

어떻게 물리학을 사랑하지 않을 수 있을까?

1 이해에서 오는 경외감

“언제라도 무지에서 오는 경외감보다는 이해에서 오는 경외감을 택하겠다. ----
Douglas Adams

- 물리학자들은 이 오래되고 중요한 미해결 문제에 대한 답을 알아내기 위해 표준모형을 뛰어넘는 이론을 계속 탐색하고 있습니다.

진보는 어떻게 이루어지는가?

- 과학분야는 이론과 실험의 지속적인 상호작용을 통해 진보하는데 물리학은 특히 그렇다. 이론은 예측이 실험으로 입증된 동안에만 시간의 검증에서 살아남을 수 있다.
- 위대한 이론물리학자들을 인도한 것은 수학에 담긴 심미적 아름다움이다.

단순성을 찾아서

- 물리학의 진정한 아름다움은 추상적인 방정식이나 놀라운 실험 결과뿐만 아니라 세상의 존재 방식을 지배하는 심원한 근본 원리 속에도 담겨 있습니다. 이것은 자연 법칙의 놀라운 심오함이 아니라, 그 법칙이 어디서 왔는지 알려주는 설명의 믿기 어려운 단순성에 있습니다.
- 세상의 모든 물질은 세가지 소립자 up quark, down quark, electron 으로 이루어져있다.

2 척도

- 과학 학문으로서 물리학이 관찰, 실험, 정량적 측정으로 이론을 검증하는 데 반드시 필요한 도구 망원경과 현미경이 발명된 이후 제대로 발전할 수 있었다.
- 자연이란 책은 수학이라는 언어로 적혀 있다. ----- 갈릴레오
- 오늘날 인류가 탐험할 수 있는 척도의 범위는 실로 놀랍습니다. 전자현미경을 통해 직경이 수천만분의 1mm에 불과한 원자도 볼 수 있고, 거대한 망원경을 통해 465억 광년 떨어진 관측 가능한 우주의 가장 먼 가장자리까지 볼 수 있습니다.
- 스코틀랜드 세인트앤드루스대학교의 한 연구진은 ‘파장계wavemeter’라는 장치를 이용해 빛의 파장을 아토미터am, attometer 단위의 정확도로 측정하는 방법을 고안했습니다. 아토미터는 소립자의 길이 단위로 1am은 100경 분의 $1(10^{-18})\text{m}$ 에

해당합니다. 1 μ m은 양성자 직경의 1/1000에 해당하는 길이입니다.

- 광전효과(photoelectric effect)란 광자가 전자를 때려서 원자에서 떼어내는 현상을 말합니다. 이 과정을 처음으로 설명한 사람은 아인슈타인입니다.
- 핵융합의 첫 단계 즉 원자핵과 원자핵이 합쳐지면서 더 무거운 원자핵이 만들어집니다. 이 과정에서 양쪽 원자핵에서 나온 모든 양성자와 중성자가 급속히 재조직되면서 새로 결합된 원자핵이 탄생합니다. 이 양자 과정이 일어나는 시간은 1zepto초zs, zeptosecond도 안 됩니다. 1zs는 10^{-21} 초에 해당합니다.

보편성

- 중력장이 강할수록 시간이 느리게 흐른다. 이것 때문에 지구의 핵에서는 지구표면보다 시간이 살짝 더 느리게 흐르는 이상한 현상이 생겨납니다.
- 위성에 탑재하는 원자시계는 대단히 정교한데도 중력의 효과로 매일 10만의 분의 4초씩 빨라집니다.
- 가장 작은 길이와 시간의 척도에서는 일상세계의 물리학(뉴턴의 것이든, 아인슈타인의 것이든)이 붕괴되기 때문에 그것을 양자역학의 예측으로 대체해야 합니다. 양자론에 따른 시간의 정의는 일반상대성이론에서 내리는 정의와 너무도 다릅니다.

대칭성

- ‘광역대칭성global symmetry’은 어떤 변화나 변환이 모든 곳에서 동일하게 적용되기만 하면 물리법칙들이 동일하게 유지되는 경우를 말합니다. (예) 운동량 보존의 법칙, 에너지 보존의 법칙
- 강한 핵력, 약한 핵력, 중력, 전자기력을 자연의 네 가지 힘이라고 부릅니다.

환원주의

- 전체는 부분의 합에 불과하다는 이런 관점을 환원주의reductionism라 합니다.

보편성의 한계

3 공간과 시간

- 데카르트는 물질적인 것을 진리라 판단하기 위해서는 편견에서 완전히 자유로운 정신, 감각적인 문제와 쉽게 거리를 둘 수 있는 정신이 필요하다고 했습니다.
- 물리학의 가장 중요한 돌파구 중에는 실제 실험이나 관찰을 통해 이끌어낸 것이 아니라, 사고실험을 통해 논리적으로 이끌어 낸 결론들이 있습니다. 물리학자가 가설을 세우고 나서 그 결론을 검증할 수 있는 상상 속 실험을 고안한 것이죠. 이 사고실

힘은 아인슈타인의 상대성이론을 발전시키는 데 도움을 주었습니다.

물리학자는 시간과 공간을 어떻게 정의하는가?

- 아인슈타인은 아이작 뉴턴의 절대적 공간과 시간이 물질과 에너지와 별개의 실체로 존재하는 것이 아님을 증명해 보였습니다.

아인슈타인의 특수상대성이론

- 아인슈타인은 음파와 달리 빛의 파동은 그 파동을 전달할 매질이 필요하지 않다는 것을 간파했습니다.
- 갈릴레오에게서 비롯된 첫 번째 원리는 모든 운동은 상대적이며, 그 어떤 실험으로도 어떤 대상이 진짜로 정지해 있음을 보여줄 수는 없다고 말합니다. 두 번째 원리는 빛의 파동이 광원의 속도와 독립적인 일정한 속도로 움직인다고 말합니다.
- 도플러 효과(Doppler effect)
- 아인슈타인은 서로의 상대 속도와 상관없이 모든 관찰자에게 빛은 똑같은 속도로 측정되어야 한다고 결론을 내렸습니다. 따라서 거리와 시간에 대한 우리의 개념을 바꿀 수밖에 없습니다.
- 아인슈타인의 상대성이론은 우리가 현상을 4차원 시공간에서 바라보아야 한다고 가르쳐줍니다. 그 안에서는 공간적 거리와 시간적 거리 둘 다 그저 관점의 문제에 불과하죠.. 어느 관찰자도 시간과 공간에 대한 자신의 관점이 다른 관찰자보다 더 정확하다고 주장할 수 없습니다. 일단 시간과 공간을 결합하면 모두의 의견이 같아지기 때문입니다. 시간과 공간 각각에 대한 개개인의 관점은 상대적이지만, 둘을 결합한 시공간은 절대적입니다.

아인슈타인의 일반상대성이론

- 일반상대성이론은 시공간을 물질 및 에너지와 연결해서 중력이라는 개념을 뉴턴의 법칙보다 더 심오하게 설명하고 있습니다. 물체가 느끼는 중력의 강도는 주변 시공간이 휘어져 있는 곡률(curvature)의 양이라는 것이죠
- 중력이 공간의 모양뿐만 아니라 시간의 흐름에도 영향을 미친다고 합니다. 중력이 강한 곳에서는 시간이 느리게 갑니다.
- 중력은 대단히 실질적인 의미에서 시간의 흐름을 늦춥니다. 물체가 땅으로 떨어지는 이유는 항상 시간의 흐름이 가장 느린 곳으로 움직이기 때문이라 할 수 있습니다.
- 장field은 어떤 형태의 에너지나 영향력을 담은 공간 영역입니다.
- 일반상대성이론에 따르면 물질과 에너지가 중력장을 만들어내는 것이며, 시공간이란 이 중력장의 구조적 특성에 불과합니다.
- 특수상대성이론은 중력이 너무 약해서 시공간을 평평한 상태로 생각할 수 있는 경

우에만 유효한, 이상화된 근사치일 뿐이죠.

- 자기장과 마찬가지로 중력장은 실재하는 물리적 대상입니다. 중력장은 휘어지고, 늘어나고, 물결칠 수 있죠, 하지만 중력장은 전자기장보다 더 근본적입니다. 전자기장은 중력장이 있어야 존재할 수 있습니다. 중력장이 없으면 시공간도 없으니까요.

공간의 팽창

- 이 팽창이 우주사이의 광대한 공간에서만 일어난다는 점도 기억하세요. 은차 자체의 내부에서는 은하를 흩어지지 않게 붙잡고 있는 중력장이 전체적인 우주 팽창을 견딜 수 있을 정도로 강력하기 때문입니다.

4 에너지와 물질

에너지

- 에너지의 종류 : 운동에너지(kinetic energy), 위치에너지(potential energy), 열에너지(thermal energy)

물질과 질량

- 진공의 우주 공간에 나가면 질량은 동일해도 무게는 0이 됩니다.
- 빨리 움직일수록 질량도 늘어납니다. 광속의 87% 속도로 움직이는 물체의 질량은 정지질량의 2배가 나옵니다. 광속의 99.5%로 움직이는 물체의 질량은 정지질량의 10배가 나옵니다.

물질의 기본 구성요소

물질과 에너지의 간단한 역사

5 양자세계

양자역학의 기초

- 고전물리학 : 뉴턴역학, 전자기학, 열역학
- 이론물리학에서 처음 등장한 중요한 돌파구였던 양자 개념은 독일의 물리학자 막스 플랑크가 제안했습니다. 뜨거운 물체가 방출하는 열에너지는 그 원자가 진동하는 진동수와 관련이 있고, 결과적으로 그 복사열이 연속적이

- 지 않고 덩어리져 있다는, 즉 별개의 에너지 꾸러미로 방출된다는 혁명적인 아이디어를 내놓았죠. 이 에너지 덩어리는 양자(quantum)라고 부르게 되었습니다.
- 광전효과(photoelectric effect)란 빛을 금속 표면에 비추면 금속 원자에서 전자가 튀어나오는 현상을 말합니다.
- 빛은 파동과 입자의 성질을 모두 가지고 있습니다. 이것을 파동-입자 이중성이라고 합니다. 빛 뿐만아니라 전자도 입자와 파동의 속성을 갖고 있습니다. 그렇다고 전자가 입자이면서 동시에 파동이라는 의미는 아닙니다.
- 전자의 입자 같은 속성(공간 속 위치)과 파동 같은 속성(운동하는 속도, 회절, 굴절, 파동간섭)에 대해 우리가 동시에 알 수 있는 부분이 어디까지인지는 하이젠베르크의 ‘불확정성 원리(uncertainty principle)’
-

6 열역학과 시간의 화살

7 통일

8 물리학의 미래

9 물리학의 유용성

10 물리학자처럼 생각하기