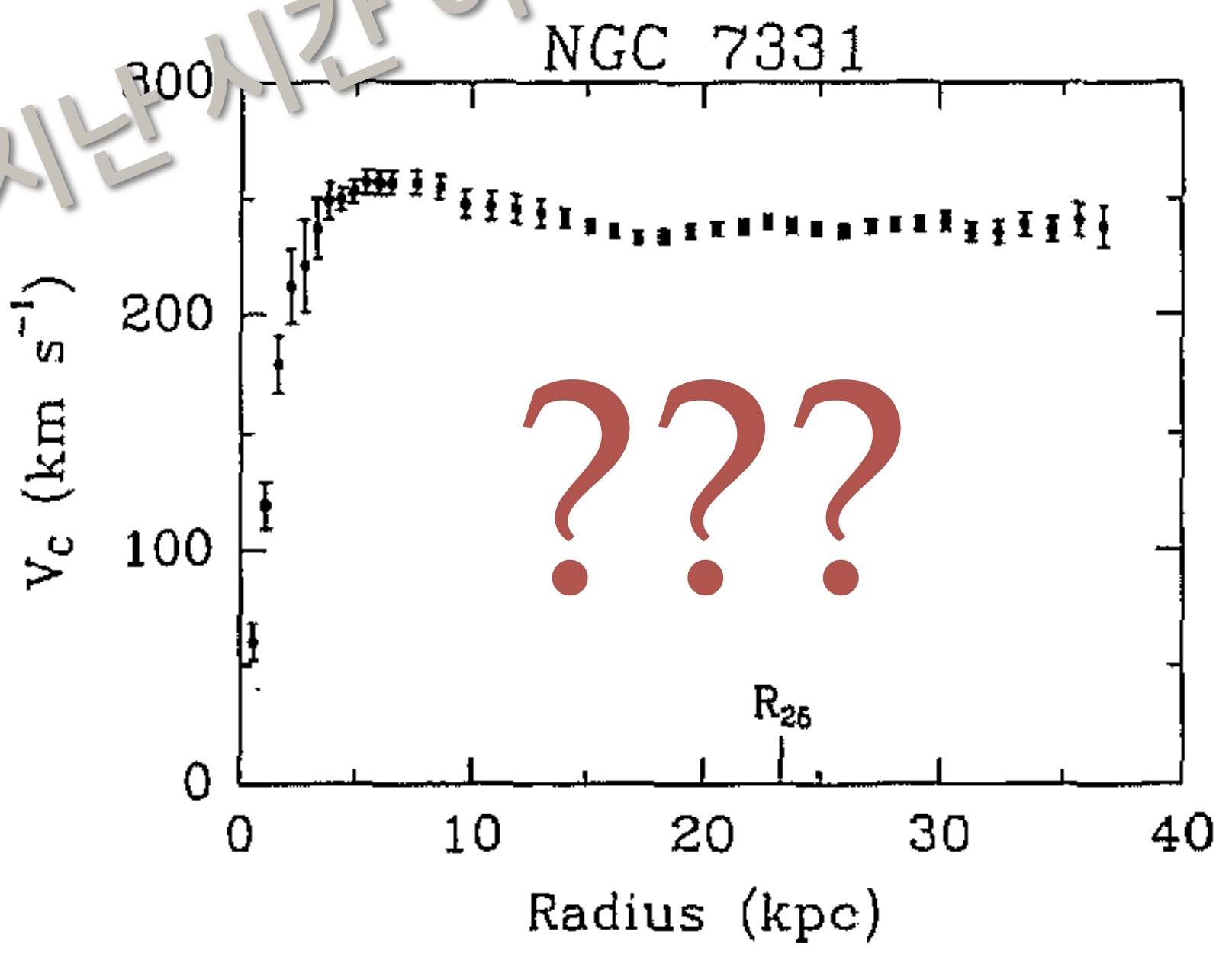

2014년 2학기

물리학의 현대적 이해

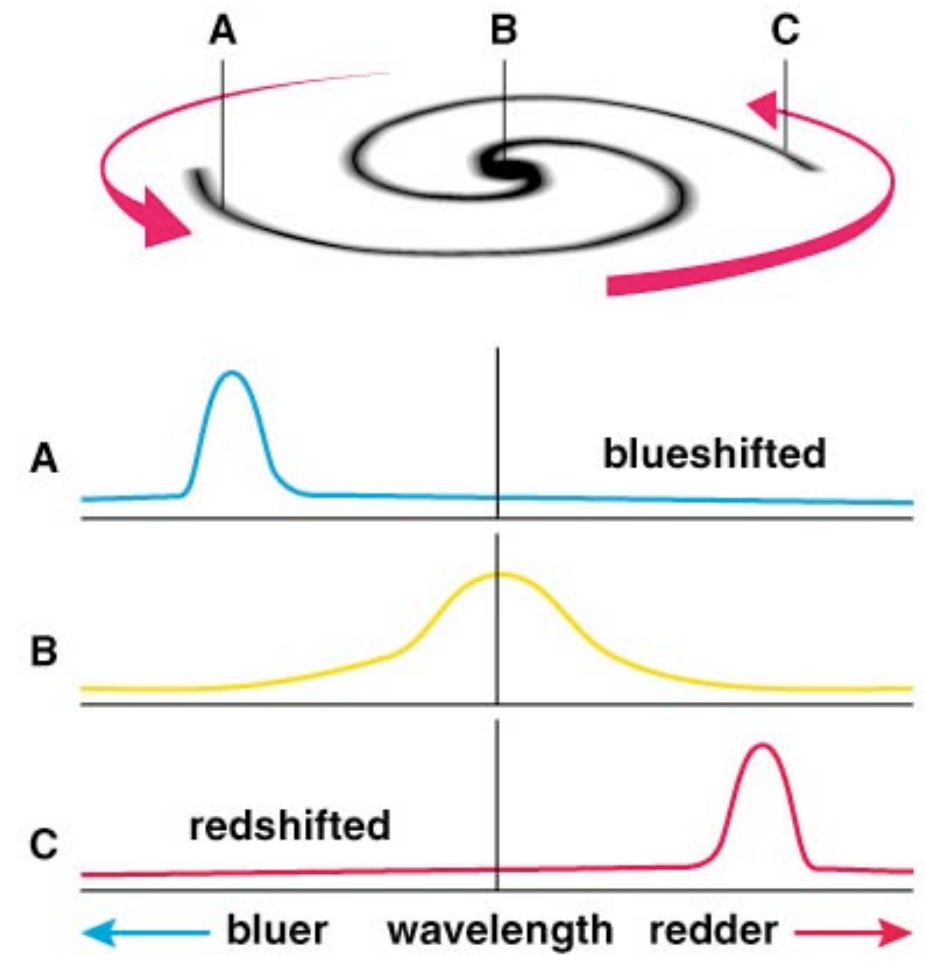
권영준 (물리학과)

Episode 2: What physics is for - 호기심, 아름다움, 실용성



물리학의 고전적 이해,
무슨 문제가 있는가?

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

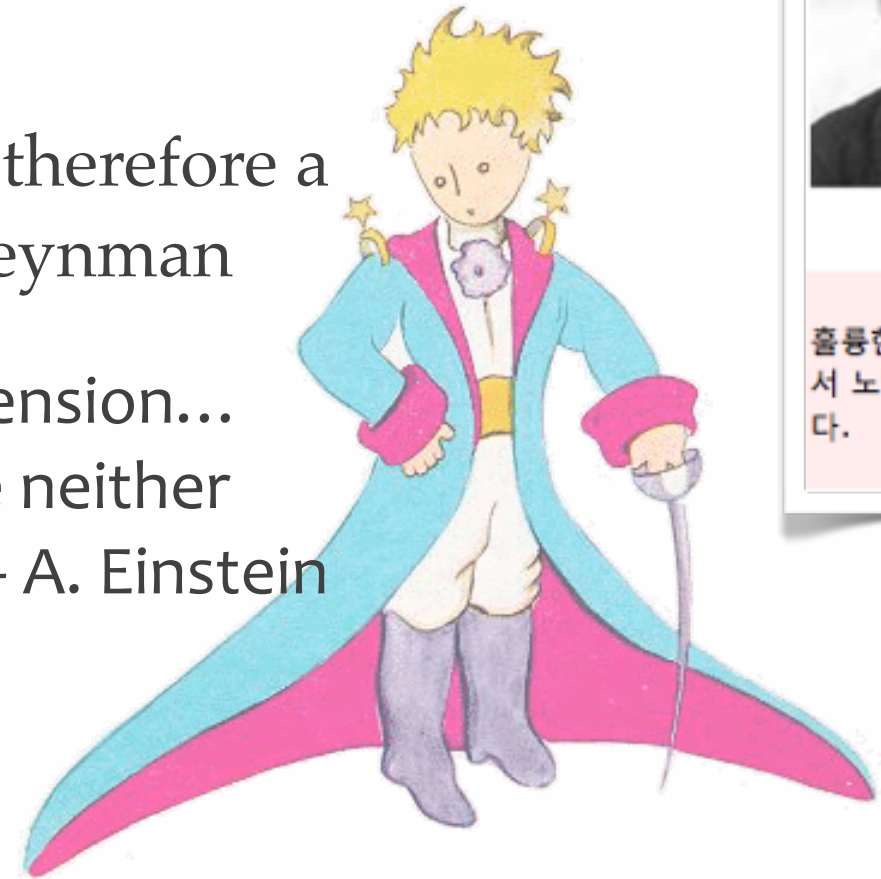


물리학 - 떠오르는 이미지?

- 꿈
- 아름다움
- 정열
- 괴물
- 어려움
- 지겨움

“Nature has a great simplicity and therefore a great beauty.”
- R. Feynman

“There exists a passion for comprehension... Without this passion, there would be neither mathematics nor natural science.” - A. Einstein



권영준

훌륭한 과학자가 되어
서 노벨상을 타겠습니
다.

재물포, 물망초, 진도개 ...



물리학 - 무엇을 연구 하는가?

- 물질(物質)의 이치(理致)를 연구하는 학문
- 물질이란? - 무생물 (기존 물리학의 연구 대상)
 - 기본입자 (elementary particles) → 입자물리, 핵물리
 - 원자, 분자 → 원자물리, 분자물리
 - 고체, 액체 → 고체물리, 응집물질 물리
 - 플라즈마 → 플라즈마 물리
 - 빛, 소리 → 광학, 음향학
 - 다체계 (many-particle systems) → 통계물리

but, 자연계에는 무생물만 있는 것이 아니다!

물리학 - 무엇을 연구 하는가?

but, 자연계에는 무생물만 있는 것이 아니다!

- 생명 시스템

- 생물물리 (biophysics)
- 의학물리 (medical physics)

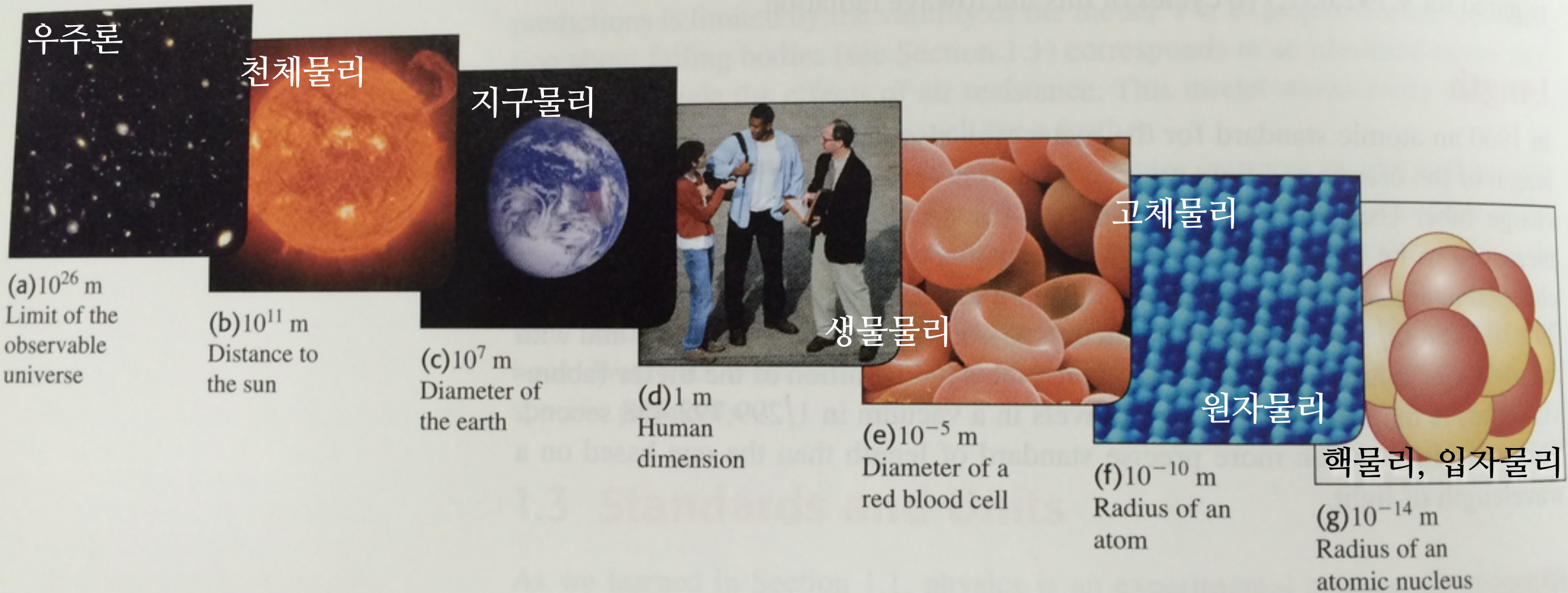
- 경제, 사회 시스템

- 경제물리 (econophysics)
- 사회물리 (sociophysics)
- 복잡계 및 혼돈(chaos)의 연구, 비선형 물리

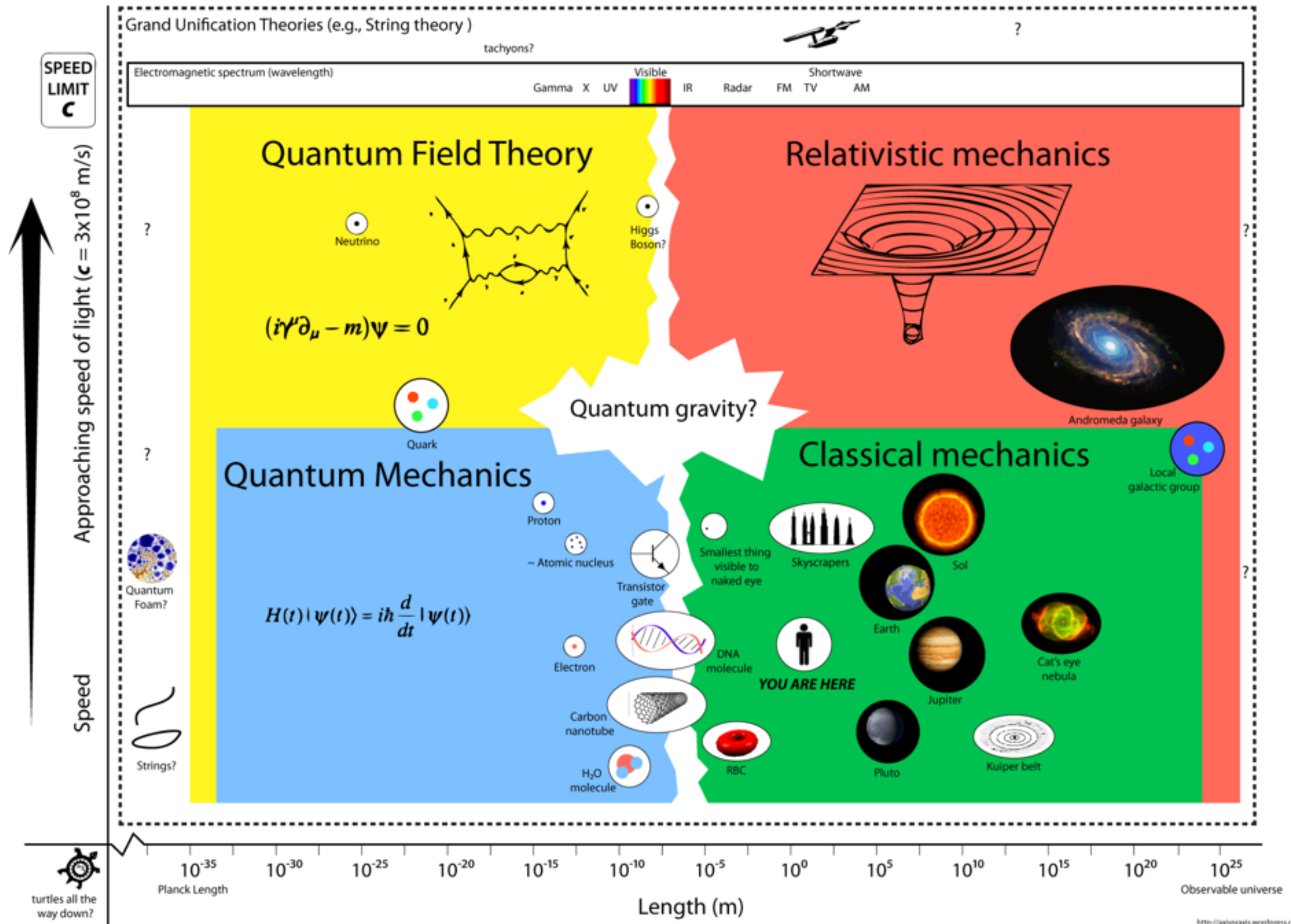
- ...

물리학의
새로운
연구분야들

물리학이 다루는



물리학이 다루는 영역



그렇다면 물리는 만병통치인가?

- No, not at all!
- 그런데 왜 (주제넘게) 물리학자들은 생명, 경제, 사회 등의 분야까지도 연구하려 드는가?
 - 생명, 경제, 사회 현상 등에도 (왠지는 모르나...) 물리학에서 쓰이는 법칙이 성립되는 부분이 있음을 알게 됨
 - 컴퓨터의 발달로 계산 능력이 현저히 향상되어 복잡계, 비선형계 등에 대한 연구 능력이 생김
 - *So, why not?*

Nobel Prizes and Laureates

Prize in Economic Sci [1997](#)

▼ About the Prize in Economic Sciences 1997

[Summary](#)

[Press Release](#)

[Advanced Information](#)

[Award Ceremony Speech](#)

▶ [Robert C. Merton](#)

▶ [Myron S. Scholes](#)

[All Prizes in Economic Sciences](#)

[All Nobel Prizes in 1997](#)



The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 1997

Robert C. Merton, Myron S. Scholes

Share this: [f](#) [g+](#) [t](#) [+](#) 3 [e](#)

The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 1997



Robert C. Merton

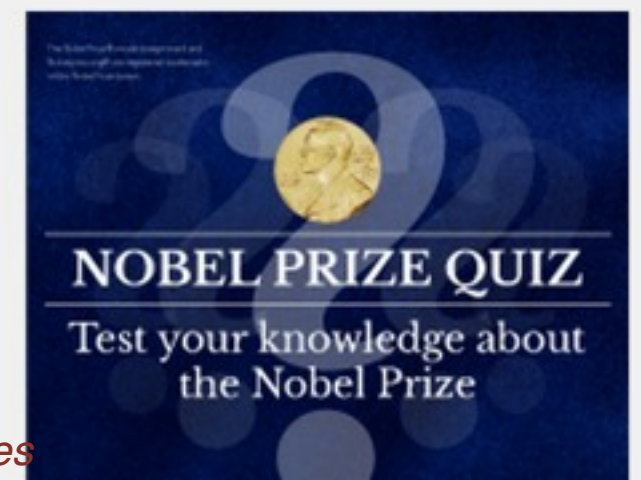
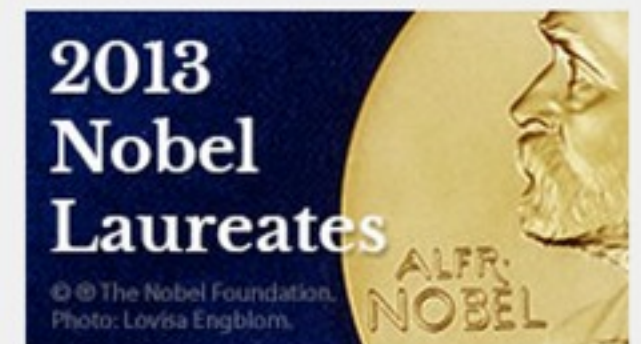
Prize share: 1/2



Myron S. Scholes

Prize share: 1/2

The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 1997 was awarded jointly to Robert C. Merton and Myron S. Scholes "for a new method to determine the value of derivatives"



Statement of the equation [\[edit\]](#)

Note: $u(x, y, z, t)$ is not velocity. It is an arbitrary function being considered; often it is temperature.

For a function $u(x, y, z, t)$ of three spatial variables (x, y, z) (see [cartesian coordinates](#)) and the time variable t , the **heat equation** is

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \alpha \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = 0$$

More generally in any [coordinate system](#):

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \alpha \nabla^2 u = 0$$

where α is a positive constant, and Δ or ∇^2 denotes the [Laplace operator](#). In the physical problem of temperature variation, $u(x, y, z, t)$ is the temperature and α is the [thermal diffusivity](#). For the mathematical treatment it is sufficient to consider the case $\alpha = 1$.

The heat equation is of fundamental importance in diverse scientific fields. In [mathematics](#), it is the prototypical [parabolic partial differential equation](#). In [probability theory](#), the heat equation is connected with the study of [Brownian motion](#) via the [Fokker–Planck equation](#). In [financial mathematics](#) it is used to solve the [Black–Scholes](#) partial differential equation. The [diffusion equation](#), a more general version of the heat equation, arises in connection with the study of chemical diffusion and other related processes.

물리학 - 왜 하는가?

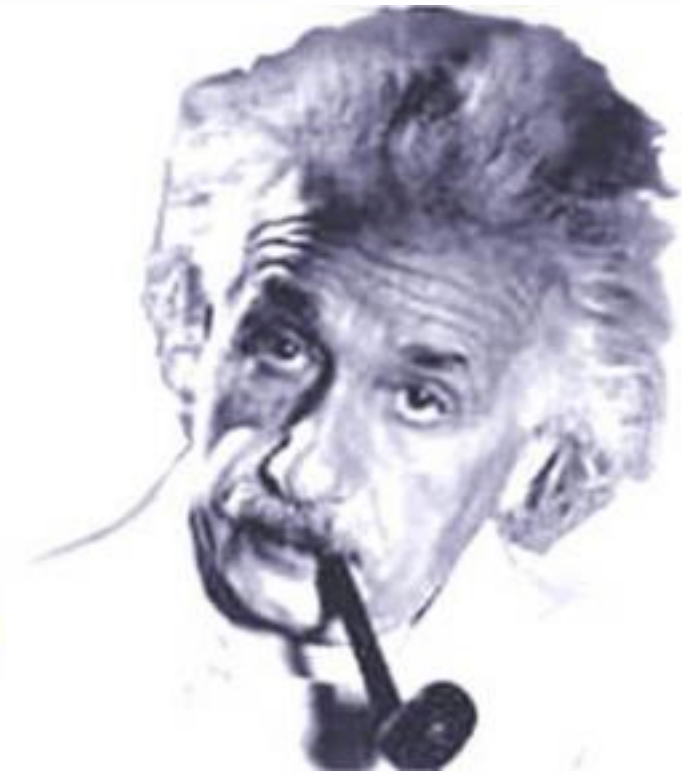
- 심심해서 & 호기심 때문에 (O)
- 아름다움에 대한 갈망 때문에 (O)
- 삶에서 부딪히는 문제를 해결하기 위해서 (O, X) - 실용성
 - 왕관은 순금으로 만들어졌는가? (O) - Archimedes' Principle
 - 나일강 홍수에 대비하자 (X) - 이걸 공학에 더 가까움!
- 배가 고파서 (X)
 - 다른 길을 알아보세요!

Science is a wonderful thing if one does not have to earn one's living at it.

- Albert Einstein

물리학 - 호기심을 위해

"It is not the fruits of scientific research that elevate a man and enrich his nature, but the urge to understand"



물리학 - 호기심을 위해

- 호기심 = 새롭거나 신기한 것에 끌리는 마음 (연세 한국어사전)
- 호기심은 인간의 본질적 특성, e.g. 판도라의 상자



그리스 신화에 따르면 판도라의 호기심으로 세상에 불행이 시작 되었고 또한 희망도 생겼다.

Master Dobby

물리학 - 호기심을 위해

● 물리학자가 호기심을 가지고 던지는 근본적 질문들...

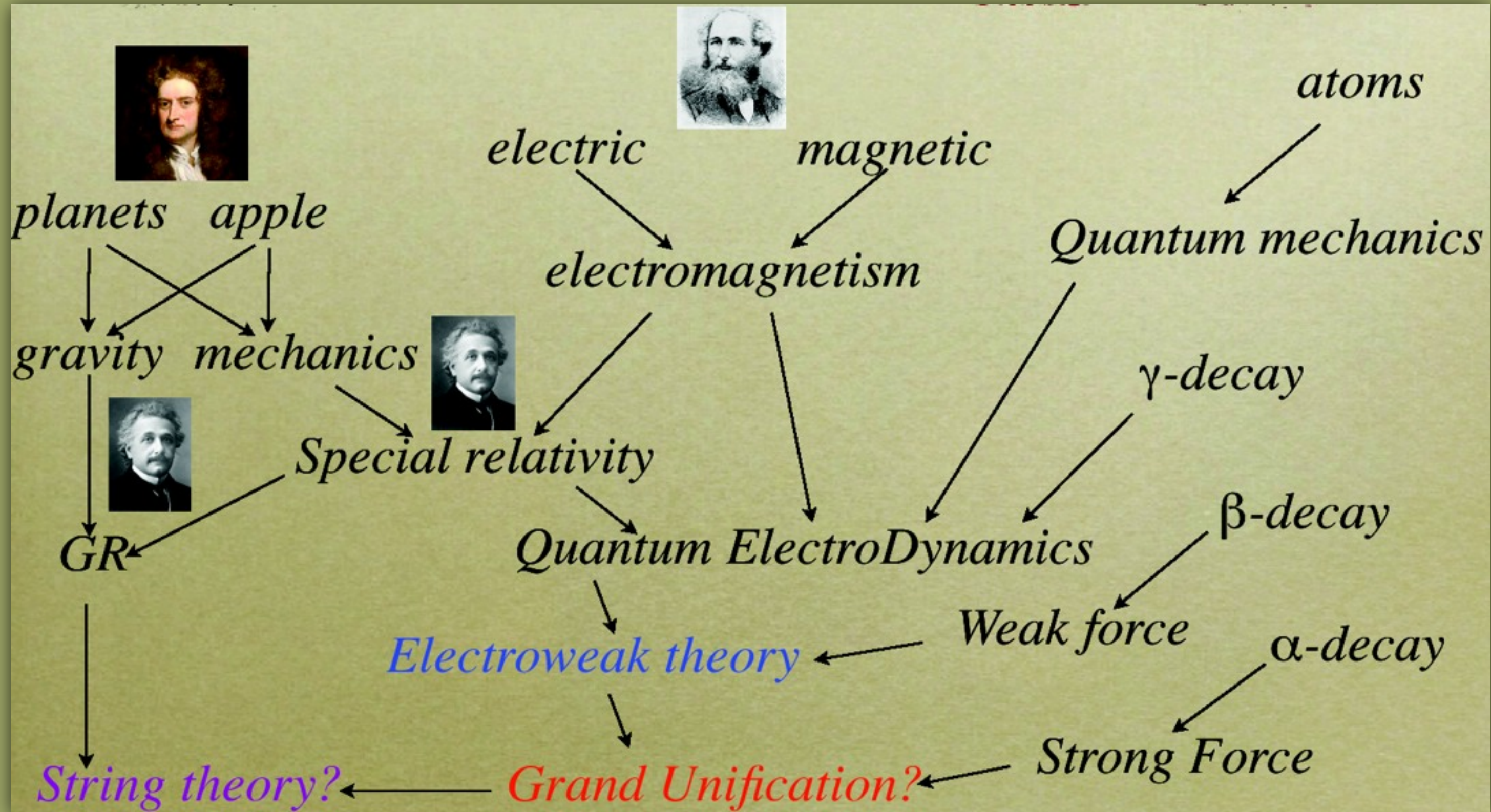
- 물질을 이루는 가장 기본적인 요소는?
- 우주의 나이와 실체는?
- 우주를 구성하는 궁극의 물질과 그들을 지배하는 기본법칙은 무엇인가?
- 생명은 무엇인가?
- 금속, 반도체, 초전도체, 태풍 등 다양한 현상은 어떤 원리로 일어나는가?

[Note] 어떤 구성요소(예를 들어 원자)가 엄청나게 많은 양이 모여 이루어진 개체의 성질 중에는 그 구성요소를 정확히 이해하는 것만으로는 설명할 수 없는 현상이 나타나곤 한다. 이런 성질을 창발성(emergent property)이라고 부른다.

예를 들어 반도체, 초전도체, 금속 등이 가지는 성질은 그들을 이루는 구성요소인 원자를 이해하는 것만으로는 알 수 없다. 생명 현상, 태풍의 발생 등도 이와같은 창발성을 가진다.

물리학 - 아름다움을 위해

- 물리학자들이 가진 고집(신념)
 - 물리학의 기본 법칙은 아름답고 간단해야 한다
- 도대체 그들이 말하는 아름다움이란 무엇인가?
 - 대칭성의 아름다움
 - 가능한 한 많은 현상을 동시에 설명할 수 있는 강력한 이론체계
 - ❖ (예) 뉴턴의 운동 법칙 + 중력 법칙으로 사과와 행성의 궤도 운동을 동시에 설명함.
 - ❖ (예) 맥스웰의 전자기 이론으로 전기 현상과 자기 현상을 하나의 이론으로 설명함.
 - 통일장 이론?!



from H. Murayama's summary talk at LP 2003



James C. Maxwell, in Edinburgh, UK

주의: (이 과목에서는) 이 수식들을 외우거나 이해하려 할 필요는 없습니다.

Maxwell의 방정식

적분형식으로 표시

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = Q/\epsilon_0$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{a} = 0$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \frac{1}{c^2} \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 I$$

미분형식으로 표시

$$\nabla \cdot \vec{E} = \rho/\epsilon_0$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu_0 \vec{j}$$

Tensor로 표시

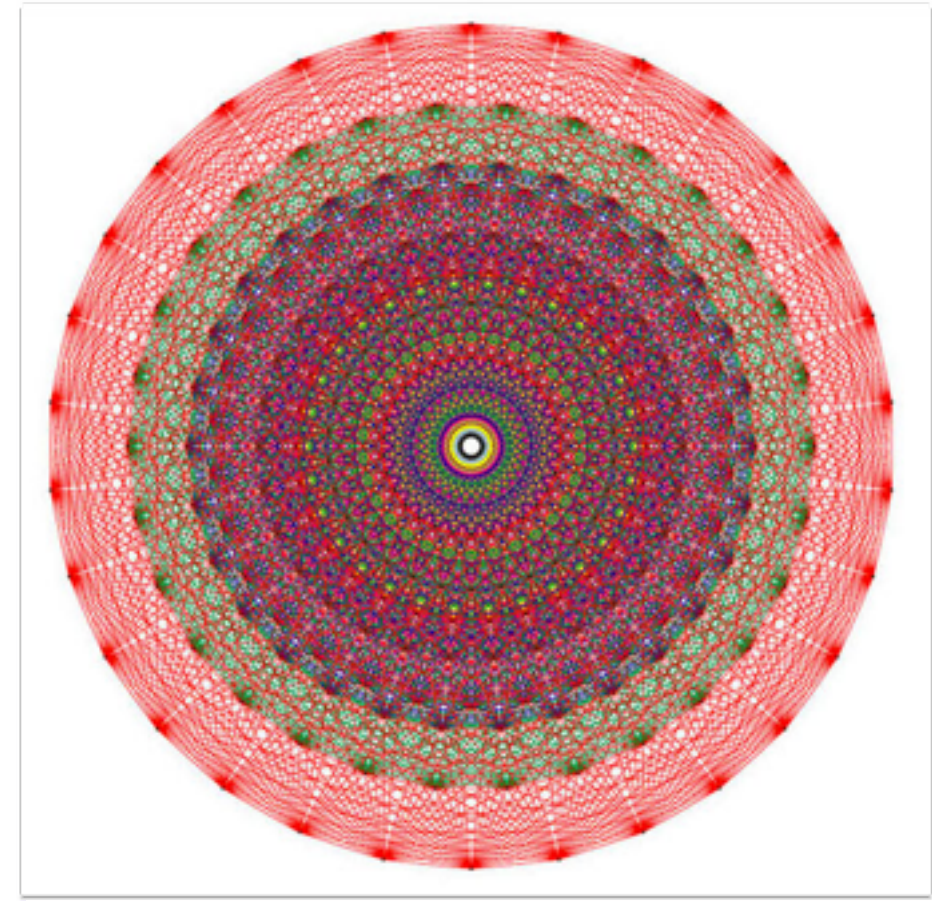
$$\begin{cases} \partial_\alpha F^{\alpha\beta} = \mu_0 j^\beta \\ \partial_\alpha \epsilon^{\alpha\beta\gamma\delta} F^{\gamma\delta} = 0 \end{cases}$$

$n(\omega)$



대칭성의 아름다움

- some beautiful examples of symmetry



*Beauty is truth, truth beauty — that is all
Ye know on earth, and all ye need to know.*
- John Keats

- 물리학에서 보는 대칭성은 어떤 것인가?

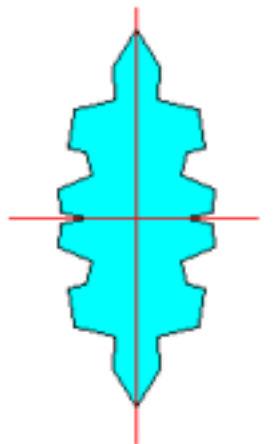
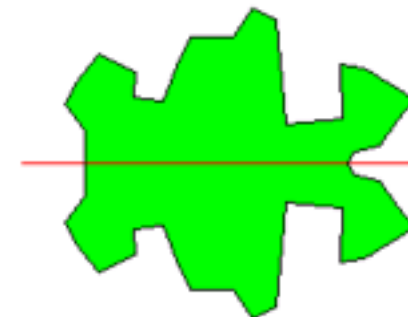
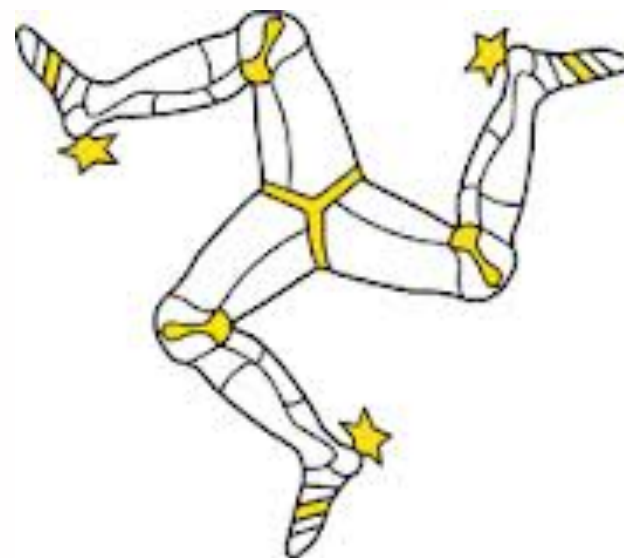
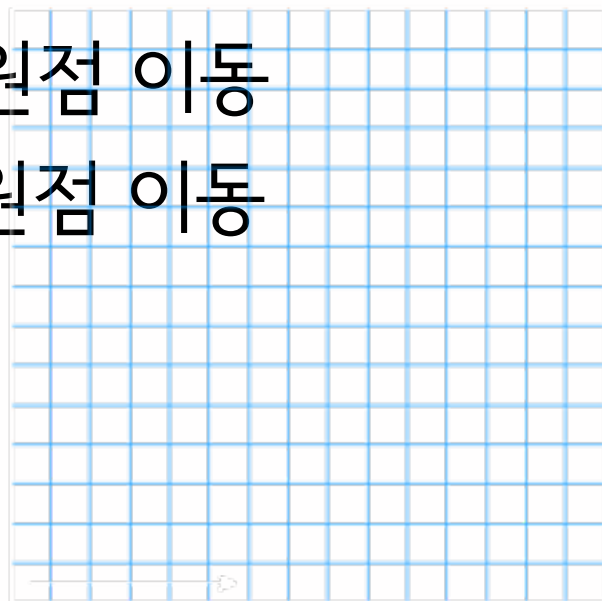
물리학의 대칭성

- 물리 법칙을 기술하는 독립변수에 변화를 주어도 (예: 시간, 공간 등의 입력정보를 변화) 그 법칙이 변하지 않을 때 ‘대칭적’이라고 한다.

- 대칭성(symmetry) = “불변성(invariance)”

- 우리 우주가 지니고 있다고 여겨지는(?) 대칭성

- 좌우 대칭(?)
- 회전 대칭
- 공간의 원점 이동
- 시간의 원점 이동





좌표계의 원점을 다른 곳으로 옮겨서 (예: 서울 → 부산) 물리 현상을 연구한다고 해서 물리 법칙이 바뀐다면 무슨 일이 생길까?

시간과 공간의 원점 이동에 대해 대칭인가?

- 시간의 원점 이동, 공간의 원점 이동에 대한 대칭성을 생각해 보자.
- 자연의 기본법칙(물리법칙)이 측정한 시간, 장소에 따라 달라진다면
 - 전세계 과학자들 혹은 물리학자들 간의 의사 소통이 가능할까?
 - ❖ 이 대칭성(=불변성)은 과학자들 간의 협력 연구를 가능케 하는 매우 기본적인 성질이므로 너무나 당연하게 여겨지고 있다.
 - 그런데.. 과연 그럴까?
 - ❖ 지구에서 한 물리 실험과 100억광년 떨어진 천체에서 한 물리 실험은 과연 같은 자연법칙을 따를까?
 - ❖ 오늘 지구에서 한 물리 실험과 10억년 전 지구에서 한 물리 실험은 과연 같은 자연법칙을 따를까?
 - ❖ 아직까지는 실험적으로 이 대칭성이 틀렸다는 증거는 없다.
 - ❖ *Enjoy (the symmetries) while you can!*

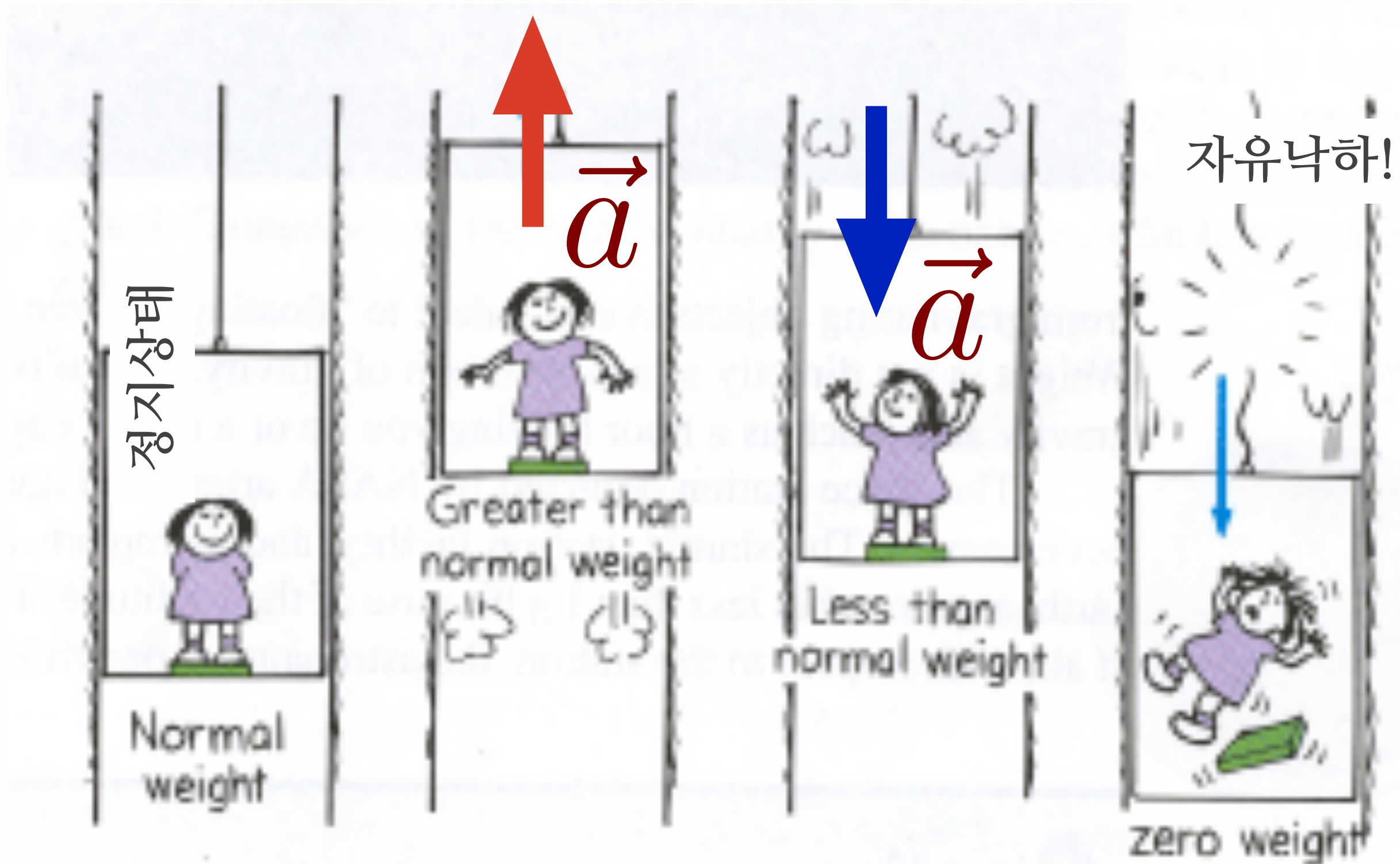
뉴턴의 운동법칙

I. Law of inertia (관성의 법칙)

II. $\vec{F} = m\vec{a} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ (운동 방정식)

III. Action vs. reaction (작용-반작용의 법칙)

엘리베이터 안에서 본 $F = ma$



엘리베이터 안에서 본 $F = ma$

두 명의 관측자 (i.e. 좌표 원점)

1. 엘리베이터 밖에 고정된
2. 엘리베이터 안에 고정된



1. 엘리베이터 밖에 고정된 좌표계

- 탑승자가 받는 힘의 합 = 중력 + 바닥이 받치는 힘 = 0
- 탑승자의 가속도 = 0
- $F = ma$ is in good shape!

2. 엘리베이터 안에 고정된 좌표계

- 탑승자가 받는 힘의 합 = 중력 + 바닥이 받치는 힘 = 0
- 탑승자의 가속도 = 0
- $F = ma$ is in good shape!

∴ 어느 좌표계에서 보더라도 $F = ma$ 는 성립한다!

엘리베이터 안에서 본 $F = ma$

두 명의 관측자 (i.e. 좌표 원점)

1. 엘리베이터 밖에 고정된
2. 엘리베이터 안에 고정된



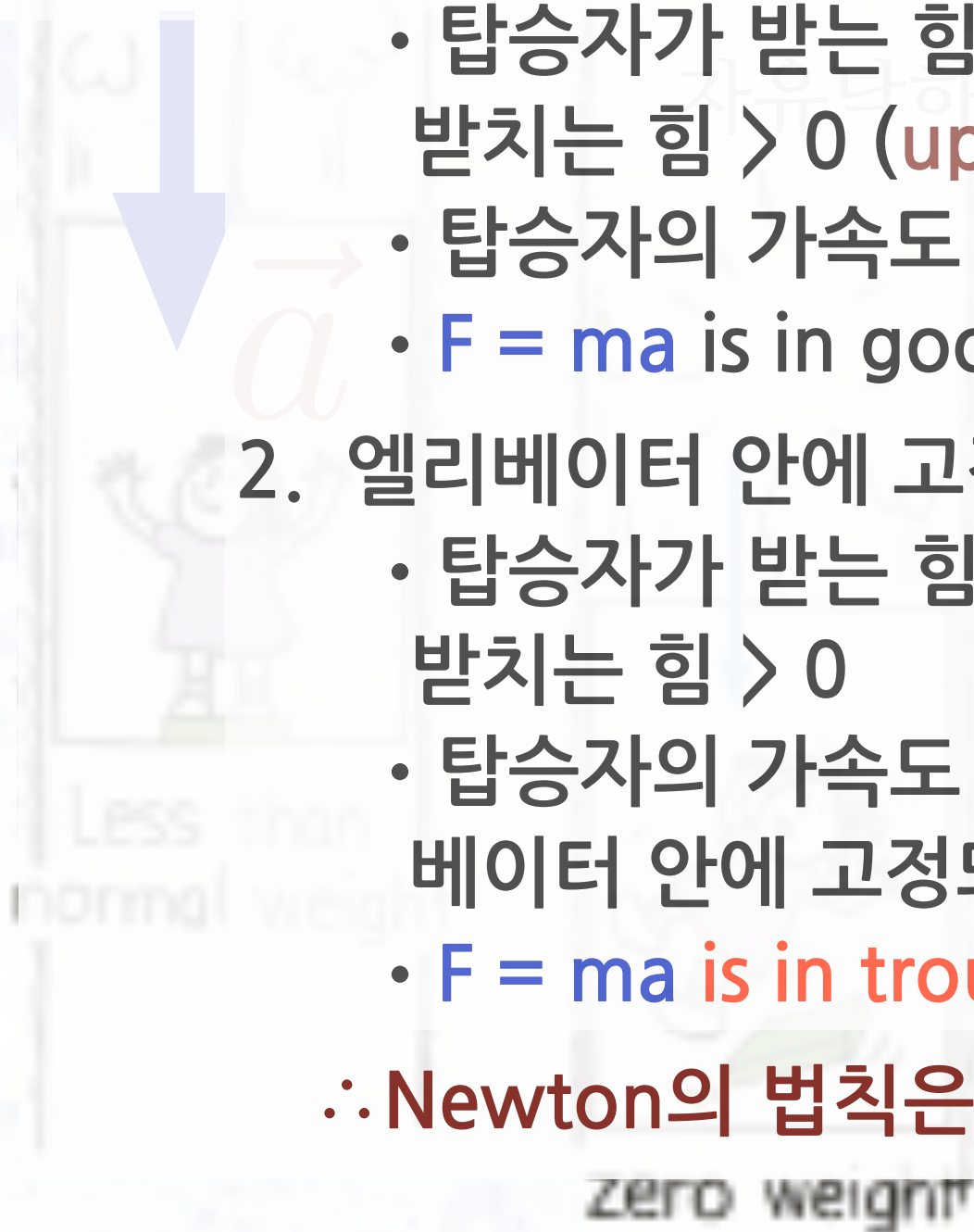
1. 엘리베이터 밖에 고정된 좌표계

- 탑승자가 받는 힘의 합 = 중력 + 바닥이 받치는 힘 > 0 (upward)
- 탑승자의 가속도 > 0
- $F = ma$ is in good shape!

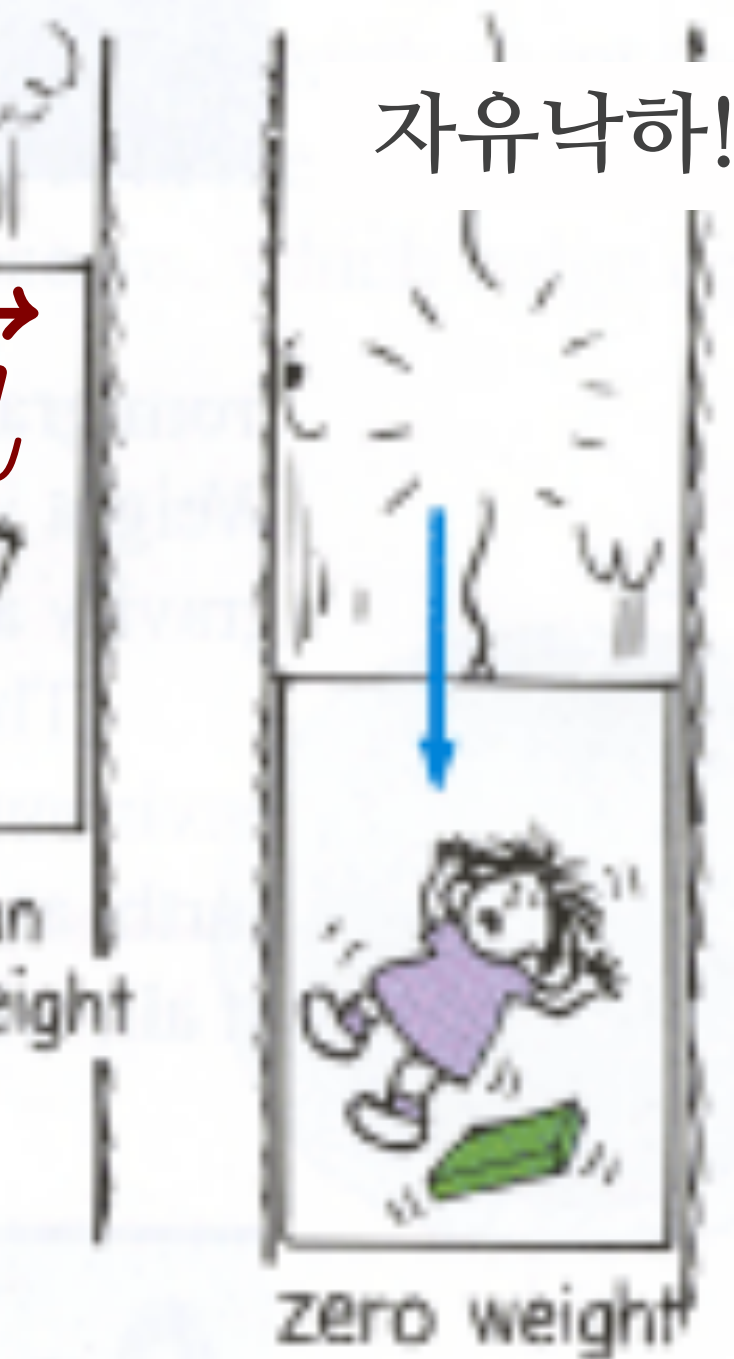
2. 엘리베이터 안에 고정된 좌표계

- 탑승자가 받는 힘의 합 = 중력 + 바닥이 받치는 힘 > 0
- 탑승자의 가속도 = 0 (\because 탑승자는 엘리베이터 안에 고정되어 있음!)
- $F = ma$ is in trouble!

\therefore Newton의 법칙은 좌표계에 따라 달라진다!



엘리베이터 안에서 본 $F = ma$



(Q) 지구 표면 근처에서 자유낙하하는 (Don't ask me why!) 엘리베이터가 있다. 이 엘리베이터 내부에 고정된 좌표축에서 기술된 운동은 뉴턴의 제 2법칙($F = ma$)을 만족하는가?

- 뉴턴의 운동법칙은 시간과 공간 좌표의 측정을 전제로 한다. 그렇다면 시간, 공간 좌표 측정의 기준점(일반적으로 기준좌표계로 표시되는)은 무엇으로 잡아야 하는가?
- 물리학자 A, B가 서로 다른 기준좌표계를 사용하여 측정을 하더라도 똑같은 물리법칙이 적용된다는 것을 확신할 수 있을까? 만약 그렇지 않다면 물리학자들 간의 의사소통이 가능하거나 한 것일까? (i.e. 학회를 열고 논문을 발표한들...)
- 오컴의 면도날을 사용한 추론으로부터 물리학자들은 자연 현상은 기준좌표계에 상관 없이 똑같은 형태의 자연법칙으로 설명되어야 한다고 가정하는게 ‘자연’스럽다고 생각하려는 경향이 있다.
- 그런데 엘리베이터 안에 있는 사람에 대한 고찰로 보건대 뉴턴의 운동법칙($F=ma$)만 해도 이 문제는 그리 만만한 것이 아님을 알 수 있다.

Galilean Invariance

- 물리학자들은 뉴턴의 운동법칙이 같은 형태로 성립하는 것은 특정한 (그러나 매우 일반적인) 성질을 갖는 기준좌표계들에서만 가능하다고 생각하며 그러한 좌표계를 ‘관성 좌표계’라 부른다.
- 그러나 문제는 어느 것이 관성좌표계인지 구별할 수 없다는 것이다.
 - 달리 말하면 ‘이것이 관성좌표계이다’라고 부를 수 있는 절대 좌표계는 존재하지 않는다.
- 다만 한 가지 알아낸 것은 한 개의 관성좌표계를 찾을 수 있다면 그 좌표계에 대해서 상대적으로 등속직선 운동을 하는 모든 좌표계 역시 뉴턴의 운동법칙이 $F=ma$ 의 형태로 나타나는 관성좌표계로서의 자격을 갖게 된다는 것이다.
 - 이것을 ‘갈릴레이의 상대성 원리 (Galilean Principle of Relativity)’ 혹은 ‘갈릴레이의 불변성 (Galilean Invariance)’이라고 부른다.

뉴턴의 운동법칙과 대칭성

- Galilean invariance
- 뉴턴 역학에 내재한 보존법칙
 - 운동량, 에너지, 각운동량
- Noether's theorem (뇌테르의 정리)
 - 대칭성이 있으면 그에 해당하는 보존법칙이 있다!

Emmy Nöther (1882 ~ 1935)

- 📌 독일의 수학자, 물리학자
- 📌 뇌테르의 정리를 증명함 (1918)
 - “대칭성이 있으면 그에 해당하는 보존법칙이 있다”
- 📌 여성이라는 이유로 차별을 많이 받았음
 - “여기는 대학교이지 목욕탕이 아닙니다”
 - 스승 Hilbert가 뇌테르의 무보수 강사 임용조차 반대하는 동료교수에게 화를 내며
 - “막스 뇌테르는 에미 뇌테르의 아버지입니다”
 - 역시 수학자였던 아버지 막스 뇌테르의 장례식에서 에미 뇌테르가 막스의 딸이라는 얘기를 듣고 아인슈타인이 한 대꾸



Invariant Variation Problems

Emmy Noether



M. A. Tavel's English translation of "Invariante Variationsprobleme," *Nachr. d. König. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen, Math-phys. Klasse*, 235–257 (1918), which originally appeared in *Transport Theory and Statistical Physics*, **1** (3), 183–207 (1971).⁰

Abstract

The problems in variation here concerned are such as to admit a continuous group (in Lie's sense); the conclusions that emerge from the corresponding differential equations find their most general expression in the theorems formulated in Section 1 and proved in following sections. Concerning these differential equations that arise from problems of variation, far more precise statements can be made than about arbitrary differential equations admitting of a group, which are the subject of Lie's researches. What is to follow, therefore, represents a combination of the methods of the formal calculus of variations with those of Lie's group theory. For special groups and problems in variation, this combination of methods is not new; I may cite Hamel and Herglotz for special finite groups, Lorentz and his pupils (for instance Fokker), Weyl and Klein for special infinite groups.¹ Especially Klein's second Note and the present developments have been mutually influenced by each other, in which regard I may refer to the concluding remarks of Klein's Note.

§ 1. Preliminary Remarks and Formulation of Theorems

All functions occurring in the sequel are to be assumed analytic, or at least continuous and continuously differentiable a definite number of times, and unique in the interval considered.

By a "group of transformation," familiarly, is meant a system of transformations such that for

To the Editor of The New York Times:

The efforts of most human-beings are consumed in the struggle for their daily bread, but most of those who are, either through fortune or some special gift, relieved of this struggle are largely absorbed in further improving their worldly lot. Beneath the effort directed toward the accumulation of worldly goods lies all too frequently the illusion that this is the most substantial and desirable end to be achieved; but there is, fortunately, a minority composed of those who recognize early in their lives that the most beautiful and satisfying experiences open to humankind are not derived from the outside, but are bound up with the development of the individual's own feeling, thinking and acting. The genuine artists, investigators and thinkers have always been persons of this kind. However inconspicuously the life of these individuals runs its course, none the less the fruits of their endeavors are the most valuable contributions which one generation can make to its successors.

Within the past few days a distinguished mathematician, Professor Emmy Noether, formerly connected with the University of Göttingen and for the past two years at Bryn Mawr College, died in her fifty-third year. In the judgment of the most competent living mathematicians, Fräulein Noether was the most significant creative mathematical genius thus far produced since the higher education of women began. In the realm of algebra, in which the most gifted mathematicians have been busy for centuries, she discovered methods which have proved of enormous importance in the development of the present-day younger generation of mathematicians. Pure mathematics is, in its way, the poetry of logical ideas. One seeks the most general ideas of operation which will bring together in simple, logical and unified form the largest possible circle of formal relationships. In this effort toward logical beauty spiritual formulas are discovered necessary for the deeper penetration into the laws of nature.

Born in a Jewish family distinguished for the love of learning, Emmy Noether, who, in spite of the efforts of the great Göttingen mathematician, Hilbert, never reached the academic standing due her in her own country, none the less surrounded herself with a group of students and investigators at Göttingen, who have already become distinguished as teachers and investigators. Her unselfish, significant work over a period of many years was rewarded by the new rulers of Germany with a dismissal, which cost her the means of maintaining her simple life and the opportunity to carry on her mathematical studies. Farsighted friends of science in this country were fortunately able to make such arrangements at Bryn Mawr College and at Princeton that she found in America up to the day of her death not only colleagues who esteemed her friendship but grateful pupils whose enthusiasm made her last years the happiest and perhaps the most fruitful of her entire career.

ALBERT EINSTEIN.
Princeton University, May 1, 1935.

[New York Times May 5, 1935]



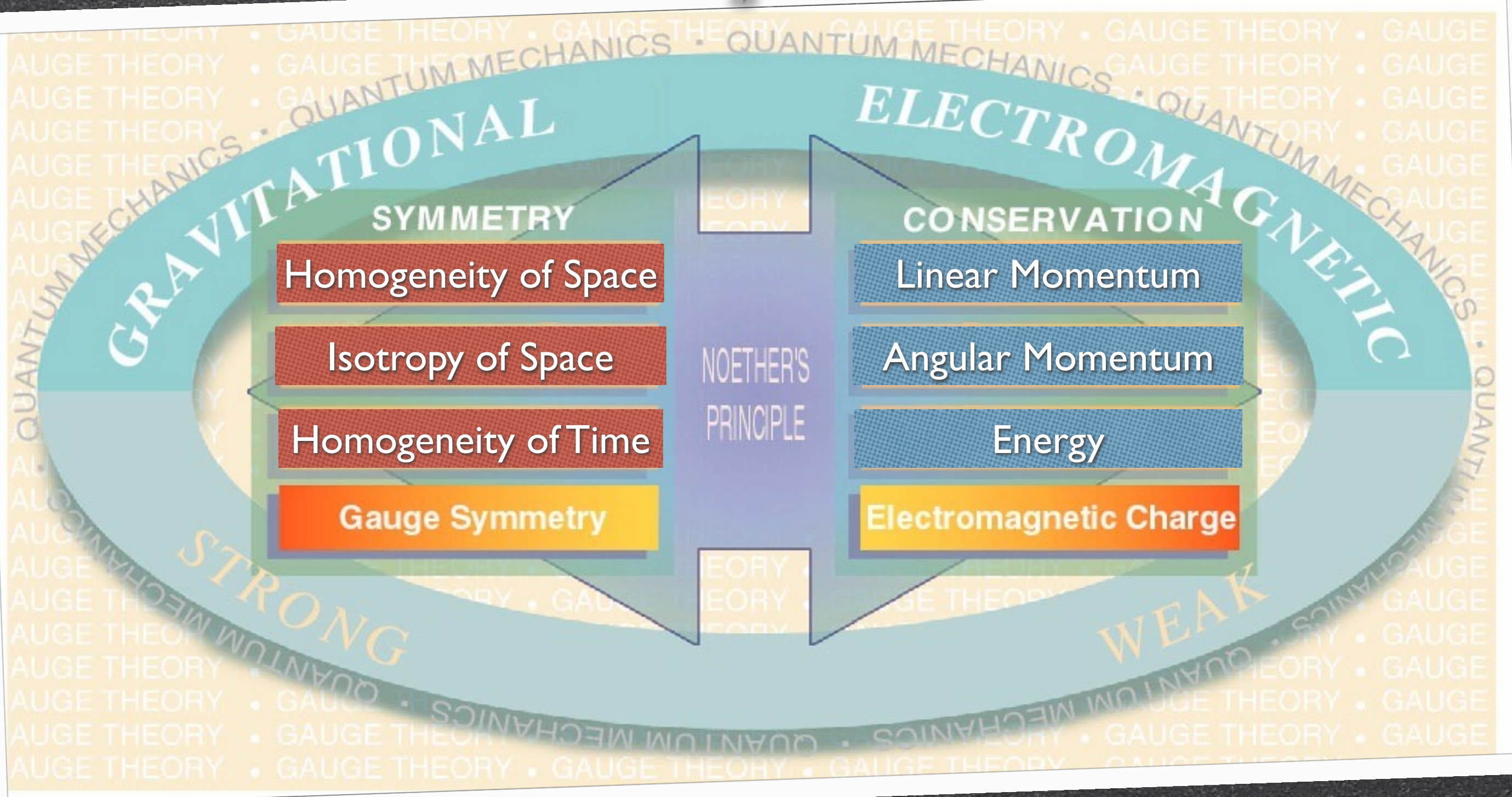
Within the past few days a distinguished mathematician, Professor Emmy Noether, ... , died in her fifty-third year.

In the judgment of the most competent living mathematicians, Fräulein Noether was **the most significant creative mathematical genius thus far produced since the higher education of women began.**

In the realm of algebra, in which the most gifted mathematicians have been busy for centuries, she discovered methods which have proved of enormous importance in the development of the present-day younger generation of mathematicians.

Pure mathematics is, in its way, the poetry of logical ideas. One seeks the most general ideas of operation which will bring together in simple, logical and unified form the largest possible circle of formal relationships. In this **effort toward logical beauty** spiritual formulas are discovered necessary for the **deeper penetration into the laws of nature.**

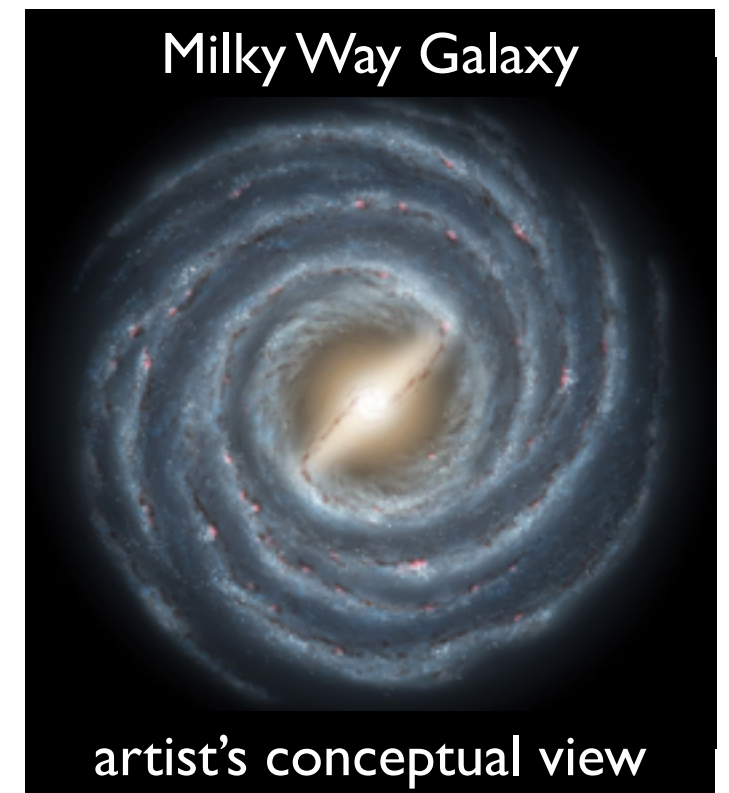
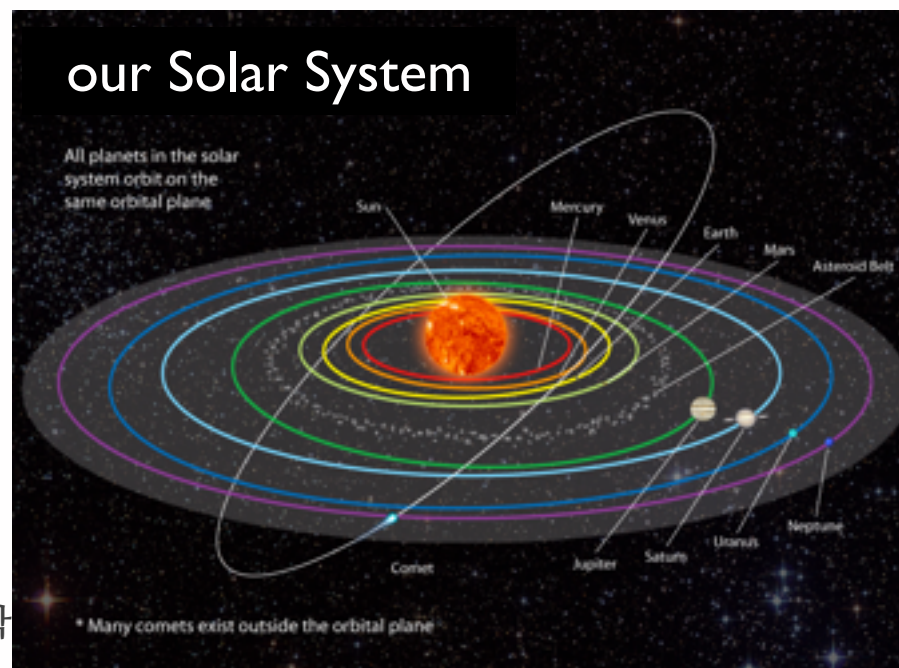
A. Einstein, in a letter of obituary for E. Noether to NYT



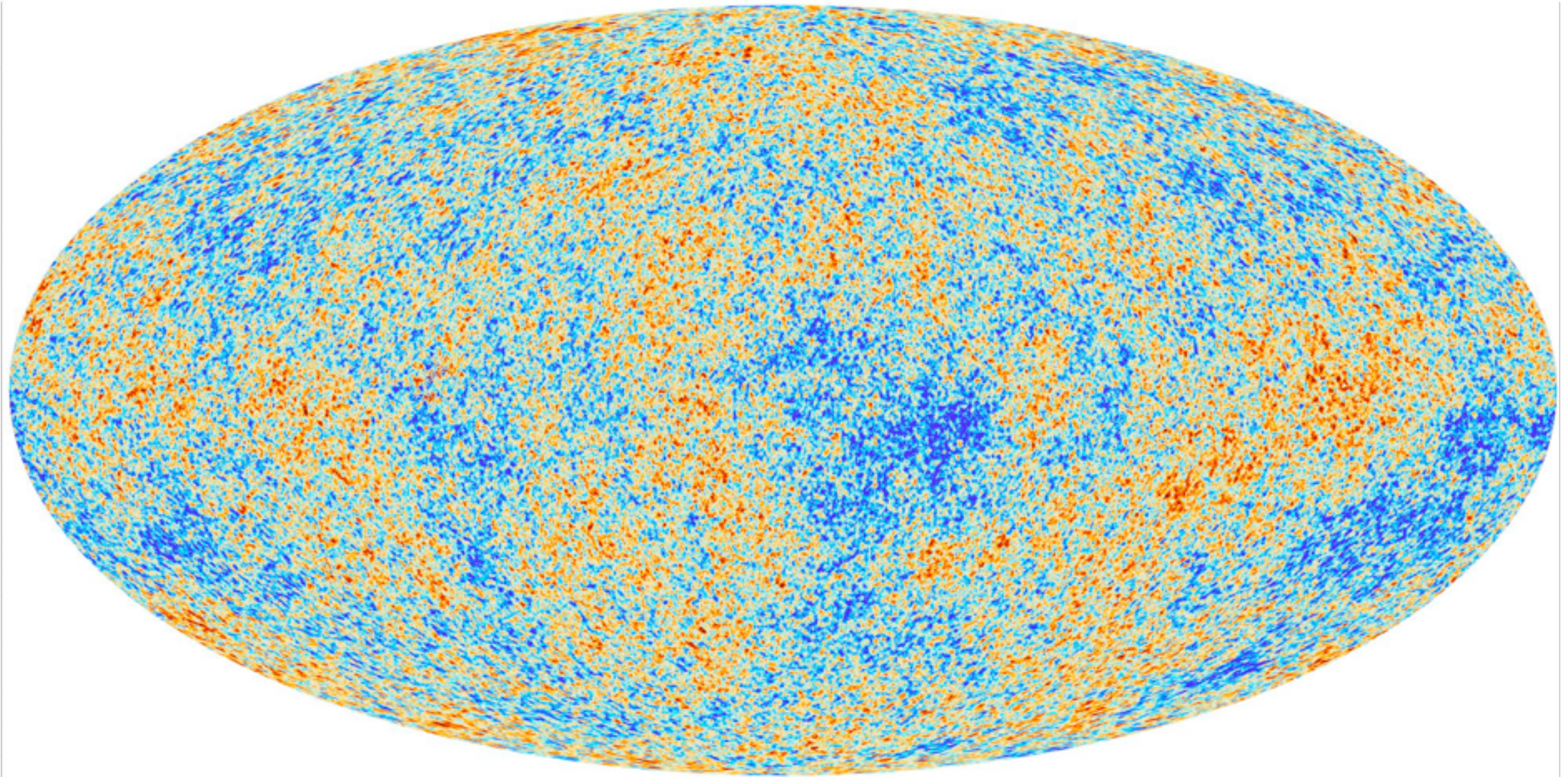
Symmetry & Conservation

방향(회전) 대칭성 isotropy

- 자연의 기본 법칙이 방향에 따라 다르다면?
 - 동쪽을 향해서 실험 장치를 설치하고 실험한 결과와 남쪽을 향해 설치하고 얻은 결과가 다르게 된다?
 - 우주에 동/서/남/북의 구별이 있을까?
 - ❖ 동서남북은 지구상에서나 존재하는 것!
- 아직까지 어느 실험에서도 공간이 회전대칭성을 만족하지 않는다는 증거는 찾지 못함
 - *Again, enjoy the symmetry while you can!*



방향(회전) 대칭성 isotropy

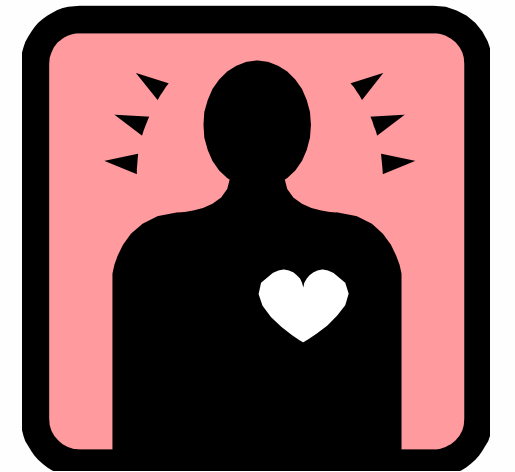


Planck 실험에서 관측한 CMB 분포
거의 isotropic한 분포를 보여줌
(평균온도 2.7K를 기준으로 빨간색과 파란색의 차이는 약 10^{-5} K)

거울 대칭성 (=좌우 대칭성)

parity

- 자연의 기본 법칙은 좌우변환에 대해 대칭적인가?
 - 실제 장면을 찍은 영화와 거울에 비친 모습을 찍은 영화를 구별할 수 있는가?
 - 자연의 근본법칙이 왼쪽과 오른쪽을 차별할까?
 - 사람은 좌우대칭일까?
 - ❖ 왜 심장은 왼쪽에 있을까?
 - ❖ 왜 사람은 오른손잡이가 많을까?



[Note] 놀랍게도(!) 자연법칙 중 약한 핵력(방사능 삼붕괴의 원인) 현상은 좌우대칭이 완전히 깨져 있다.

I cannot believe that God is a weak left hander.
- W. Pauli

그밖에 물리학에서 다루는 대칭성

- 게이지 대칭성
- 물질-반물질 대칭성
- 시간 반전 대칭성
- 초대칭성
- 기타 ...

완벽한 대칭성? 불완전한 대칭성?



Original



Left Symmetry



Right Symmetry



... 덕수궁(德壽宮) 박물관에 청자 연적이 하나 있었다. 내가 본 그 연적(硯滴)은 연꽃 모양으로 된 것으로, 똑같이 생긴 꽃잎들이 정연(整然)히 달려 있었는데, 다만 그 중에 꽃잎 하나만이 약간 옆으로 꼬부라졌었다. 이 균형(均衡) 속에 있는, 눈에 거슬리지 않는 파격(破格)이 수필인가 한다. 한 조각 연꽃 잎을 옆으로 꼬부라지게 하기에는 마음의 여유(餘裕)를 필요로 한다. ...
- 피천득 '수필'에서

완벽한 대칭성? 불완전한 대칭성?

- 자연계에 존재하는 상호작용(~힘)마다 각각에 해당하는 게이지 대칭성이 있다. 상호작용의 종류에 따라서 게이지 대칭성이 완벽하게 유지된 것도 있고 (자발적으로) 깨진 것도 있다.
- 각각의 게이지 대칭성에는 그에 해당하는 게이지 입자가 있다. 이 게이지 입자가 그 상호작용을 매개하는 역할을 한다.
- 완벽한 게이지 대칭성은 그에 해당하는 ‘전하량 보존법칙’을 가지고 있다. 이 경우 게이지 입자는 질량이 0이다.
- 깨어진 게이지 대칭성은 게이지 입자의 질량을 0보다 커지게 만든다.
- 게이지 대칭성이 자발적으로 깨지지 않으면 물리 이론을 쓸모 없게 만드는 괴상한 현상들이 생긴다.
- 게이지 대칭성을 자발적으로 깨지도록 만드는 역할을 하는 입자가 바로 힉스(Higgs) 입자이다.

대칭성의 자발적 깨짐

● (예) “좌빵 우물”

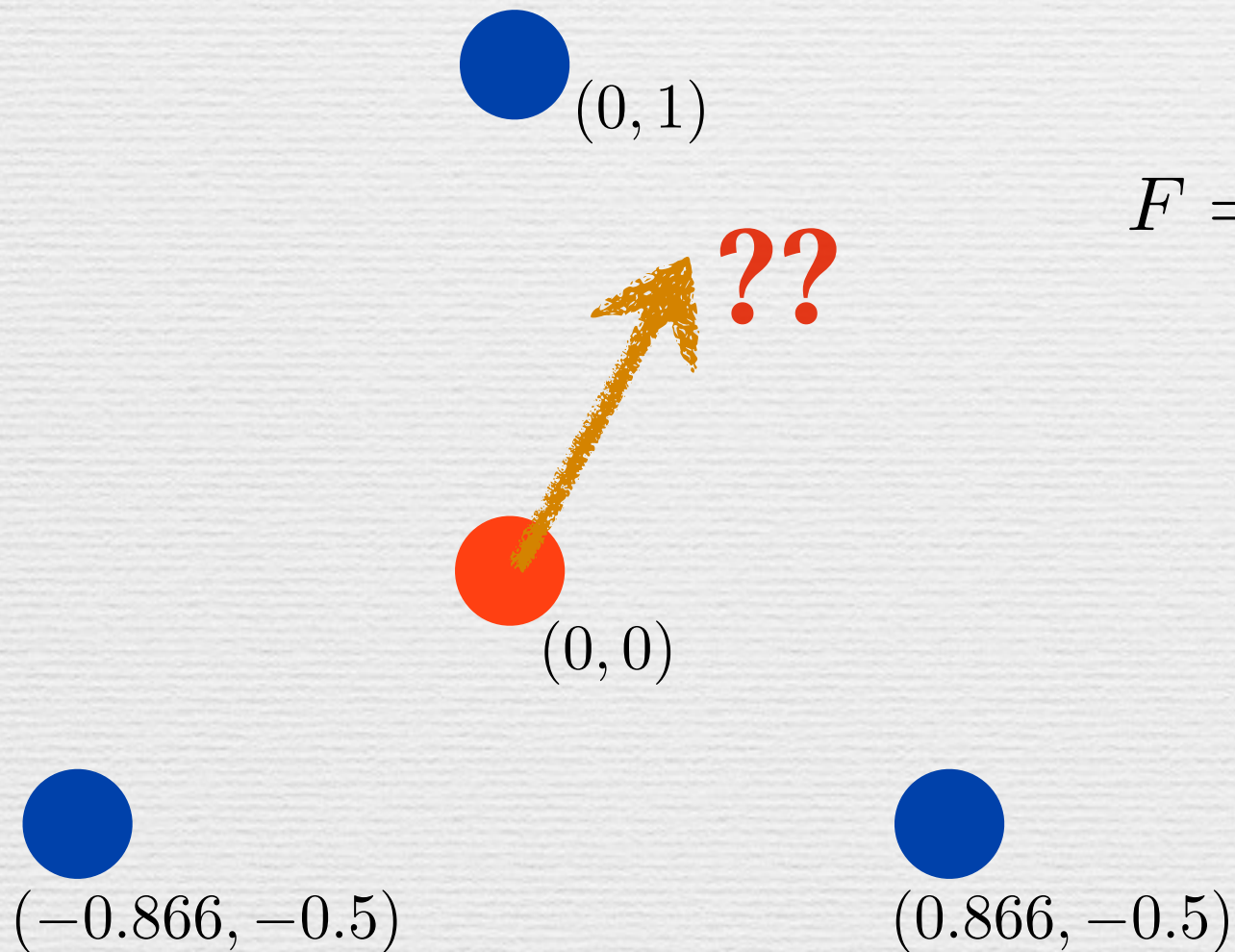
식탁에 빵과 물은 대칭적으로 놓여 있었다. 오른쪽 물컵과 왼쪽 물컵이 내 자리에서 정확히 같은 거리에 있다면 어느 쪽 물컵이 내 것인가?

누군가 우연히 오른쪽 컵을 잡으면 다른 사람들 모두 오른쪽 컵을 잡게 된다.

→ 좌우 대칭성이 자발적으로 깨진다.

왜 (물리학은) 대칭성에 열광하는가?

- 많은 경우에 물리문제 해결을 쉽게, 즐겁게, 아름답게 만들어준다!
- 주변의 세 물체(파란 점들)들이 원점에 있는 물체(빨간 점)에 작용하는 중력의 합은 얼마인가? 힘의 크기와 방향을 계산하시오.



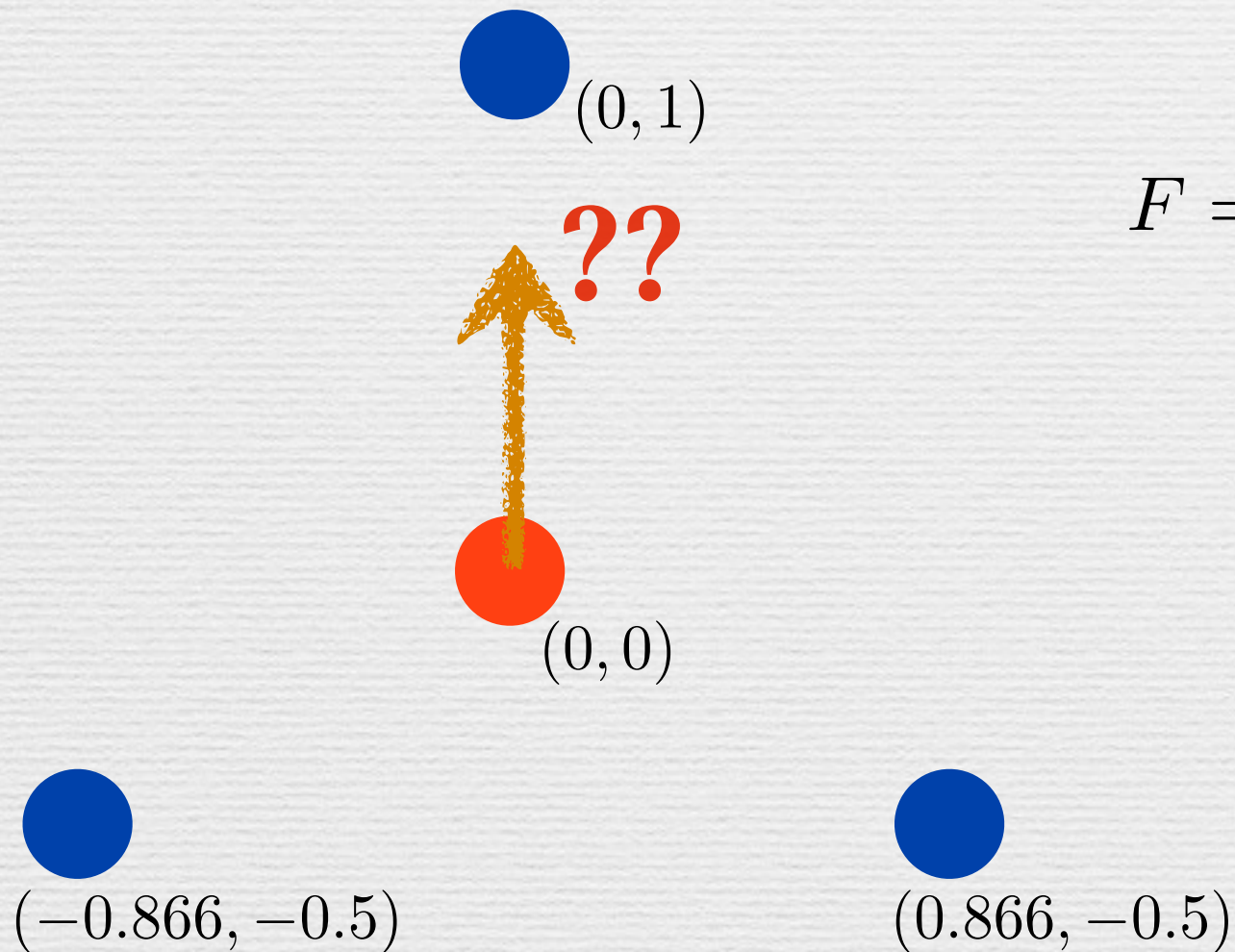
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \text{ due to each blue mass}$$

$$F_x = G \frac{M_r M_b}{(x^2 + y^2)} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

$$F_y = G \frac{M_r M_b}{(x^2 + y^2)} \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

왜 (물리학은) 대칭성에 열광하는가?

- 많은 경우에 물리문제 해결을 쉽게, 즐겁게, 아름답게 만들어준다!
- 주변의 세 물체(파란 점들)들이 원점에 있는 물체(빨간 점)에 작용하는 중력의 합은 얼마인가? 힘의 크기와 방향을 계산하시오.



$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \text{ due to each blue mass}$$

$$F_x = G \frac{M_r M_b}{(x^2 + y^2)} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

$$F_y = G \frac{M_r M_b}{(x^2 + y^2)} \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

물리학 - 실용성을 위해

- Faraday 법칙 - 전기의 활용
- Maxwell의 방정식 - 전파를 활용한 통신
- 반도체의 발견 및 그 응용 - 현대 전자공학 및 IT
- 핵/입자물리에서 개발된 연구시설을 응용한 첨단 의료기기
- 심지어 World-Wide Web도 물리학자에 의해서 발명됨
- ...