
2014년 2학기

물리학의 현대적 이해

제1강: 과목 소개 & 물리학의 고전적 이해

권영준 (물리학과)

과목 소개

● Teaching staff

- 담당 교수: 권영준 / 연세대 물리학과 (since 1996)
 - ❖ (연락: yjkwon63 @ yonsei.ac.kr)
- 담당 조교: 김한진 / 연세대 물리학과 대학원 입자물리 실험실
 - ❖ (연락: hanjin @ yhep.yonsei.ac.kr)



● 강의실, 강의 시간

- 과학관 111
- 월 1, 2교시 (9:00 - 10:50), 수 2교시 (10:00 - 10:50)

● 면담

- 아무때나 (일요일, 공휴일 제외) 24시간 전에 email로 약속 잡으면 됨
- 수업에 관한 & 물리학 공부에 관한 내용이라면 언제든지 환영!

과목 소개

● 수업 진행

- 비이공계 학생을 위한 개념 위주의 강의
 - ❖ 단, 4칙연산 수준의 간단한 수식은 사용함.
 - ❖ 이공계 소속 수강생은 상대평가를 별도로 적용함.
- 별도의 교과서 없이 진행
 - ❖ 강의 자료는 매 수업 당일 오전 6시(이전)에 YSCEC에 게시 – *Please read it before coming to class, and bring your questions!*
 - ❖ 강의는 우리말로 진행하나 물리 용어는 영어 용어를 사용함.
 - ❖ 필요에 따라 참고문헌 읽기를 과제로 부여함.

과목 소개

● 시험 및 평가

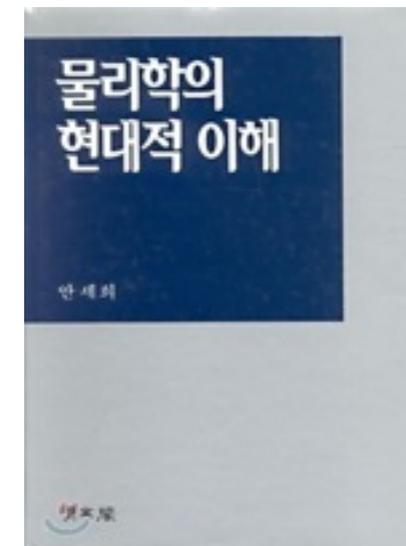
- 중간고사 및 기말고사
 - ❖ 개념 위주; 수식 암기는 필요 없으나 간단한 계산은 필요함.
- 중간고사 (35%), 기말고사 (45%), Essay 및 과제물 (10%), 수업참여 (10%)
- 출석 확인은 매 강의시 설문지 제출로 대신함.
- 수업 시간 중 질문 적극 환영
 - ❖ 참여 점수에 반영; 질문시 이름과 소속 밝히시길!

(원조) ‘물리학의 현대적 이해’



안세희 (安世熙, 1928년 ~) 교수님

- 연세대학교의 제9-10대 총장(1980-1988) 역임.
- 총장에서 물러 나신 후 **물리학의 현대적 이해** 과목을 처음으로 개설하심.
- 1951년 연세대학교(당시 연희대학교) 졸업 후 미국 Northwestern 대학교에서 물리학 박사 취득 후 귀국하여 본교 교수로 취임하심.
- 국내에서 이루어진 연구로 Physical Review에 한국인 최초로 논문 게재함.
- 한국물리학회 회장 역임, 현재 학술원 회원.



안세희 교수님이 저술하신
물리학의 현대적 이해 (청문각, 1993)

무엇을 위한 과목인가?

- 물리적(or 과학적) 사고 방법
 - 물리를 배우면 세상을 보는 눈이 달라진다?
- 자연과 우주에 대한 물리학적 탐구
 - 그리고 약간의 교양 물리 지식!



무엇을 배우는가?

1. 첫 만남

- 과목 소개
- 물리 이론을 위한 오컴의 면도날
- 왜 현대적 이해가 필요한가?

2. 물리학 - 호기심, 아름다움, 유용함

- 호기심 탐구의 역사
- 대칭성의 아름다움
- 꽤 쓸모 있는!

3. 물리학의 언어

- 모델링, 수식, 단위
- the large and the small
- *The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences*

무엇을 배우는가?

5. Newton의 법칙 & 결정론적 세계관

6. 미래는, Newton이 말한대로, 정말로 예측 가능한가?

- Newton의 세계관 — 한계와 문제점은 무엇인가?

7. 진동, 파동, 소리 (Oscillations, Waves & Sound)

- 음악을 위한 물리학

8. 빛이란 무엇인가?

- 전기, 자기, 그리고 전자기파 (Electricity, Magnetism & EM waves)

9. 시간, 공간, 시공간 (space, time, and spacetime)

10. 휘어진 공간, 중력의 현대적 이해

무엇을 배우는가?

11. 미시세계의 탐구

- 파동인가, 입자인가?
- 확실합니까?
- 원자 세계

12. 궁극의 이론(the Theory of Everything)은 존재하는가?

- 원자보다 작은 세계
- 그보다 한참 더 작은 세계?

13. 우주 - 어디에서 와서 어디로 가는가?

14. 하나를 알면 열을 안다?

- 무엇인가가 많이 모이면 나타나는 발현성질

15. 혼돈 그리고 복잡 - 물리학의 영역인가?

자연과학(Natural Science)이란?

● 자연과학

- 자연 현상을 검증을 통해 연역적으로 가능한 한 객관적으로 탐구하는 활동을 일컫는다. 인문학 또는 사회과학과 구별지어서 쓰이기도 한다.

● 자연과학적 지식의 분류

- 특정 지식 (단편적 지식, 과학적 사실)
 - ❖ (예) 사과가 땅으로 떨어진다; 달이 지구 주위를 돈다
- 보편 지식 (특정 지식들을 묶어서 하나의 체계로 이해된 과학적 이론 법칙)
 - ❖ (예) 케플러의 법칙; 뉴턴의 만유인력 법칙

● 자연과학적 지식의 가장 중요한 요소

- 재현성 (reproducibility, repeatability)

재현성이 문제가 되는 유사과학(para-science)의 예: UFO, 초능력 등

자연과학의 분야들

- 수학: 수(number)와 그 연산, 집합(set), 함수(function), 그리고 공간(space)에 대한 학문. 수학은 그 자체로서 과학의 일부이지만 물리학 등 타 과학 분야의 언어이기도 하다.
- 물리: 물질의 이치를 연구
- 화학: 물질의 변화를 연구
- 생물: 생명체를 연구
- 천문학: 우주를 연구
- 지구과학: 지구를 연구
- 기타 응용과학: 의학, 공학 등

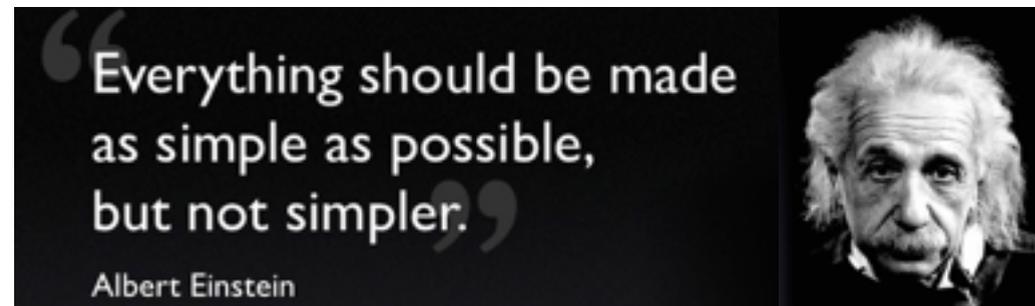
좋은 자연과학 이론이 되려면

- 이론 자체에 모순이 없어야 함 **self-consistency**
- 최대한 넓은 영역의 관측 결과를 설명하여야 함 (**보편성**)
 - (예) 갈릴레이의 낙하법칙보다는 뉴턴의 만유인력 법칙이 더 좋은 이론이다.
- 아직 관측되지 않은 일에 대한 **예측**이 가능해야 함
 - (예) 뉴턴의 만유인력 법칙을 통해 새로운 행성의 존재 예측 (**해왕성의 발견**)
- 같은 현상을 설명하는 여러 가지 ‘이론’이 존재하는 경우 **가장 임의성이 적고 간단한 이론을 채택**
 - (예) 천동설과 지동설

오컴의 면도날(Ockham's razor) 원칙

- 관찰과 일치하는 여러 가설이 있을 때는 가장 간단한 가설을 채택한다.
 - 마치 불필요한 군더더기 가정(assumption)은 면도날로 싹둑 베어버리듯이...
- “단순한 것이 아름답다”, “아름다운 것이 진리에 가까울 것이다”
 - 실험이나 관측으로 검증할 수 없는 영역의 이론을 세워 갈 때 이론의 단순함과 아름다움이 중요한 기준이 된다.
 - (예) 우주의 근본법칙을 찾는 과정의 실험을 위해서는 지상에서 실현 가능한 규모보다 훨씬 더 큰 에너지가 필요하다. 이 경우 실험 사실을 통한 이론의 검증이 불가능하며 대신에 수학적 아름다움과 단순한 구조를 지닌 가설, 예를 들어 ‘초끈이론(super-string theory)’이 유력한 후보로 간주된다.
 - 물론 이에 대한 최종 판결은 실험 및 관측을 통해 이루어져야 한다. 그것이 가능하기 전까지는 최종 판결이 유예된다고 생각하는 편이 맞을 것이다.

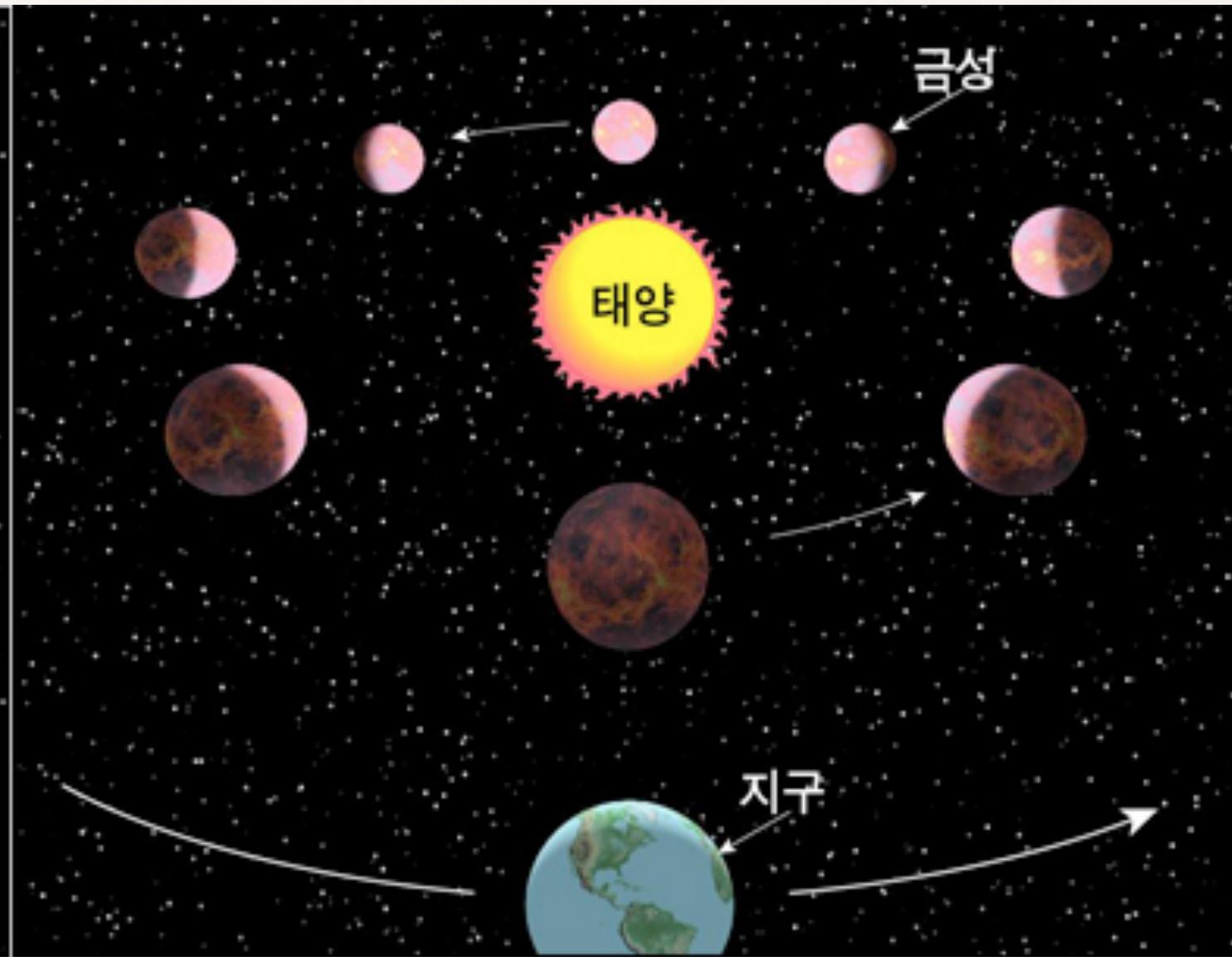
THE KISS PRINCIPLE
**KEEP
IT
SIMPLE,
STUPID**



금성의 모양 변화를 설명하는 두 가지 가설



(Q) 오컴의 면도날 원칙에 비추어 지동설과 천동설을 비교하고 어느 가설이 더 좋은 물리 이론이라 생각 하는지 논하시오. (100자 이상)





오컴의 면도날

위키백과, 우리 모두의 백과사전.

오컴의 면도날(Occam's Razor 또는 Ockham's Razor)은 흔히 '경제성의 원리' (Principle of economy)라고도 한다. 14세기 영국의 논리학자이며 프란체스코회 수사였던 **오컴의 윌리엄** (William of Ockham)의 이름에서 따왔다.

원문은 라틴어로 된 오컴의 저서에 등장하는 말.

- 1. "Pluralitas non est ponenda sine neccesitate." (필요하지 않은 경우에까지 많은 것을 가정하면 안 된다)
- 2. "Frustra fit per plura quod potest fieri per pauciora." (보다 적은 수의 논리로 설명이 가능한 경우, 많은 수의 논리를 세우지 말라.)

간단하게 오컴의 면도날을 설명하자면, 어떤 현상을 설명할 때 불필요한 가정을 해서는 안 된다는 것이다. 오늘날 우리가 하는 말로 번역하자면, '같은 현상을 설명하는 두 개의 주장이 있다면, 간단한 쪽을 선택하라'는 뜻이다. 여기서 면도날은 필요하지 않은 가설을 잘라내 버린다는 비유로, 필연성 없는 개념을 배제하려 한 "사고 절약의 원리"(Principle of Parsimony)라고도 불리는 이 명제는 현대에도 과학 이론을 구성하는 기본적 지침으로 지지받고 있다.

잘못된 이해 [편집]

오컴의 면도날은 단순히 "여러 가지 가설이 세워지게 된다면 그 중 하나를 고를 때 사용하는 일종의 태도"에 지나지 않는다. 그렇기에 오컴의 면도날로 어느 가설을 선택했다고 해서 반드시 그 가설이 옳다고 볼 수는 없다. 거꾸로도 마찬가지로, 어느 가설을 오컴의 면도날로 "잘라내"버렸다 하더라도 그 가설이 틀렸다고 할 수 없다. **오컴의 면도날은 진위를 가르는 잣대가 아니다.**

그러나 역사적으로 봐도, 오컴의 면도날로 배제한 쓸데없이 복잡한 가설들은 후에 잘못된 것이 명백해진 예가 많다. 예를 들어 천동설의 주전원(epicycle)은 초기의 지동설보다 관측 면에서 보기 쉽고 행성의 궤도를 예측할 수 있었으나, 계산이 너무 복잡해 지자 보다 간단히 예측을 제시하는 지동설이 거론되었다. 이 탓에 오컴의 면도날은 진위 판단에 관해 유효성을 가진다고 오해받기 쉽다.



“... the basic scientific principle, and it says all things being equal, the simplest explanation tends to be the right one” -- 영화 ‘Contact’ 중에서

자연과학 방법론 (the scientific method)

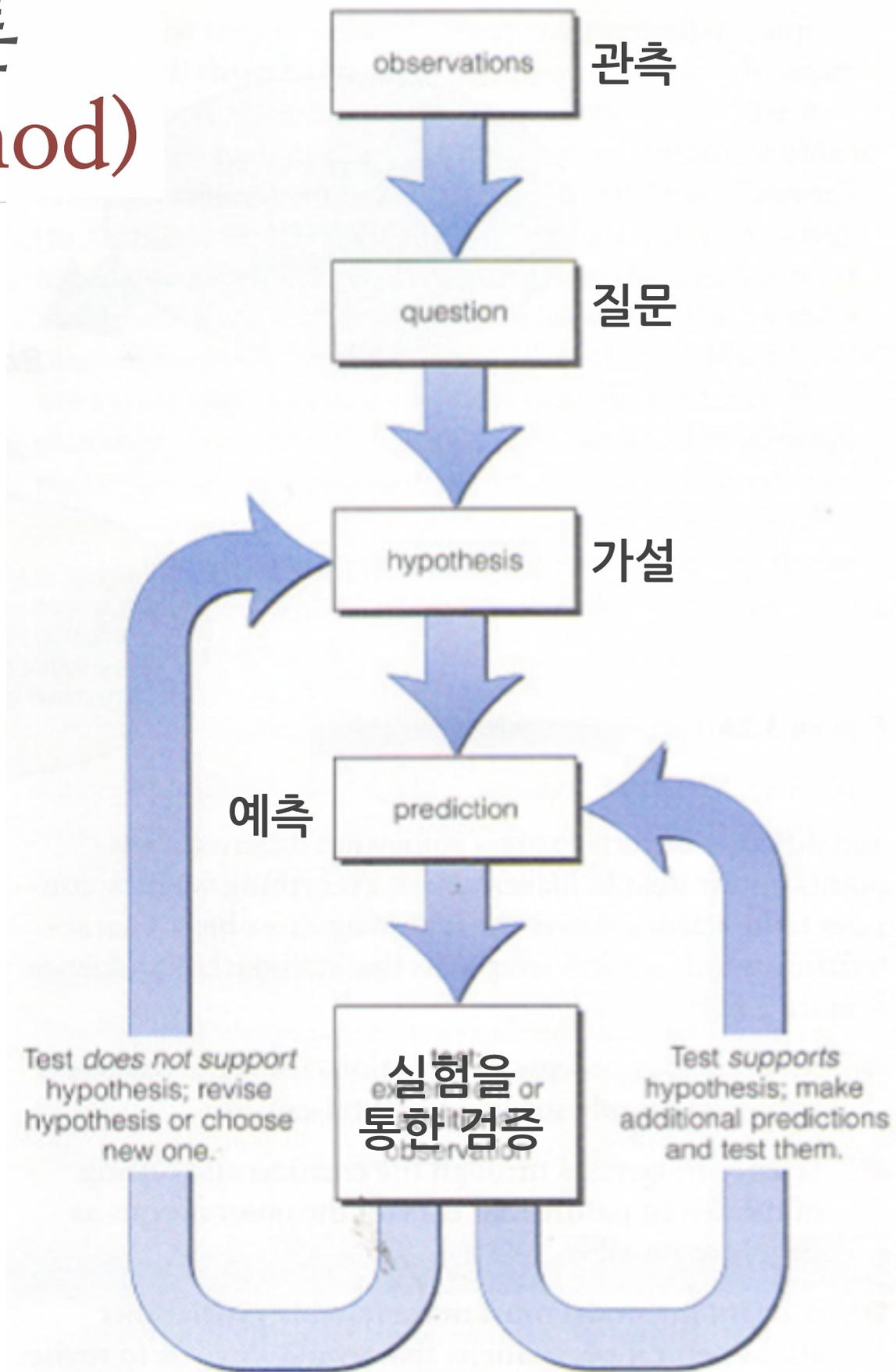


Figure 3.25 This diagram illustrates what we often call the scientific method.

물리학의 고전적 이해

지구와 천체를 관측하며 배운 사실들을 예로 들어보며

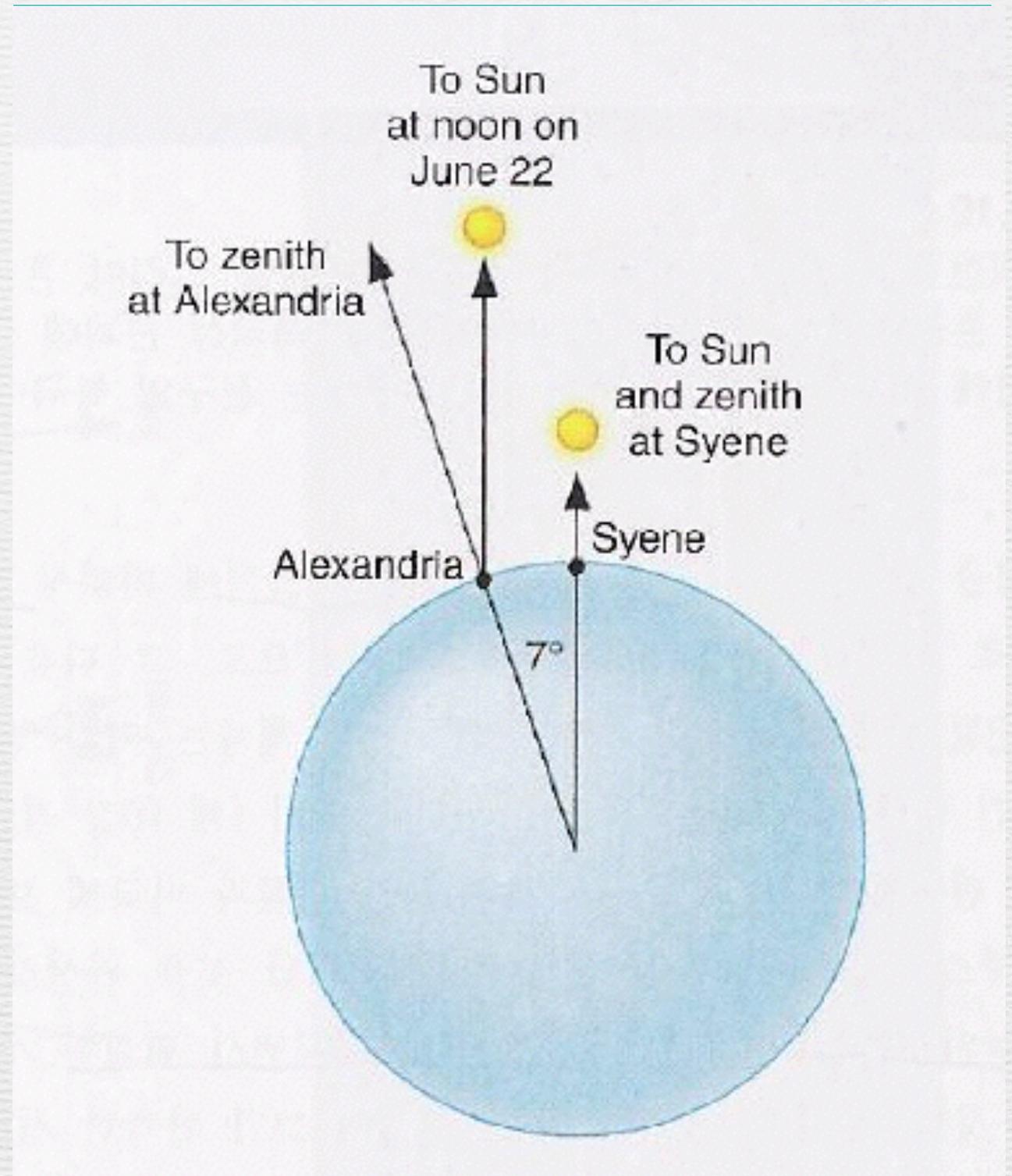
지구, 둥근가 평평한가?

□ Eratosthenes measures the Earth (~ 240 BC)

- by observing the angle of sunlight at noon on summer solstice
- *one of the greatest human intellectual achievements in history*

$$7^\circ / 360^\circ \times C = 5000 \text{ stadia}$$

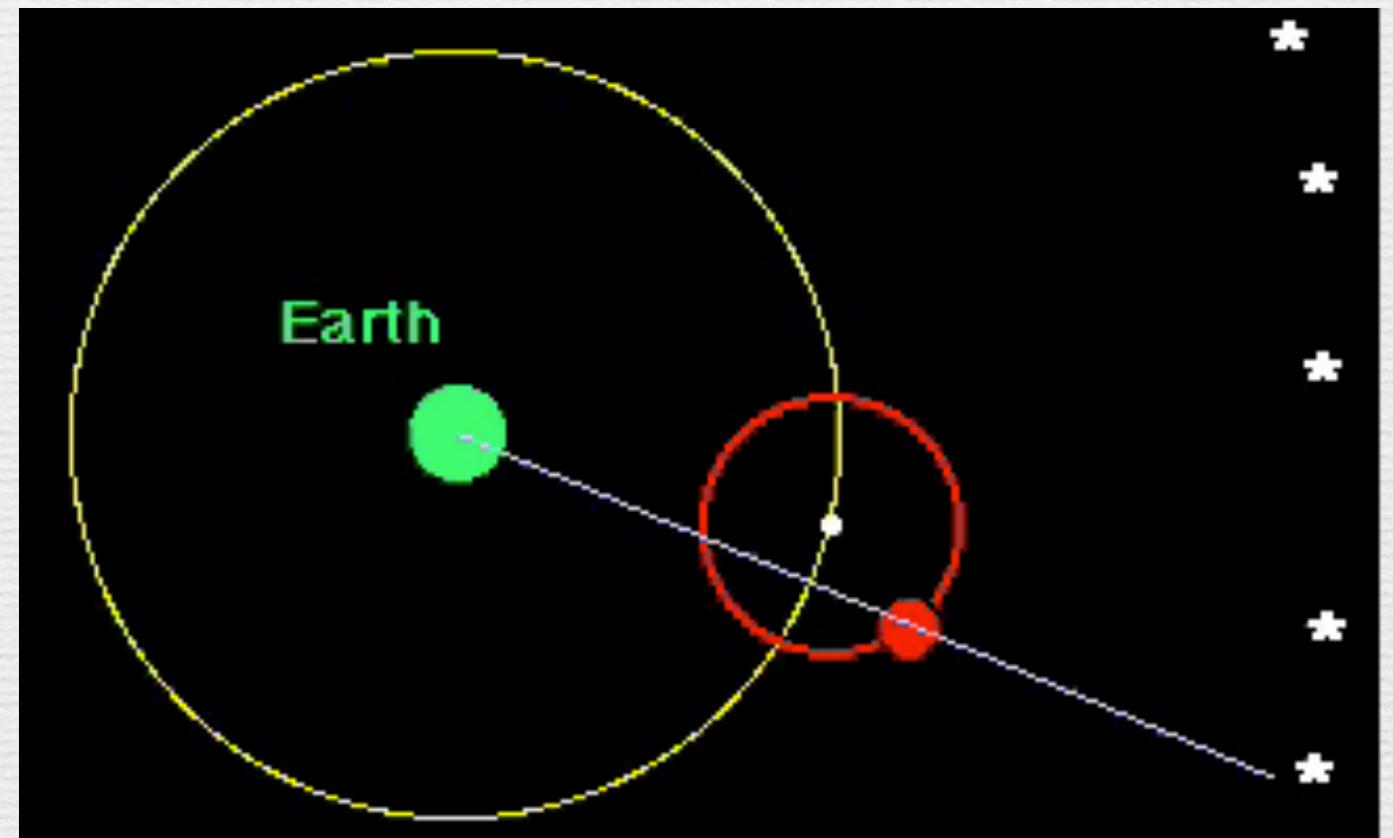
$$\therefore C = 250,000 \text{ stadia} \sim 42,000 \text{ km}$$



천체운동을 설명하는 물리이론 만들기

☾ 행성의 운동을 설명하는 두 가설

- Ptolemy (천동설) vs. Copernicus (지동설)
- 행성의 궤도는 정녕 어떤 형태일까?



티코와 요하네스

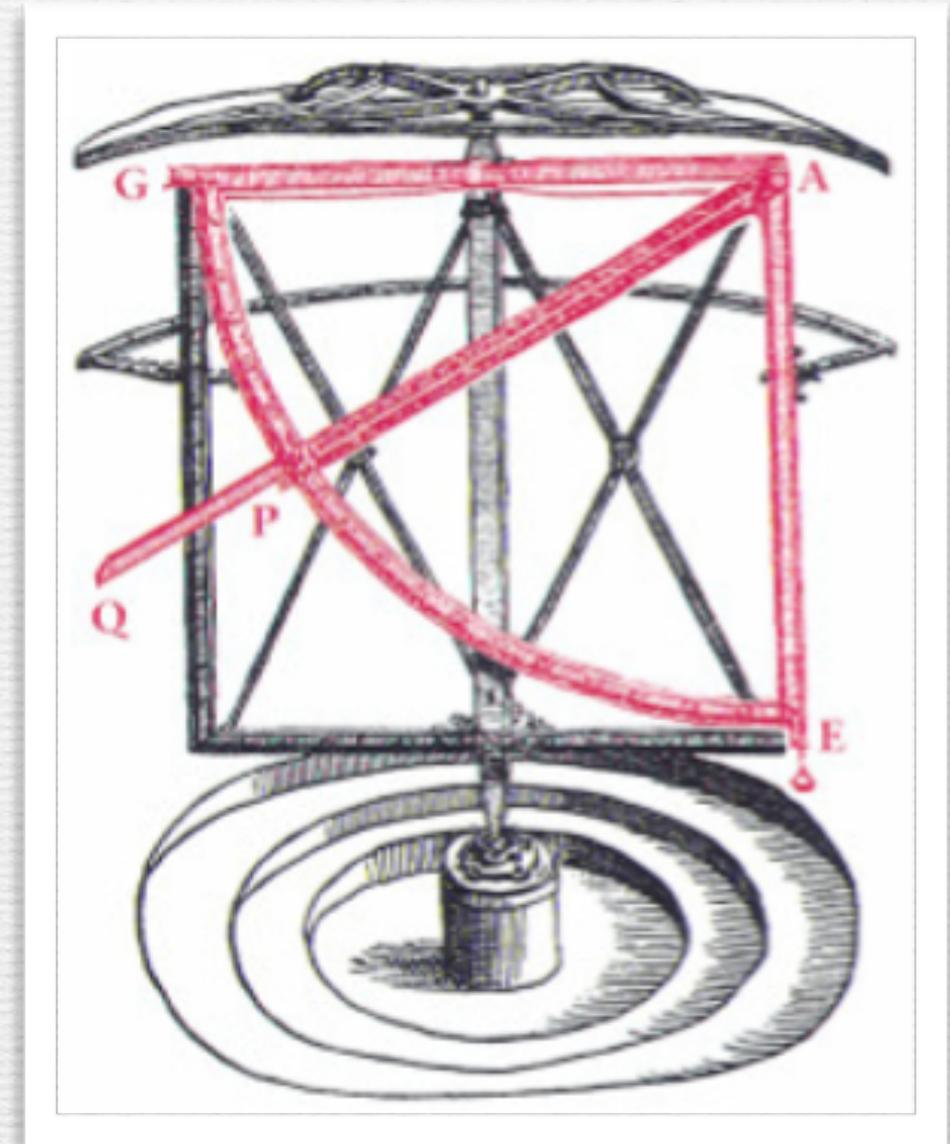


티코와 요하네스

(1546-1601)

(1571-1630)

- ◆ N. Copernicus (1473-1543)
- Tycho Brahe (1546-1601)
measures the “stars”
 - Naked eye observation of planetary motions
 - for ~30 years
 - accurate within ± 1 arcmin.
(= $\pm 1^\circ/60$)



티코와 요하네스

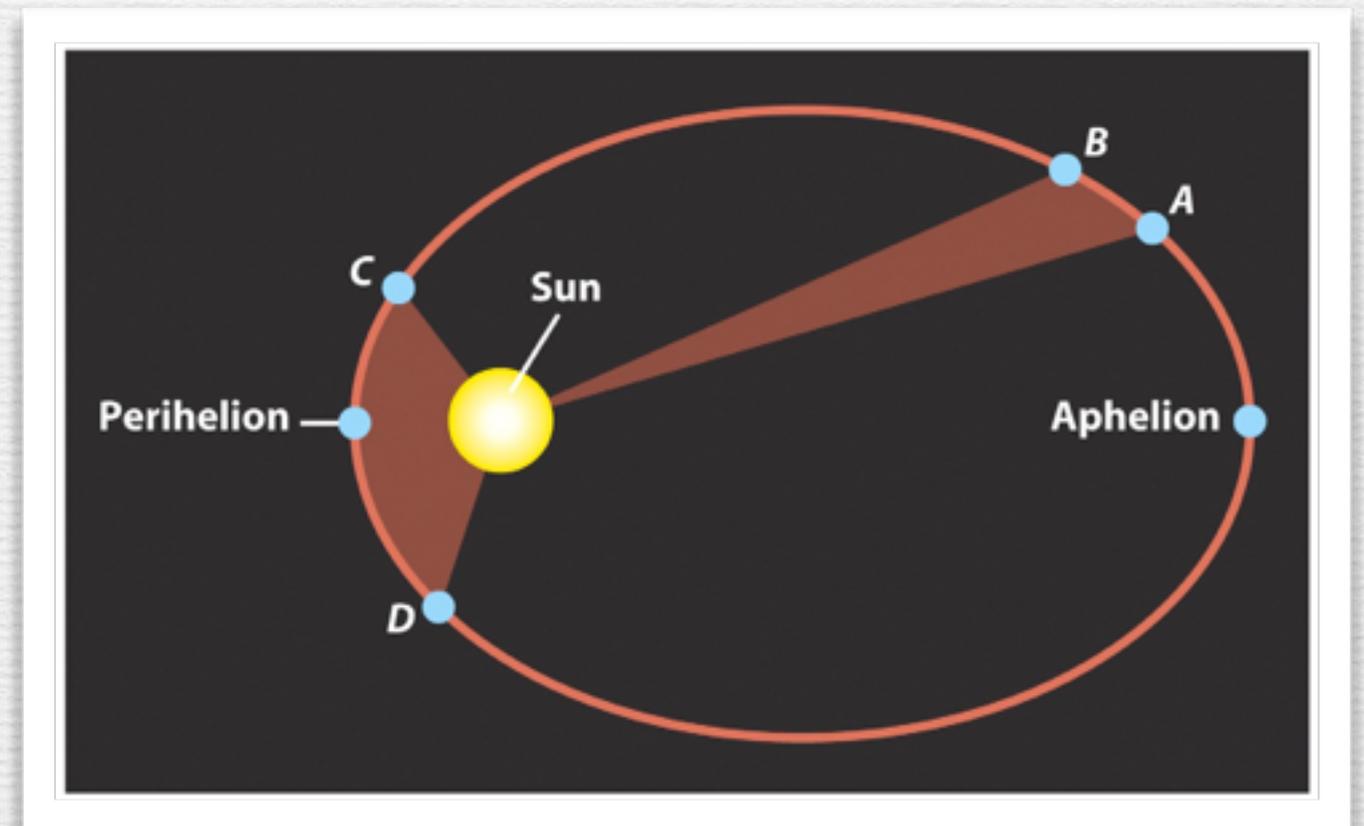
□ Tycho & Johanness

- *Tycho found a young talent in J. Kepler, and begged him to analyze his data so that “it may not appear I have lived in vain”*

□ 케플러의 3가지 법칙

- Elliptical orbits
- constant areal-velocity
- Radius vs. Period

$$R^3 \sim T^2$$

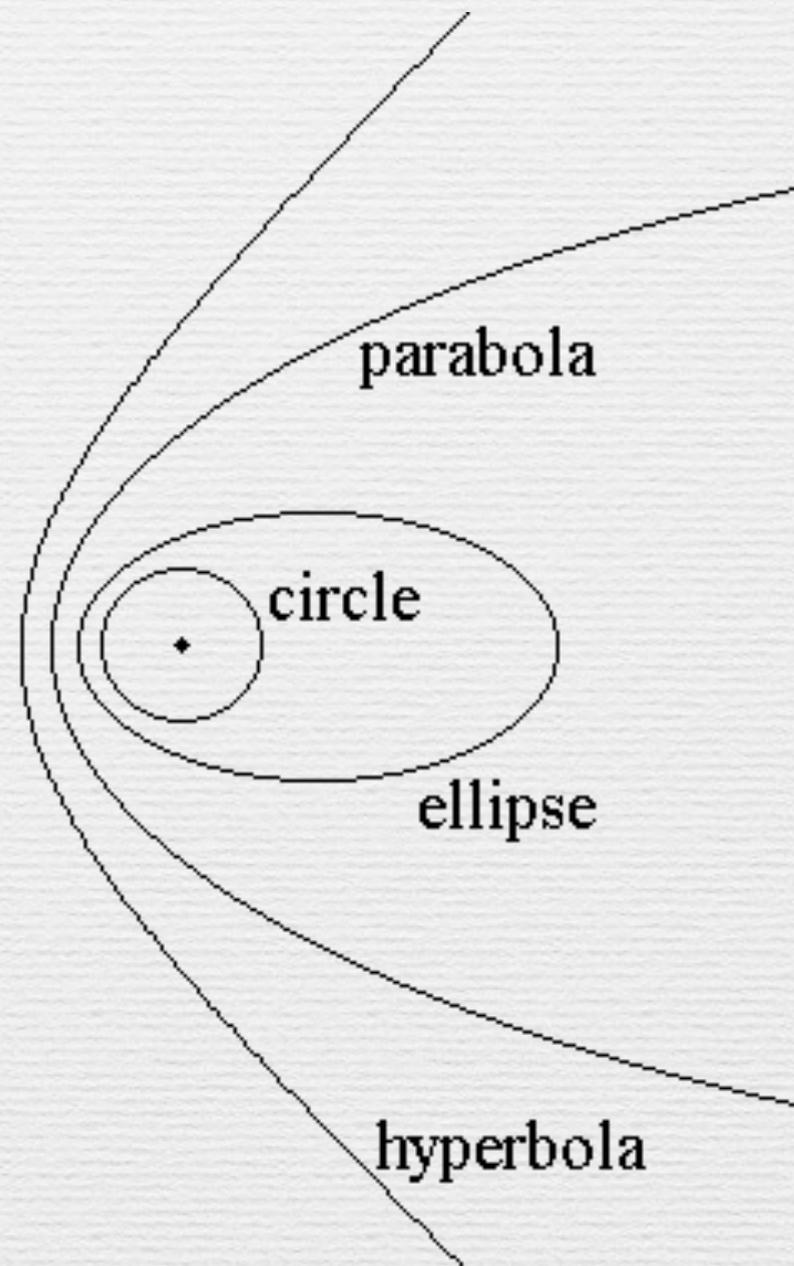
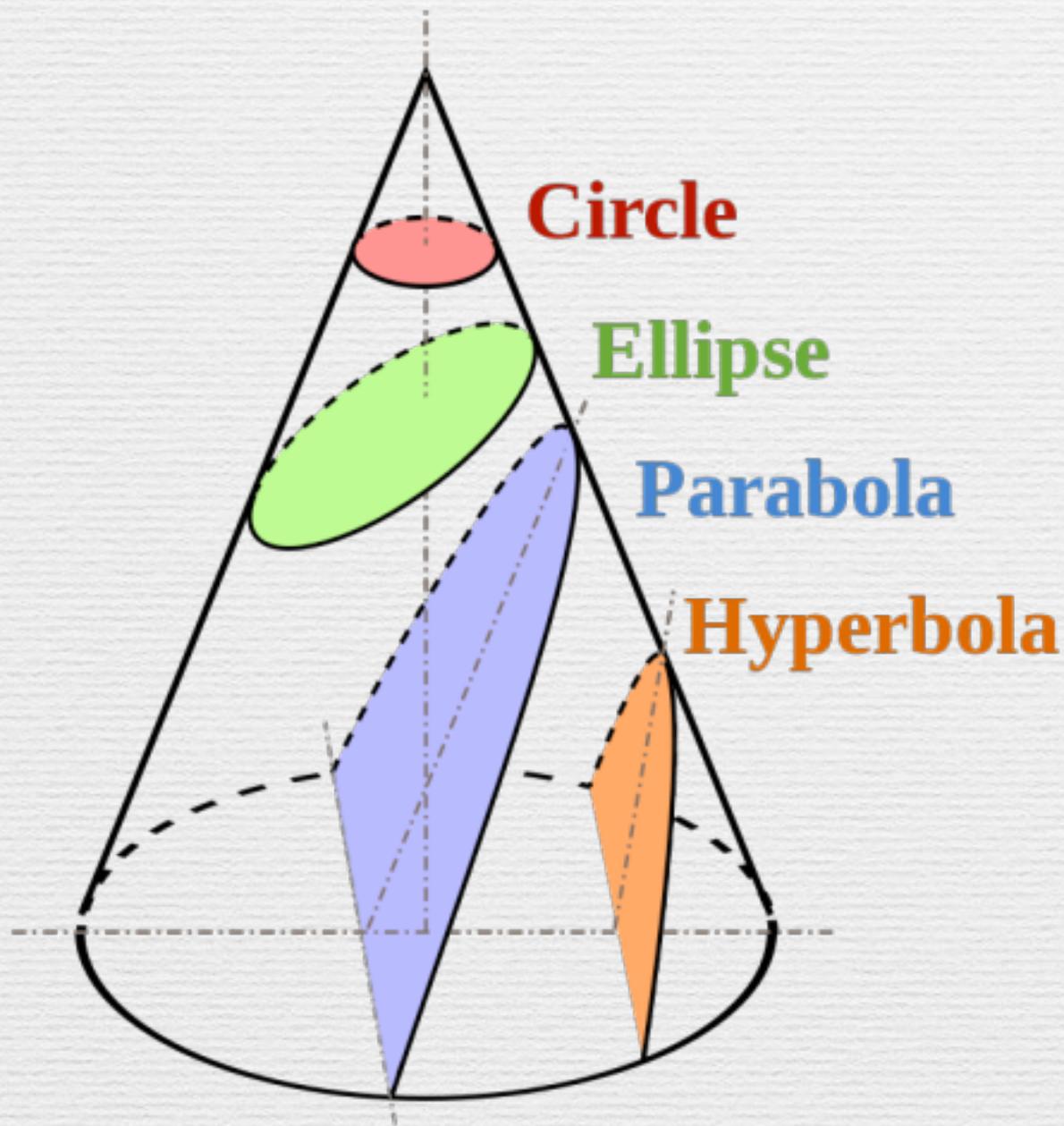


(1) 케플러의 법칙 중 특히 주목할 만한 것은 첫번째 법칙, 즉 행성의 궤도는 태양을 한 초점으로 두는 타원을 만든다는 것이다. 당시 많은 사람들은 천체(행성, 항성 등)는 하늘의 영역에 속한 것이고 따라서 이상적인 완전체여야 한다는 막연한 믿음을 가지고 있었다. 어쩌면 오컴의 면도날에 의하면 가장 적은 가정을 하기 위해 가장 간단한 형태의 도형을 상정하는 것은 당연한 것이었을지도 모른다. 그런데 케플러가 분석한 티코 브라헤의 관측 자료는 명백히 행성의 궤도는 원이 아니라 타원이라고 말해 주고 있다.

(2) 케플러의 두번째 법칙은 ‘면적-속도 일정 법칙’이라 불리기도 하는데 이것을 뉴턴의 역학 이론으로 분석해 보면 이는 ‘각운동량 보존법칙’의 결과로 나타난 현상임을 알 수 있다. 뒤에 설명할 ‘뇌테르의 정리’에 따르면 모든 보존량에는 그에 따르는 대칭성이 있다고 한다. 그렇다면 각운동량 보존법칙은 어떤 대칭성에 기인하는 것일까?

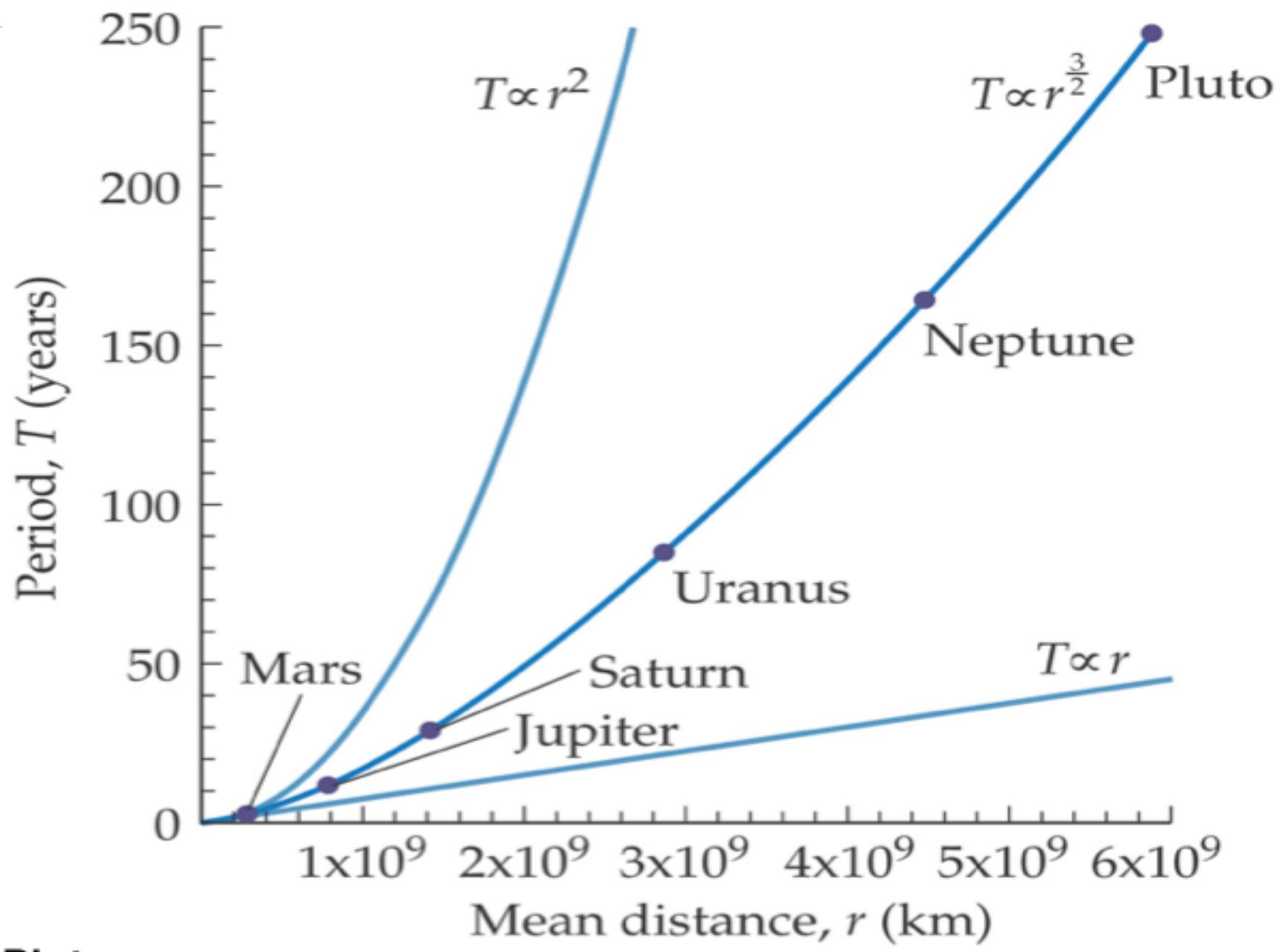
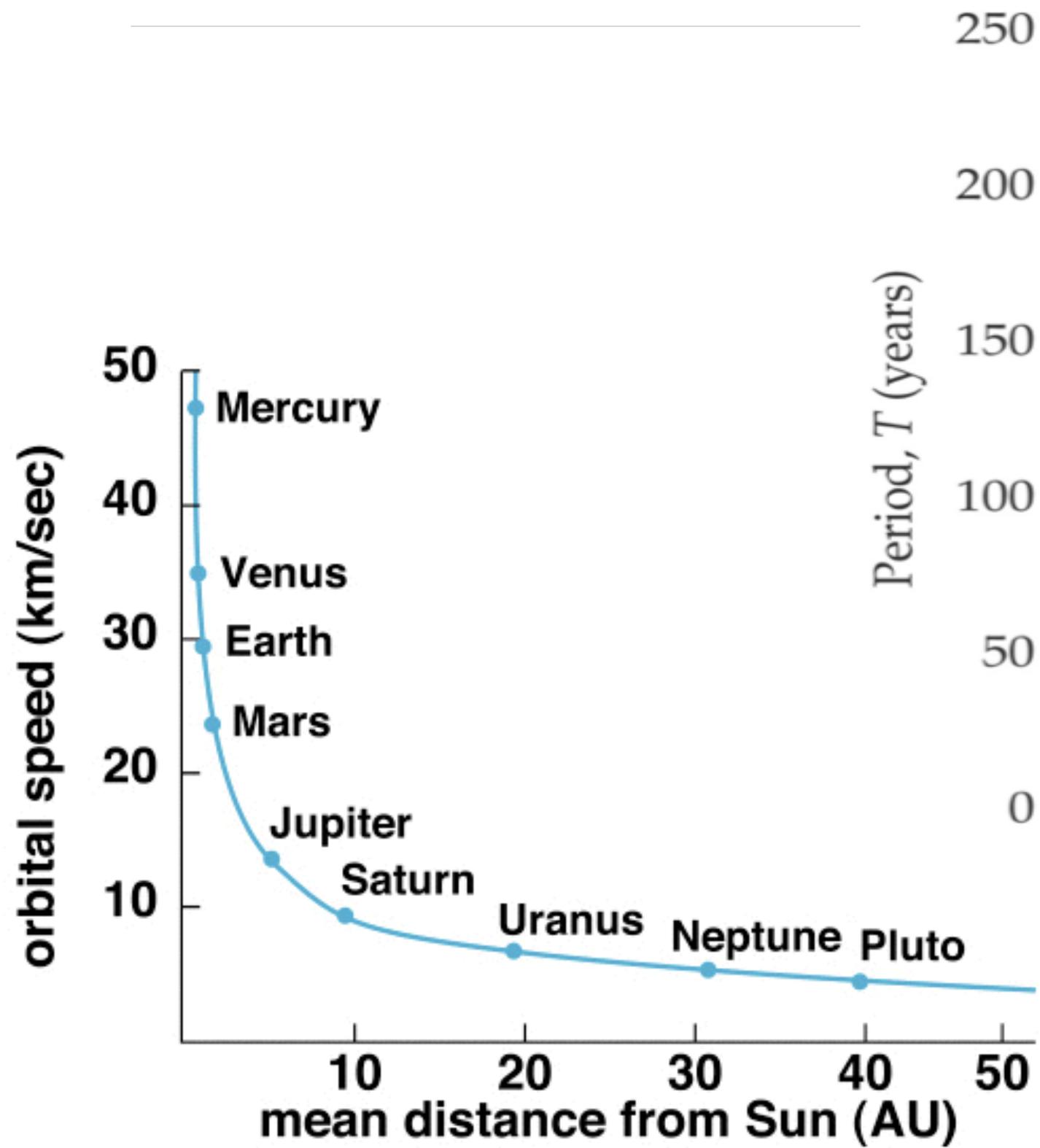
(3) 행성의 궤도가 원이라고 가정하고 (사실 원은 타원의 특수한 경우에 해당한다) 케플러의 세번째 법칙을 분석하면 우리는 뉴턴의 만유인력 법칙을 쉽게 얻을 수 있다. 그런데 뉴턴의 만유인력 법칙과 운동 법칙($F = ma$)을 결합하면 그 결과 원궤도 뿐만 아니라 타원, 포물선, 쌍곡선 등 다양한 궤도의 운동을 얻는다. 이를 통해 행성 뿐만 아니라 혜성들의 운동도 설명할 수 있다.

원뿔로 만드는 곡선들



conic sections

케플러의 제3법칙 더 살펴 보기

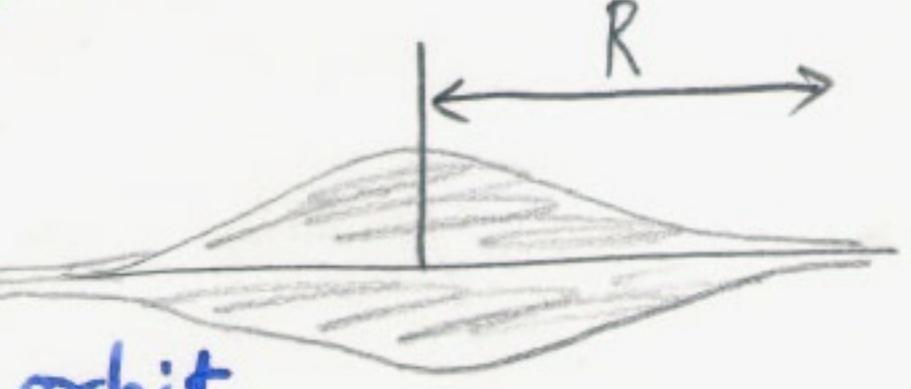


(b)

$\sim 10''$ stars rotating about a center



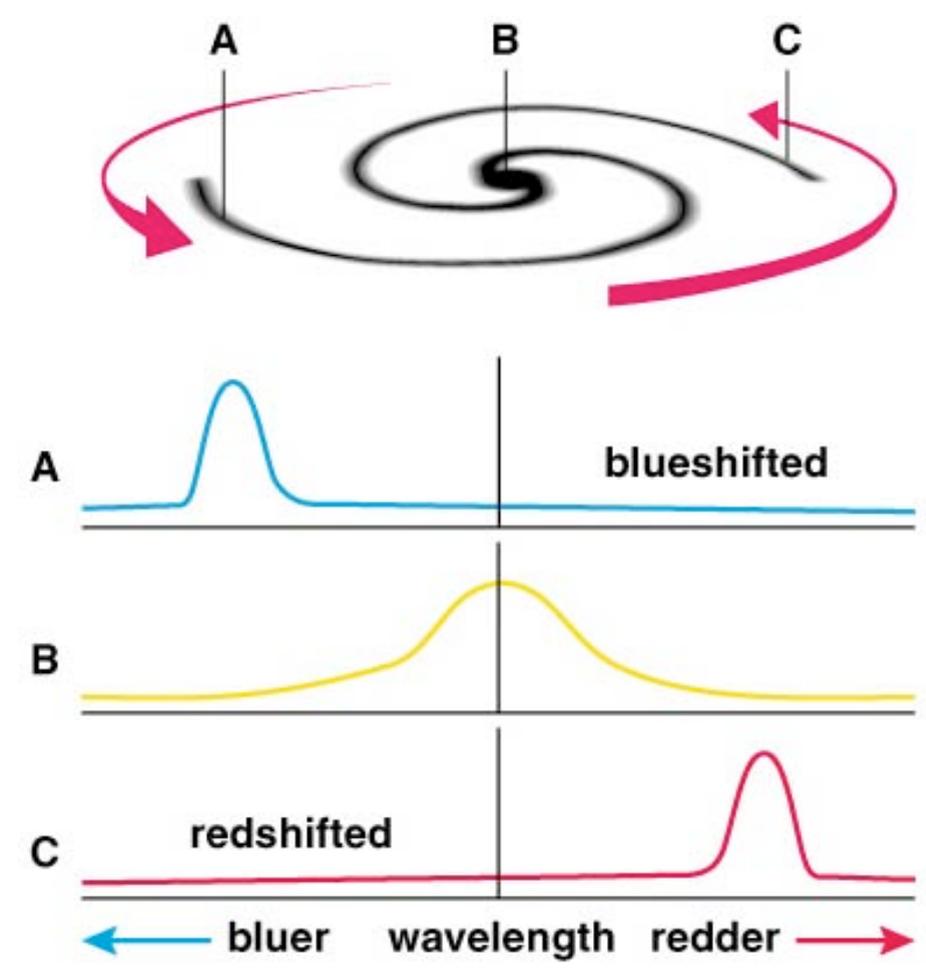
$U(R)$: Doppler shift



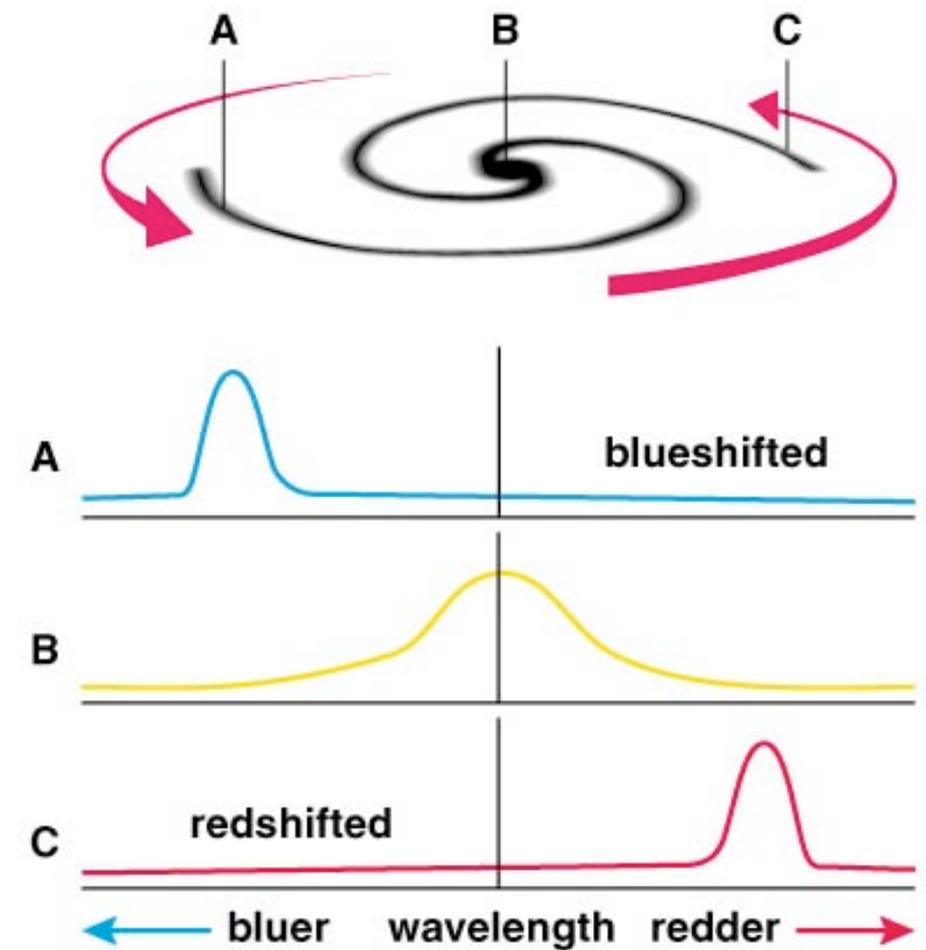
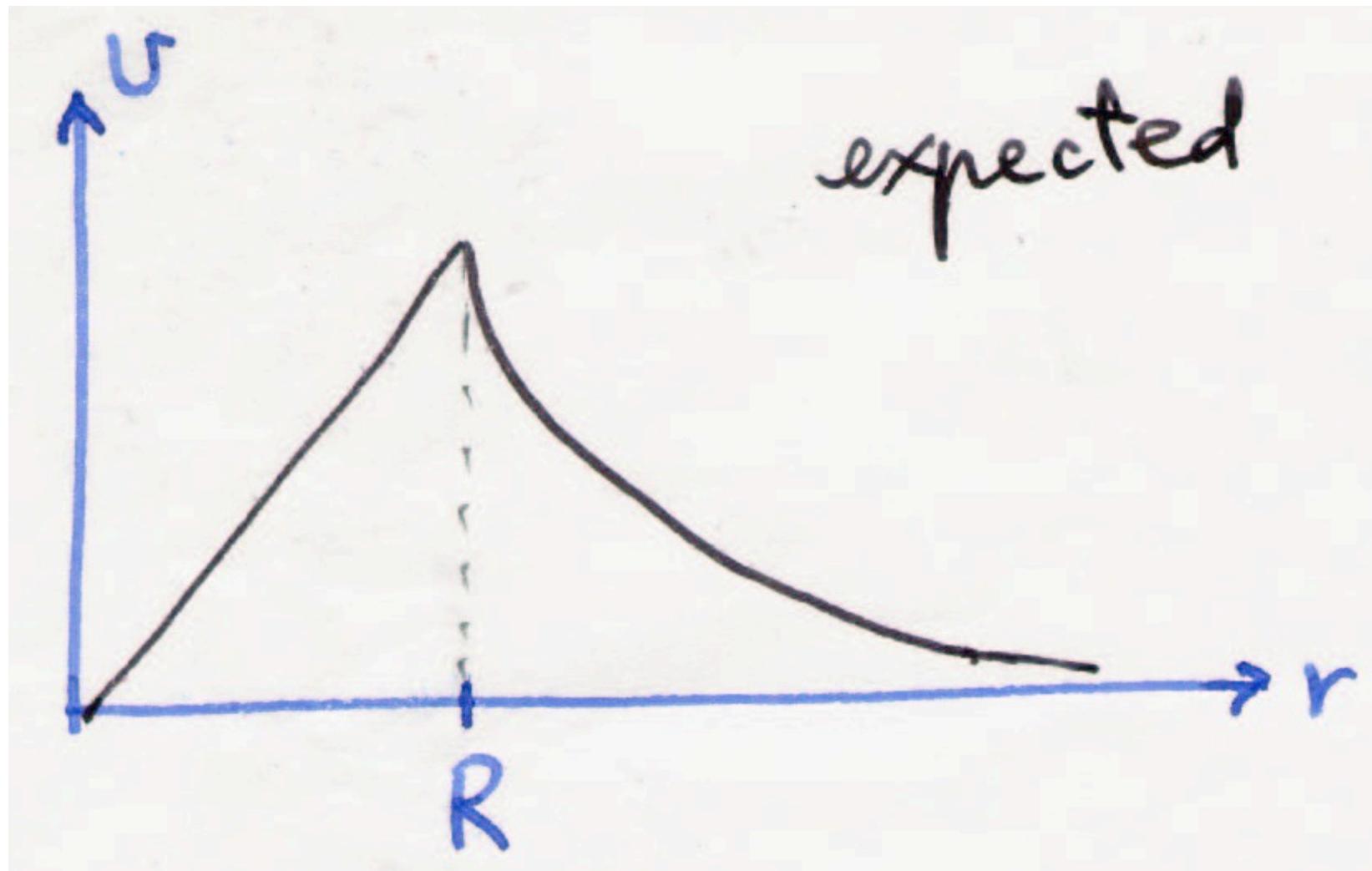
R : outer radius

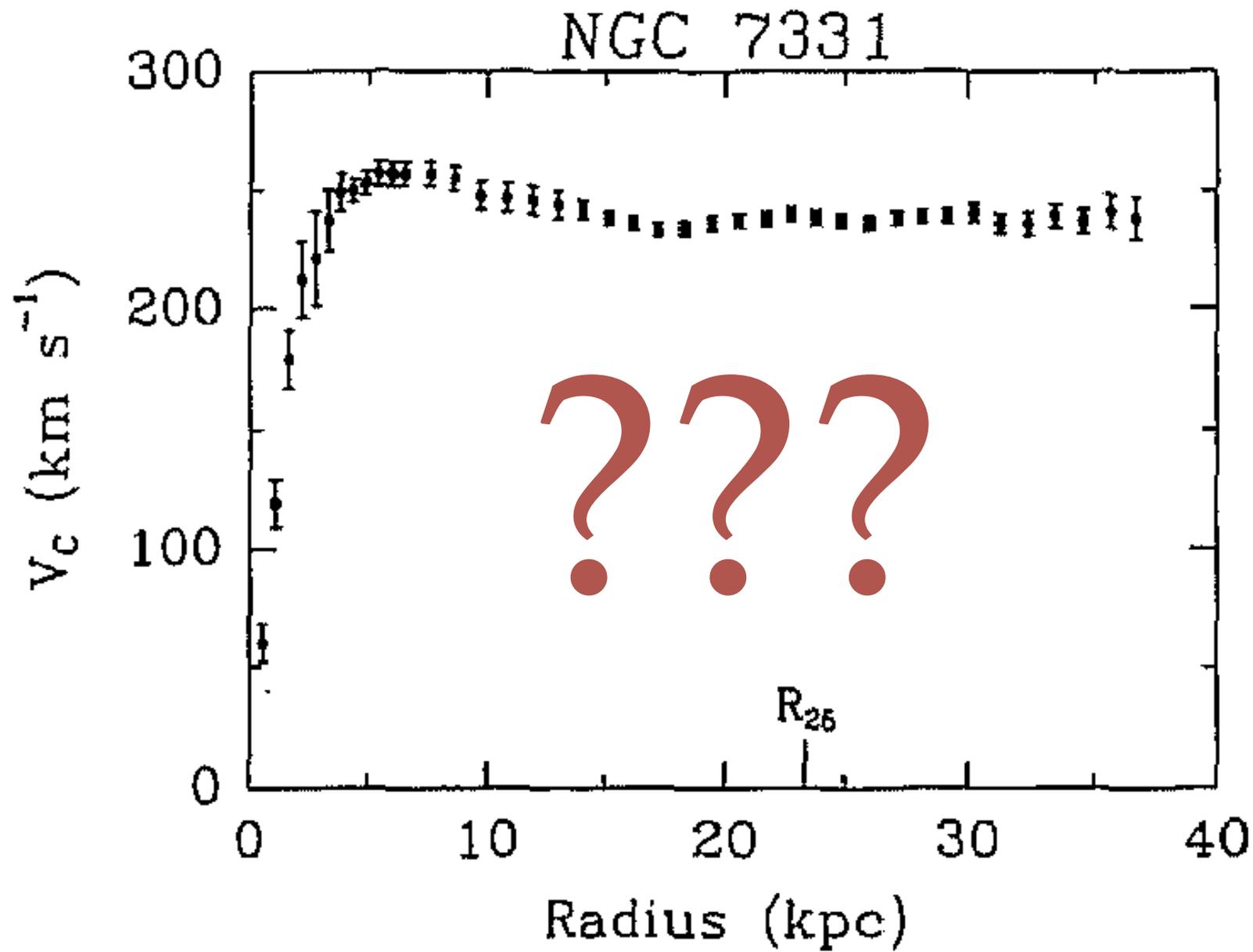
orbit

- Rotation curves of spiral galaxies
 - Measure the motion of stars and gas in galaxies (rotation velocity)



- Rotation curves of spiral galaxies
 - Measure the motion of stars and gas in galaxies (rotation velocity)





물리학의 고전적 이해,
무슨 문제가 있는가?

- Rotation curves of spiral galaxies
 - Measure the motion of stars and gas in galaxies (rotation velocity)

