)는 $22.0 \text{ mag/arcsec}^2$ 이다..

(T8.2) 이 별로부터 매초 받는 photon의 양과, $2''$ 반지름의 크기를 가정한 하늘(sky)로부터 받은 양의 비율 R 을 구하시오. 8

(T8.3) 실제, 이 대역에서 주경면에 떨어진 photon의 20%만 검출되었다. 이 별로부터 초당 검출된 photon의 수 N_t 을 구하시오. 4

(T9) **화성 궤도 탐사선 미션 (Mars Orbiter Mission)**

2013년 11월 5일, 인도의 Mars Orbiter Mission (MOM)이 Polar Satellite Launch Vehicle (PSLV)을 이용하여 발사되었다. MOM은 몸체(body)와 측정기기(instrument)로 이루어졌는데, 500 kg의 자체중량을 가지며, 852 kg의 연료를 실었다. 이 궤도 탐사기는 지구 표면으로부터 근지점 264 km와 원지점 23904 km를 갖는 타원 궤도에 올려졌다. 여섯 번의 궤도 수정 후 Hohmann orbit이라 불리는 trans-Mars injection 궤도로 이동하였다.

최초 궤도 수정은 근지점 근처에서 매우 짧은 시간 동안 엔진 점화를 함으로써 이루어졌다. 엔진 점화로 궤도면이나 근지점 값이 변하지 않으면서 궤도 수정만 이루어지도록 하였다. 이 엔진 점화는 $1.73 \times 10^5 \text{ kg m s}^{-1}$ 의 실충격량을 가하였다. 엔진 점화 과정에서 줄어드는 연료 질량은 없다고 본다. 아래는 최초 궤도 수정 후에 대한 상황이다.

(T9.1) 엔진 점화 후의 새로운 원지점 높이 (h_a)는 지구로부터 얼마의 거리인가? 14

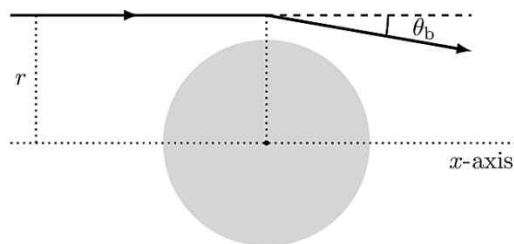
(T9.2) 수정된 궤도의 이심율 (e)과 MOM의 새로운 궤도 주기 (P , 시간 단위)를 구하여라. 6

(T10) **중력 렌즈 망원경 (Gravitational Lensing Telescope)**

아인슈타인의 일반 상대성 이론은 질량이 큰 물체 주변에서 빛이 휘다고 예견한다. 단순하게, 아래 그림처럼 빛의 휘어짐은 한 점의 위치에서 발생한다고 가정한다. 휘어지는 각 θ_b 은 아래와 같다.

$$\theta_b = \frac{2R_{sch}}{r}$$

R_{sch} 는 이 중력체와 관련된 Schwarzschild 반경(radius)이라고 하며, r 은 그림과 같이 빛과 중력체 중심 사이의 거리로 충격인자(impact parameter)라고 한다



설명하면, 질량이 큰 물체는 렌즈와 같은 역할을 한다. 무한한 거리로부터 날아온 빛은 질량이 큰 물체를 지나는데, 중심으로부터 거리인 충격인자 r 에 따라 θ_b 가 만들어지며, 초점거리와도 같은 f_r (질량이 큰 물체의 중심으로부터의 거리) 지점이 형성된다. 이 위치에서 빛을 보는 관측자는 중력 초점 효과에 의한 증폭 효과를 경험하게 된다. 그래서 이 질량이 큰 물체는 중력 렌즈 망원경(gravitational lensing telescope)으로써 먼 거리의 신호를 증폭하는 역할을 하게 된다.

(T10.1) 태양을 중력 렌즈 망원경으로 사용할 수 있는지 고려해본다. A.U. 단위로 뒤에서 오는 빛의 초점을 맞힐 수 있는 최소 거리 f_{min} 을 구하시오. 6

(T10.2) 반지름 a 의 작은 원 모양의 검출기를 가정한다. 이 검출기는 x -axis 축에서 초점 거리 f_{mh} 위치에서 축에 대해 수직으로 놓여져 있다. 검출기의 중앙은 축에 있다. 유의할 점은, 태양 뒤에서 오는 빛은 태양을 둘러싸면서 금환 혹은 도넛 모양(annulus ring)과 같은 특정 두께 h (where $h \ll R_{\odot}$) 만큼만 휘어져서 검출기로 들어온다. 이 검출기의 증폭인자(amplification factor, A_m)는 태양이 있음으로 해서 검출기에 휘어 들어온 빛의 세기(intensity)와 태양이 없는 경우 그대로 들어온 빛의 세기의 비로 표현된다.

8

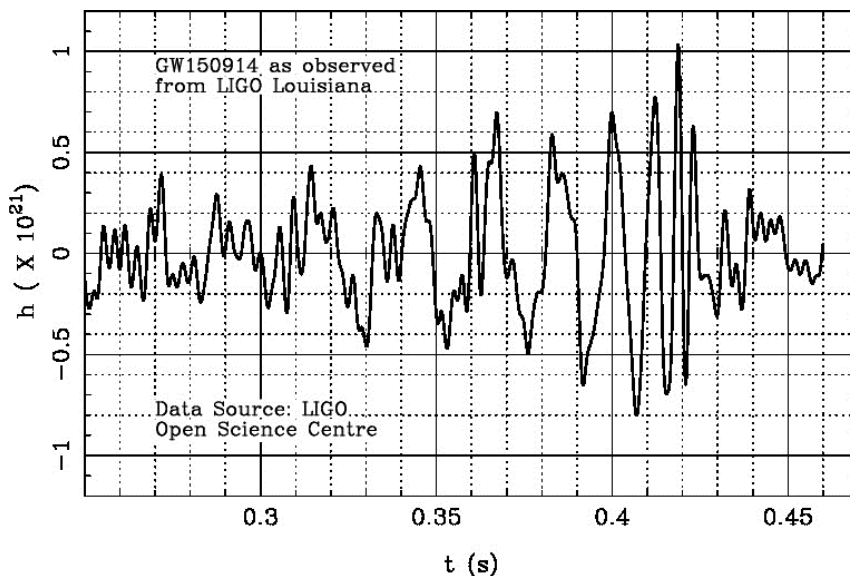
이 증폭인자(amplification factor, A_m)를 태양 반경(R_{\odot})과 검출기 반지름(a)를 이용하여 표현하시오.

(T10.3) 중력 렌즈 효과가 적용되는 구형의 질량체 분포(예, 은하단의 암흑물질)가 있다고 가정한다. 총격인자 r 은 반경 r 이내의 질량 $M(r)$ 과만 관련있고, 이 질량에 의해서만 중력 렌즈 효과가 나타나며, r 보다 큰 범위의 질량은 무시한다고 가정한다. 중력렌즈가 이상적인 광학적 볼록 렌즈처럼 작용하려면 질량 분포 $M(r)$ 은 r 에 대해 어떤 함수로 표현되겠는가?

6

(T11) 중력파 (Gravitational Waves)

2015년 9월, 미국의 Hanford와 Livingston에 있는 두 개의 LIGO 검출기에서 처음으로 중력파가 검출되었다. 다음 그림은 그 관측 결과 (초 단위 시간에 따른 변형 정도)중 하나이다. 이 문제는 질량이 큰 물체 M 주위에 질량이 작은 실험 물체 m ($m \ll M$)가 있다는 가정을 한다. 그리고 질량이 큰 물체의 본질을 파악하기 위해 아래 기록 결과를 여러 모델에 적용해 보려고 한다.



작은 질량의 실험체는 중력파 방출을 통해 질량을 잃게 된다. 그 결과 궤도가 점점 수축되어 결국 큰 질량의 물체 표면에 떨어지는데, 큰 질량의 물체가 블랙홀인 경우 실험체가 도착하는 위치는 가장 안쪽 안정 원 궤도(Innermost Stable Circular Orbit, ISCO)이다. ISCO는 반경 $R_{ISCO} = 3R_{sch}$ (R_{sch} 은 블랙홀의 Schwarzschild 반경임)로 나타난다. 이 ISCO에 진입한 시기를 “epoch of merger (직역, 병합기)”라고 한다. 이 시기에 다 다르면 중력파는 그 크기가 최대가 되며, 항상 궤도

진동수의 두 배에 해당하는 진동수 또한 최대가 된다. 아래 문제는 완전 병합이 이루어지기 직전의 증폭 시기에 대해서만 초점을 두는데, 이 동안에는 “케플러 법칙”이 적용된다고 가정한다. 병합이 일어난 후, 그림에서 보듯이 중력파 형태는 엄청나게 변화한다.

(T11.1) 위 그림의 중력파 검출 관측자료를 보고, 병합기(epoch of merger) 직전에 해당하는 중력파의 시간 주기 T_0 와 주파수 f_0 를 구하시오. 3

(T11.2) 주계열성의 반경 R_{MS} 과 질량 M_{MS} 은 아래와 같은 관계를 갖는다. 8

$$R_{MS} \propto (M_{MS})^\alpha$$

$$\text{where } \alpha = 0.8 \quad \text{for } M_\odot < M_{MS}$$

$$= 1.0 \quad \text{for } 0.08M_\odot \leq M_{MS} \leq M_\odot$$

만약 큰 질량의 물체가 주계열성이라면, 중력파의 최대 주파수 f_{MS} 를 태양 질량 단위로 나타낸 별의 질량 M_{MS}/M_\odot 과 α 로 표현하시오.

(T11.3) 위 결과를 이용해서 주계열성에서 최대의 중력파 주파수 f_{MSmax} 를 만드는 적절한 α 값을 결정하고 그 주파수를 표현하시오. 7

(T11.4) 백색 왜성은 최대 질량이 $1.44 M_\odot$ (Chandrasekhar limit에 이라고 한다)이며, 질량-반경 관계는 $R \propto M^{-1/3}$ 을 따른다. 태양 질량의 백색 왜성은 반경이 2100 km이다. 실험천체가 이 백색 왜성 주위를 도는 주변을 도는 경우 방출되는 중력파의 최대 주파수, f_{WDmax} 를 구하시오. 10

(T11.5) 중성자별은 특이한 종류의 압축천체로서 질량은 $1M_\odot$ 에서 $3M_\odot$ 정도, 반경은 10 – 15 km 이다. 실험천체가 중성자 별의 반경 가까이에서 도는 경우, 방출 가능한 중력파 주파수의 범위, f_{NSmin} 과 f_{NSmax} 를 구하시오. 10

(T11.6) 만약 실험천체가 블랙홀 주변을 돈다면, 방출되는 중력파의 주파수 f_{BH} 를 블랙홀 질량 M_{BH} 과 태양 질량 M_\odot 으로 표현하시오. 7

(T11.7) 병합시기 이전의 중력파 시간주기(즉, 주파수)에만 근거해서, 중심 천체가 주계열성(MS), 백색 왜성(WH), 중성자별(NS), 블랙홀(BH) 중 어떤 것에 해당하는지 답안지에 ‘V’ 표시를 하시오. 그리고 그 천체의 질량 M_{obj} 을 태양 질량 M_\odot 단위로 구하시오. 5

< 다음 장에 계속 >

(T12) 외계행성 (Exoplanets)

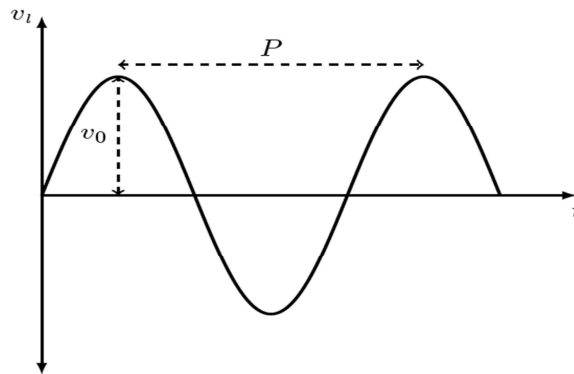
다른 별의 주변을 도는 행성, 곧 외계행성(exoplanet)을 관측하는 방법은 두 가지가 있다. 하나는 시선 속도 측정법 혹은 요동 측정법(radial velocity or wobble method)이며, 다른 하나는 전면 통과 관측법(transit method)이다. 이 문제를 통해, 두 관측법을 같이 사용하면 별 주위를 도는 외계행성에 대한 많은 정보를 얻을 수 있다는 사실에 대해 이해하게 될 것이다.

이 문제를 통틀어서 다음의 가정을 한다. M_p 의 질량과 R_p 의 반경을 갖는 행성과 M_s 의 질량과 R_s 의 반경을 갖는 별이 있다. 별의 질량은 행성보다 충분히 크며($M_s \gg M_p$), 행성은 별에 대하여 반지름 a 크기의 원궤도 상에서 움직이고 있다. 행성궤도면의 수직선(normal)은 시선 방향에 대해 i 의 경사각을 갖는다. 예를 들어 $i = 90^\circ$ 이면 edge-on으로 궤도 측면만 보인다. 다른 행성은 없으며, 궤도의 반지름이 별의 반경보다 매우 크다고 가정한다($R_s \ll a$).

요동 관측법 (“Wobble” Method):

행성과 별이 계의 질량중심(barycenter)에 대해 회전을 하는 동안, 별이 미약하게 움직이는 현상(즉, 요동)을 보인다. 왜냐하면, 별의 질량 중심이 이 별-행성계의 질량중심과 일치하지 않기 때문이다. 그 결과, 별로부터 측정되는 빛은 이 요동 속도로 인해 약한 도플러 이동(Doppler shift)을 하게 된다.

별의 시선 방향 속도(v_l)는 알려진 분광선의 도플러 이동을 측정함으로써 알 수 있으며, t 시간에 따른 속도 변화의 주기는 아래의 시선속도 변화 곡선을 통해 구할 수 있다. 이 그림을 통해 궤도주기 P 와 시선방향 최대 속도 v_0 를 구할 수 있다..



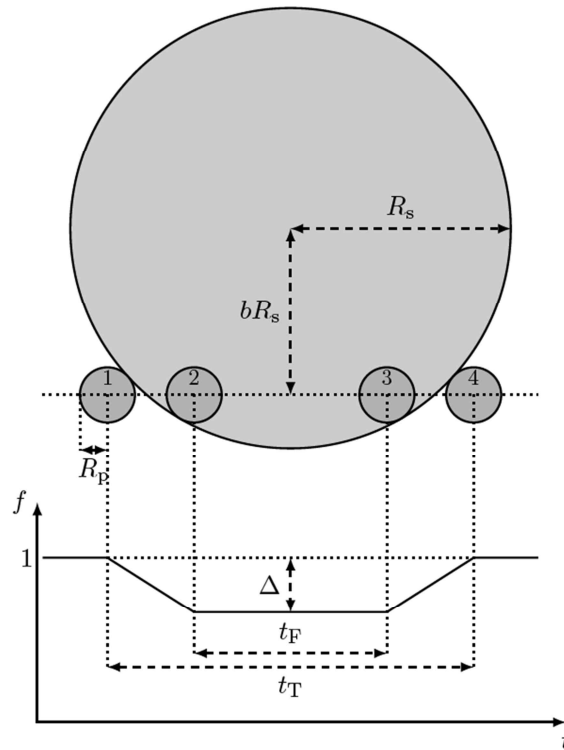
(T12.1) 행성의 궤도 반경 a 와 궤도 속도 v_p 를 M_s 와 P 의 식으로 나타내어라. 3

(T12.2) 행성 질량의 최소값 $M_{p, \min}$ 을 M_s, v_0, v_p 를 이용해서 표현하라. 4

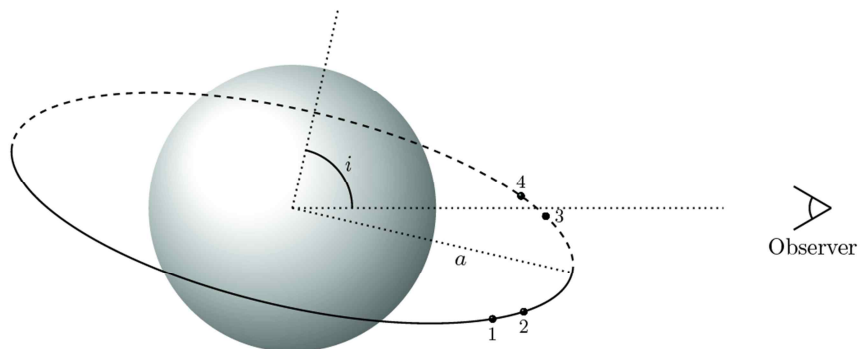
전면 통과 관측법(Transit Method):

행성의 궤도면이 “edge-on” ($i \approx 90^\circ$) 에 가까운 경우, 행성의 공전운동이 별의 전면을 주기적으로 통과(transit)하는 것처럼 보인다. 이 현상은 관측되는 별의 플럭스 밀도가 미묘하게 줄어드는 현상을 야기한다. 아래 그림은 이 현상을 관측자 입장에서 본 상황에서 그린 것으로, 전면 통과에 의한 별의 플럭스 밀도 세기 변화가 굴곡(light curve : 플럭스 밀도 f 대 시간 t) 을 그리는 것을 확인할 수 있다.

만약 경사각 i 가 정확히 90° 이면, 행성이 별의 지름 크기 만큼 지나가는 것처럼 보일 것이다. 다른 경사각에서는 전면 통과가 현(chord)을 따라 일어나며, 별의 중심에서 현까지의 거리는 아래 그림처럼 bR_s 로 표현할 수 있다. 전면통과가 이루어지지 않는 경우의 플럭스 밀도가 1 이라고 하면, 전면통과에 의해 파인 듯한 부분의 최대값을 Δ 로 표현할 수 있다(그림 참고).



이 전면통과 과정에는 네개의 분명한 구간이 존재하며, 위 그림처럼 1, 2, 3, 4로 구분할 수 있다. 2와 3 사이를 지나는데 걸리는 시간을 t_F 라 하며, 이 동안은 행성이 별과 완전히 겹쳐있게 된다. 1에서 4 사이를 지나는데 걸리는 시간을 t_T 로 표시하였다. 이 위치들은 아래 그림에서도 비슷하게 나타내었다.



이 방법으로 측정할 수 있는 것은 P , t_T , t_F , Δ 값이다.

(T12.3) 먼 거리의 관측자가 전면통과(transit) 과정을 볼 수 있는 경사각 i 의 범위를 R_s 와 a 를 이용하여 나타내시오. 2

(T12.4) 플렉스 밀도가 줄어드는 구간의 Δ 값을 R_s 와 R_p 을 이용하여 나타내시오. 1

1

(T12.5) 시간 t_T 와 t_F 를 R_s, R_p, a, P, b 를 이용하여 나타내시오. 8

8

(T12.6) 별의 반경보다 궤도 반지름이 매우 큰 경우, b 값이 아래와 같이 나타낼 수 있음을 보이시오. 5

5

$$b = \left[1 + \Delta - 2\sqrt{\Delta} \frac{1 + \left(\frac{t_F}{t_T}\right)^2}{1 - \left(\frac{t_F}{t_T}\right)^2} \right]^{1/2}$$

(T12.7) 앞의 (T12.6) 결과를 이용하여 a/R_s 를 구하시오. 이 비는 측정가능한 전면통과 측정(transit) 관련 값들과 적절한 근사를 이용하여 구하시오. 3

3

(T12.8) 요동 관측법(wobble method)과 전면통과 관측법(transit method)을 같이 이용하여, 별의 평균 밀도(stellar mean density, $\rho_s \equiv \frac{M_s}{4\pi R_s^3/3}$)를 t_T, t_F, Δ, P 의 식으로 나타내시오. 6

6

암석 혹은 가스 형태 (Rocky or gaseous):

행성의 궤도가 원궤도이며, 경사각 90도의 ‘edge-on’을 가진 별-행성계를 지구에서 본다고 가정한다. 별의 질량은 $1.00M_\odot$ 라고 한다. 전면통과 과정(transit)이 50.0 일의 주기(P), 1.00 시간의 지속시간(t_T)이 소요되었다. 전면통과 깊이(Δ)는 0.0064이다. 이 별-행성계는 요동 관측법(wobble method)에 의해서도 관측되었으며, 최대 시선방향 속도는 0.400 ms^{-1} 이다.

(T12.9) 이 행성의 궤도 반경 a 를 AU와 미터 단위로 나타내어라. 2

2

(T12.10) 이 별-행성계의 t_F/t_T 비를 구하여라. 2

2

(T12.11) 이 행성의 질량 M_p 을 지구의 질량 M_\oplus 으로 나타내어라. 그리고 행성의 반경 R_p 을 지구의 반경 R_\oplus 로 나타내어라. 행성은 암석(ROCKY)의 형태인가 가스(GASEOUS)의 형태인가? 답안(Summary Answersheet)의 상자 중 알맞은 곳에 ‘V’ 표시를 하여라. 8

8

흑점(starspots)과 주연감광(limb darkening)효과가 포함된 경우의 전면 통과법의 광도곡선 (Transit light curves with starspots and limb darkening):

(T12.12) 경사면 90도를 갖는 행성이 별 주변을 돌고 있다. 그런데 이 별은 적도면에 행성 크기 R_p 와 같은 흑점(starspot)이 하나가 존재한다. 그리고 별의 자전 주기는 $2P$ 이다. 이 경우 행성이 다섯 번의 성공적인 전면통과 과정을 나타내는 전면 통과시 나타나는 광도곡선을 그려라. 이 그림은 답안(Summary Answersheet)에 있는 그래프 칸을 이용해야 한다. 각각의 전면통과 과정마다 전면통과가 일어나지 않은 순간의 플렉스 밀도를 표준화(normalize)해서 나타내어도 된다. 단, 첫번째 전면통과 순간에는 행성이 흑점과 만나지 않지만 두번째 전면통과시에는 만난다고 가정한다. 4

4

(T12.13) 앞의 문제 과정동안 별은 일정한 밝기의 원반(uniformly bright stellar disc)으로 가정하였다. 하지만 실제 별은 주연감광(limb darkening)효과를 가지고 있다. 이 경우 행성이 전면 통과시 광도곡선이 어떻게 나타나는지 그려라. 2

2