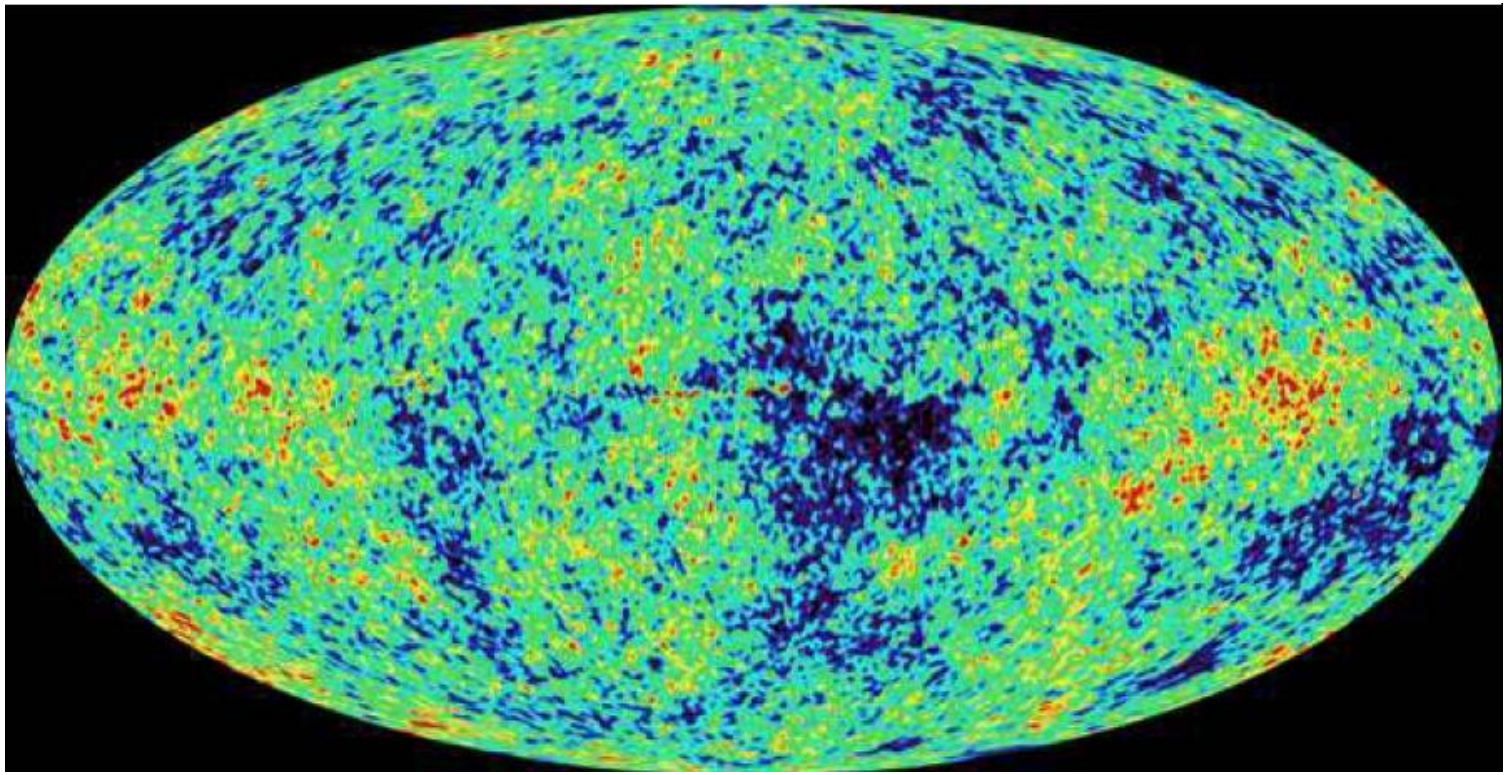
우주론 과 입자물리학

KAIST 물리학과

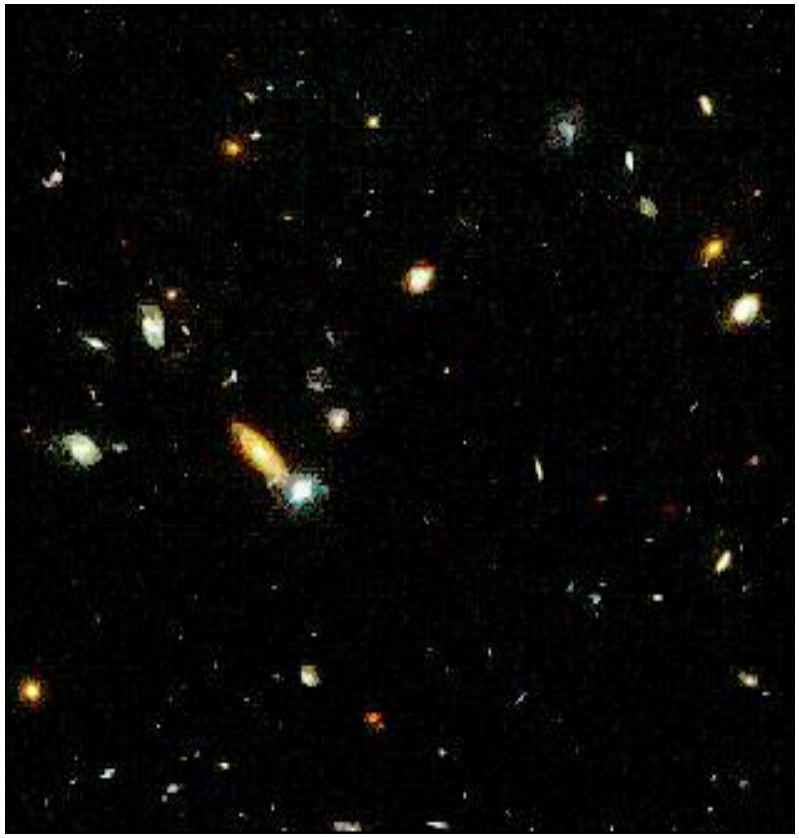
최기운

현재까지 관측된 세상

우리가 볼 수 있는 전체 우주 (10^{26} m) : 우주 배경복사 온도분포



은하군 및 은하 (10^{24} m – 10^{21} m)



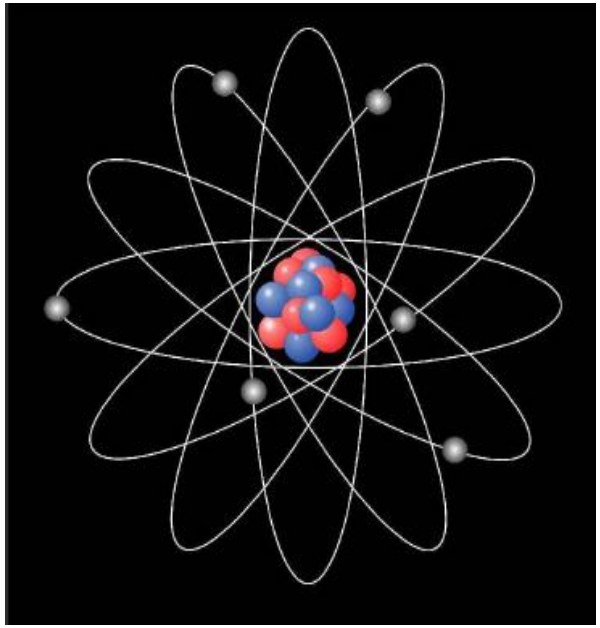
태양계 (10^{12} m)

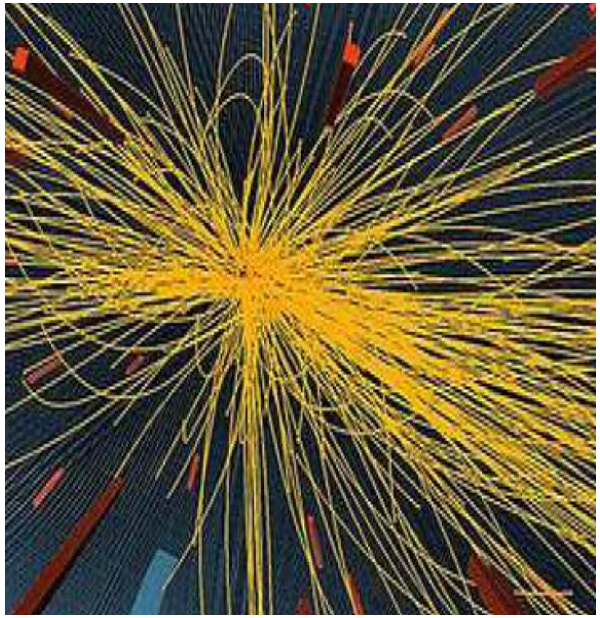
인간세계 (1 m)

세포 (10^{-5} m)

원자 (10^{-10} m) 및
원자핵 (10^{-14} m)

소립자들의
극미시세계 (10^{-18} m)

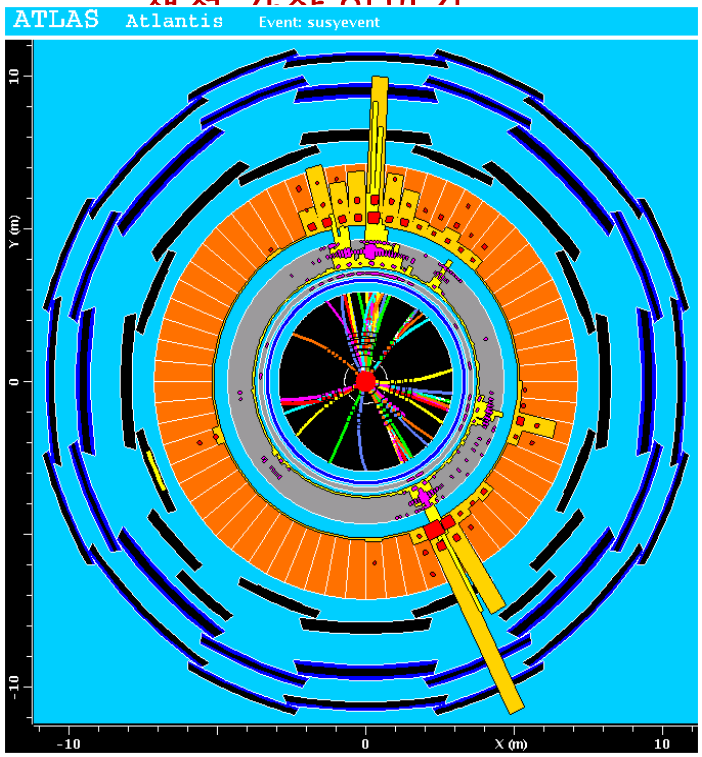


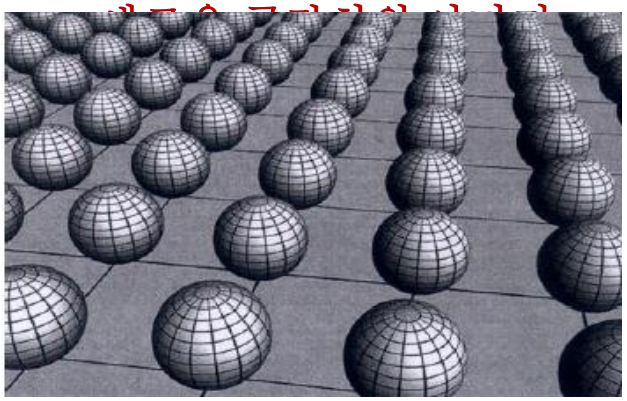


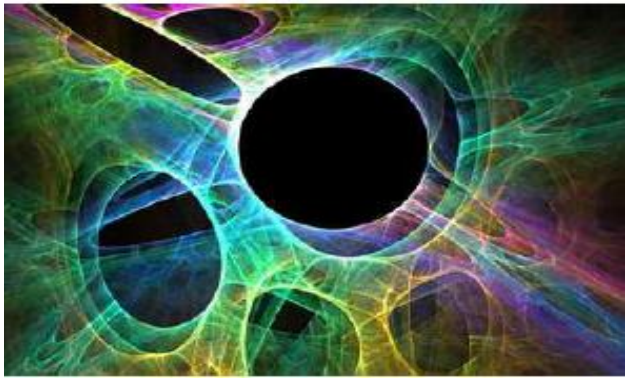
10^{-18} m 보다 작은 미시세계 : CERN LHC가 탐험하고자 하는 미지의 세계

(초대칭 입자, 새로운 공간 차원, 초끈 ?)

LHC 에서의 초대칭입자







우리 우주에는 광대한 영역의 서로 다른 크기를 가지는 수 많은 구조들이 존재하며 이들은 모두 매우 다양한 현상들을 보여주고 있다.

지난 수세기 기간 동안 이루어진 과학의 발전을 통해 얻은 가장 중요한 교훈 중 하나는 이들 서로 다른 구조들이 보여주는 자연 현상은 서로 독립적이기 보다는 "과학적 설명의 연결고리"를 통해 다른 자연 현상들과 서로 연결되어 있어 보인다는 점이다.

이들 자연현상에 "왜 자연은 그런 모습으로 그렇게 진행되는가?"라는 질문을 계속 던지면 현시점에서 그 대답의 종착점은 "과학적 설명의 연결고리"를 통해 항상 소립자 물리학으로 귀결된다.

➔ 이 연결고리의 최종 종착점이 존재한다면 그것은 바로 "궁극의 자연법칙"

과학 발전의 양대 축:

* 새로운 현상의 발견
* 현상들 사이의 원인과 결과에 대한 새로운 이해의 연결고리 구성

원자세계와 인간세계 사이에는 원자/분자들이 가질 수 있는 다양성으로 인해 더욱 다양하고 복잡한 현상들 (예: 화학, 생명, 심리, …)이 나타난다.

화학적 현상들을 원자/분자들의 물리적 성질로 이해하는 연결고리는 이미 1세기 전부터 밝혀지기 시작했으며, 최근 분자 생물학의 비약적 발전은 생명현상과 화학현상 사이에도 유사한 연결고리가 존재함을 보여주고 있다.

문) 왜 그렇게 다양한 성질을 가진 원자/분자들이 존재하는가?

전자들에 대한 양자역학의 "불확정성원리"와 "배타원리" 때문

문) 왜 전자는 "배타원리"의 지배를 받나?

입자물리학에서 양자역학과 상대성이론을 접목시킬 때 나타나는 자연스러운 귀결

왜 이러한 생물학적 현상이 일어나는가?

생명체내 고분자들 사이의 화학적 반응 때문

왜 그런 고분자 화학반응이 일어나는가?

분자를 이루는 원자들의 물리적 성질 때문

왜 원자는 그러한 물리적 성질을 가지는가?

원자를 이루는 전자 및 원자핵들의 물리적 성질 때문

왜 원자핵들은 그러한 물리적 성질을 가지는가?

원자핵을 구성하는 쿼크들의 성질 때문

왜 소립자인 전자 및 쿼크는 그러한 성질을 지니고 있나?

아직 모르지만 CERN LHC 실험에서 단서가 나오리라 기대

LHC가 탐사하고자 하는 10^{-18} m 보다 작은 세계는 단순히 새로운 또 하나의 영역이 아니라 우리가 현재 가지고 있는 자연에 대한 가장 근본적인 질문에 대한 해답을 제공해줄 수 있는 신세계로 기대되고 있다.

태초의 우주는 어떤 상태였으며

어떤 과정을 거쳐 물질이 생성되었고

어떻게 이들 물질이 뭉쳐 별을 만들고 은하를 형성하고

그 후 어떤 과정을 거쳐 우리와 우리주변 환경의 존재를

가능하게 해주는 다양한 원자들이 형성되는가에 대한

모든 질문에 대한 해답 역시 과학적 설명의 연결고리를 통해

소립자 물리로 귀결된다.

➔ LHC 는 우주의 기원과 궁극의 자연법칙을 탐구하는 최첨단 장비

우리 우주의 주요 성질들

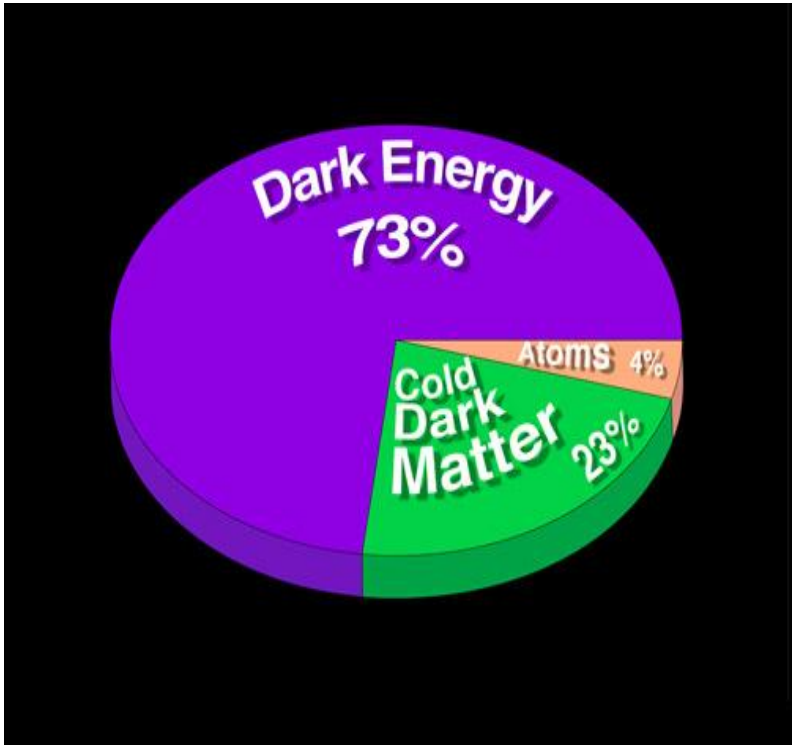
❖ 우주의 기원과 자연의 운행 질서에 의문을 가질 수 있는 지적 생물 의 형성이 가능할 정도로 매우 크고 (반경 10^{26} m 이상) 매우 오래 되었다(약 137억년).

우리 지구 같은 조건을 가지는 행성이 존재하기에 충분한 수많은 은하계와 그 안의 수 많은 별들, 그리고 그 주위를 도는 행성들 이 있으며 별의 형성과 소멸과정을 통해 탄소 등 유기원소가 형성되는데 필요한 오랜 시간 동안 존재하여 왔다.

❖ 팽창하고 있는 공간 (2.4×10^{-18} m/초/1 m)

우주 탄생순간 (Big Bang) 에 가까울 수록 더 뜨거운 고밀도 상태 였으며 초기우주에서는 모든 것이 고에너지 소립자 형태로 존재한다.

❖ 우주 대부분은 정체불명의 "암흑물질"과 "암흑에너지"로 채워져 있다.



일반원자 = 4 %

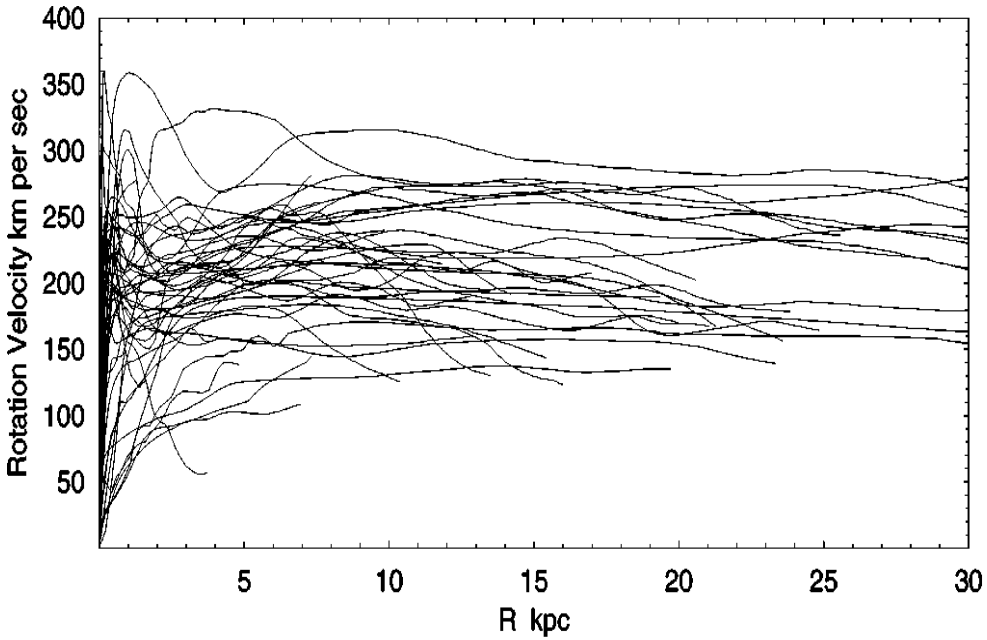
암흑물질 = 23%

암흑에너지 = 73%

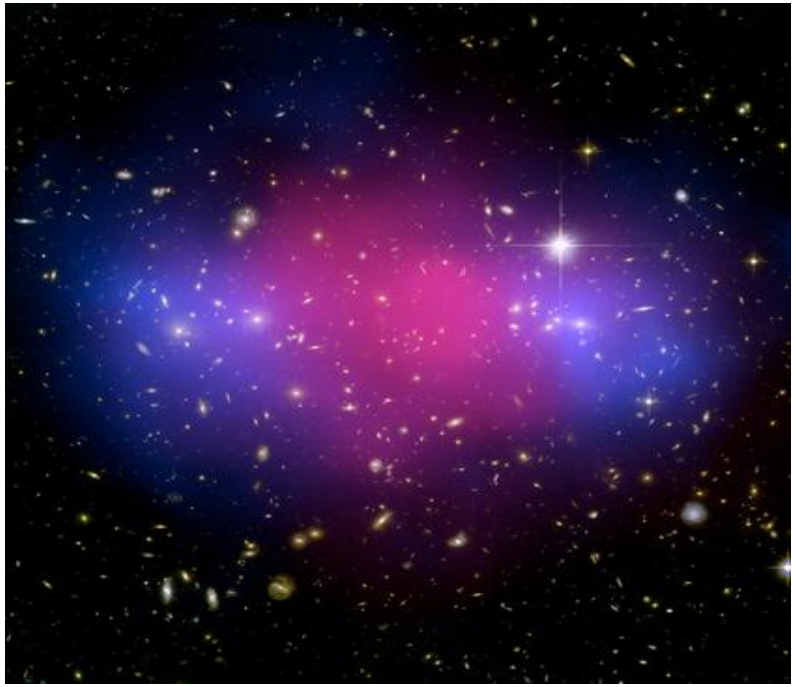
우리는 위치상으로도 전혀 특별하지 않을 뿐 아니라 (지동설), 구성성분에서도 우주의 주인공이 아님.

암흑물질 (23%)

은하계 내의 암흑물질의 존재를
보여주는 별들의 회전속도 분포



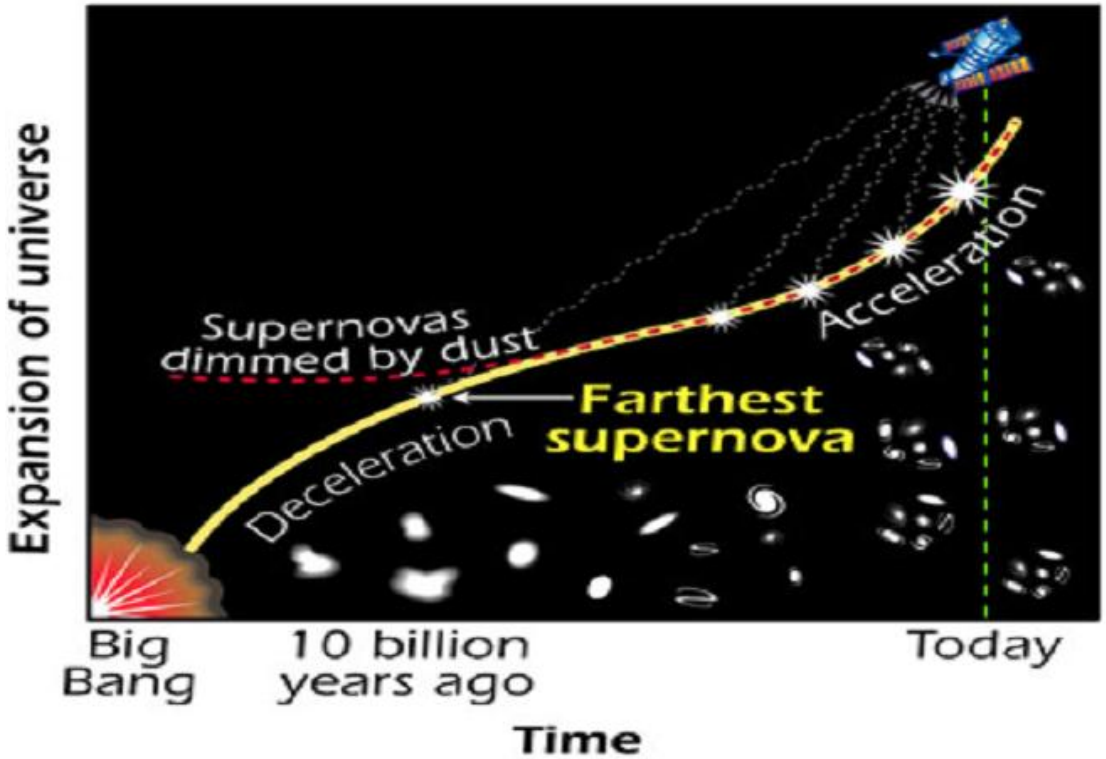
은하군 내의 암흑물질의 존재를
보여주는 은하군 충돌 현상



암흑물질 입자: 우리가 알고 있는 기본입자는 아니며 느리게 움직이며
일반 원자들과 매우 약한 상호작용을 하는 정체불명의 입자
(WIMP, 액시온, …)

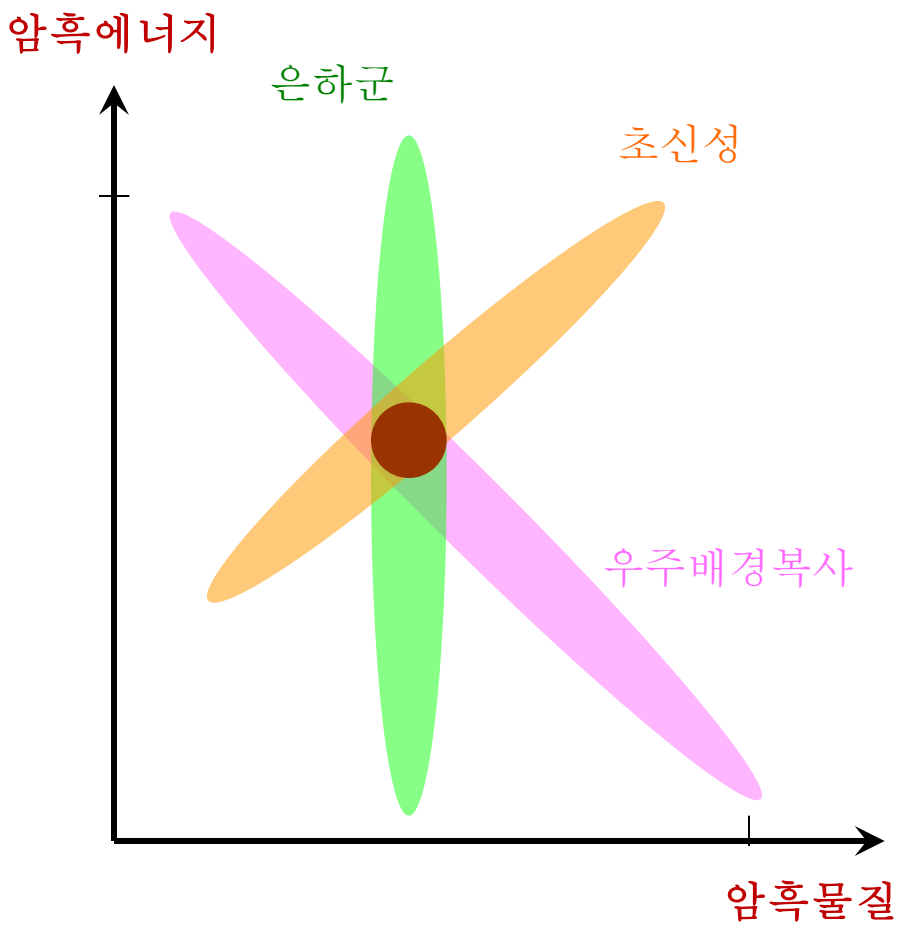
암흑에너지 (73%)

초신성들의 밝기와 거리의 상관관계 ➔ 가속팽창 우주



우주 전체 에너지의 73%는 서로 밀쳐내는 중력을 주는 암흑에너지 형태로 존재하며 이는 일반상대성이론의 우주상수로 해석될 수 있다.

암흑 에너지와 암흑 물질 구성비



은하군 물질분포 + 초기우주 원소생성 :

➔ 일반물질 = 약 4%

은하군 물질 분포 :

➔ 암흑물질 = 약 23%

초신성 을 통한 가속팽창 측정 :

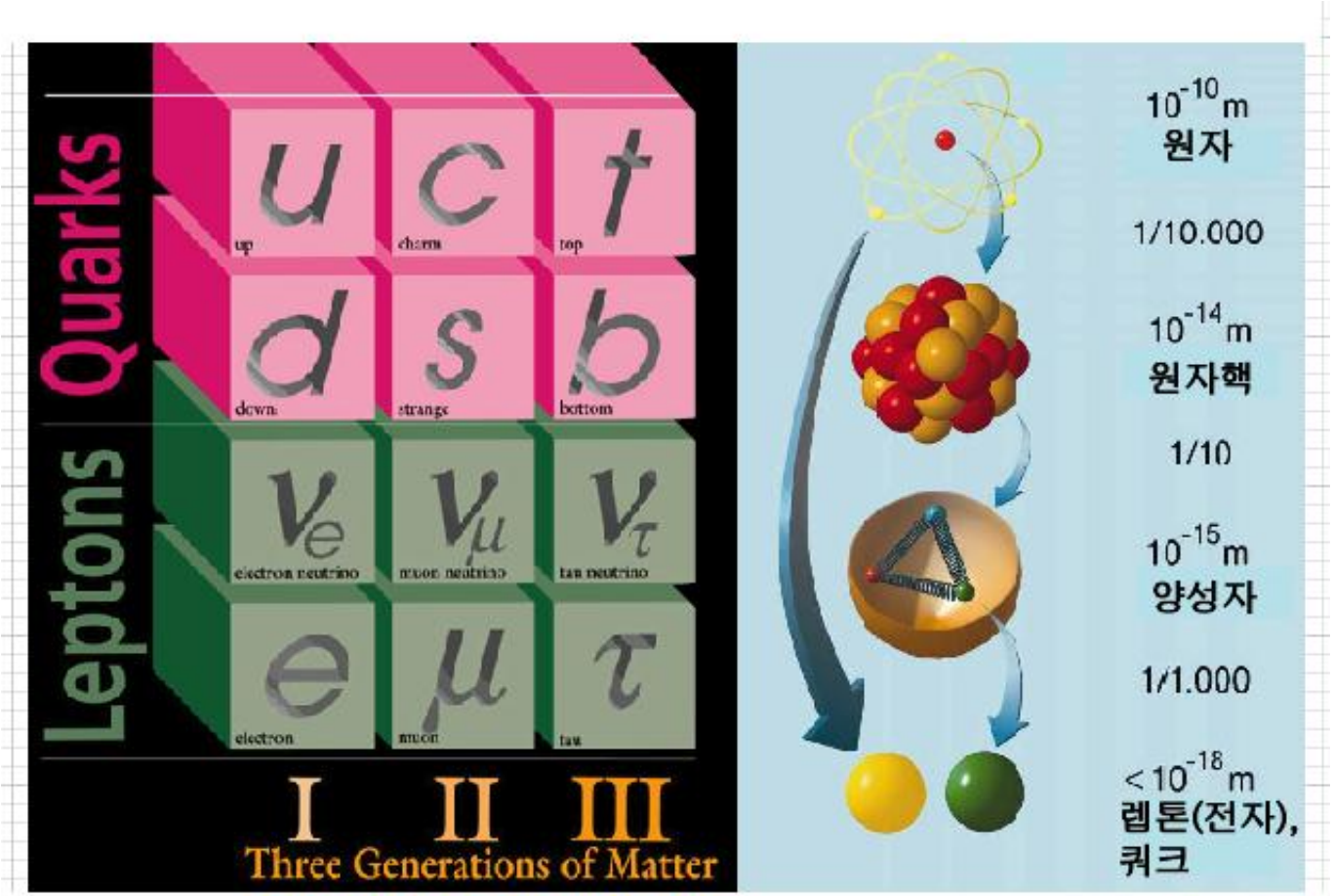
➔ 암흑에너지 = 암흑물질 + 일반물질 + 약 45%

우주배경복사를 통해 측정된 우주공간의 평평한 정도 :

➔ 암흑물질 + 암흑에너지 + 일반물질 = 100 %

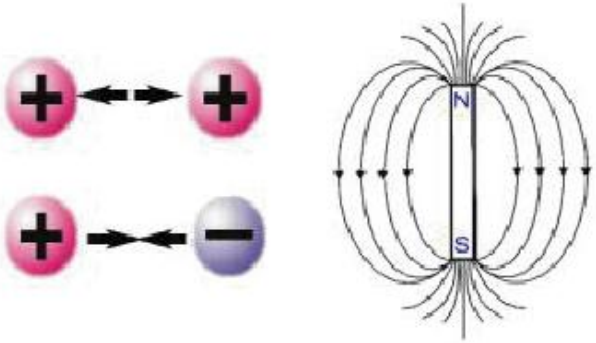
현재까지 관측된 영역에 대한 자연법칙 (Basic Rule)

물질 (암흑물질 제외)

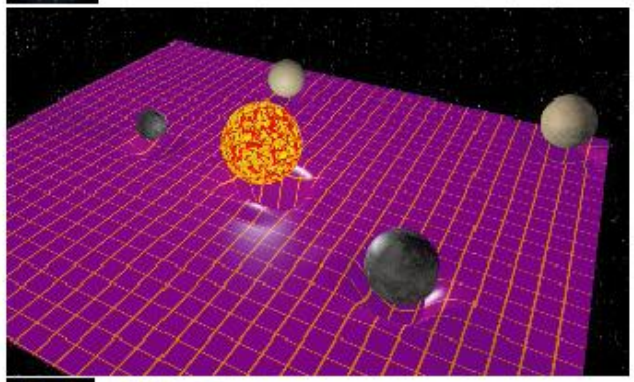


힘

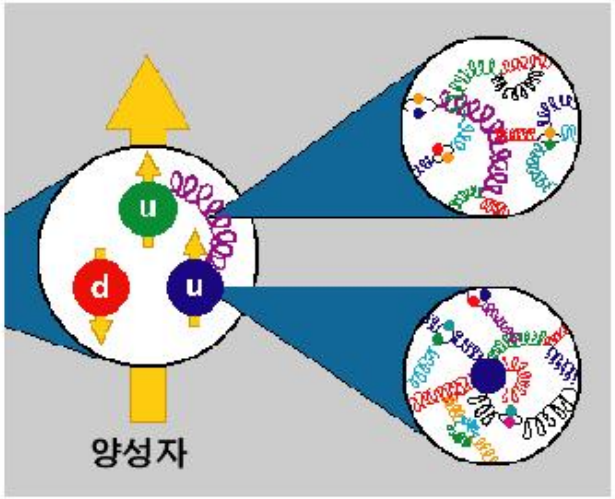
전자기력



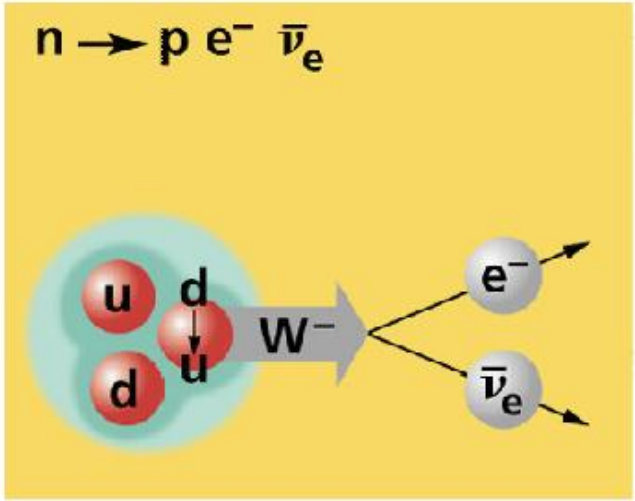
중력



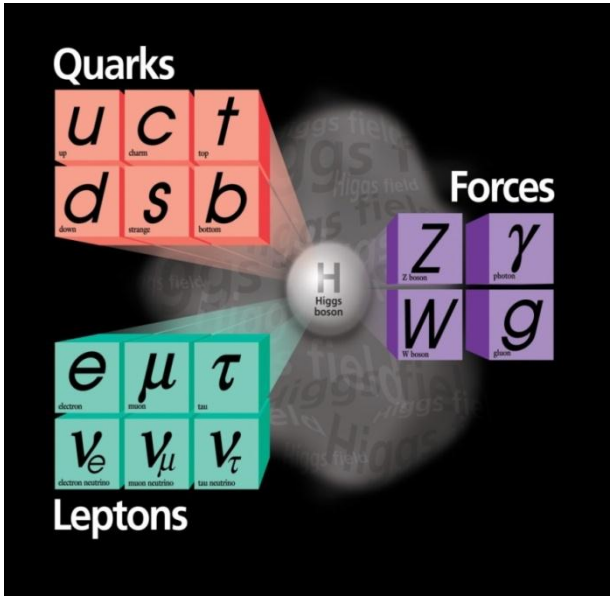
강력



약력



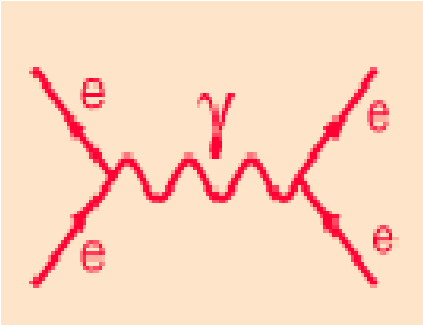
◆ 전자기력, 강력, 약력에 대한 표준이론



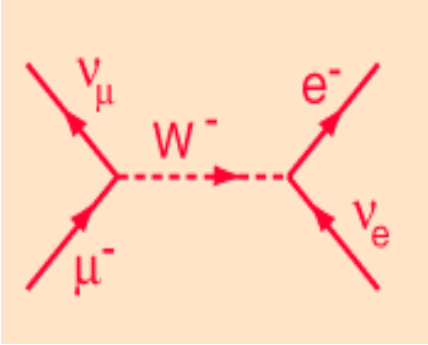
물질을 구성하는 쿼크 및 렙톤

힘을 전달해주는
광자(빛), Z/W 보존, 글루온

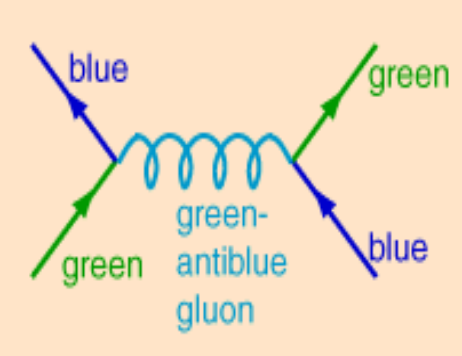
모든 입자들에게 질량을 제공해주는
막후 실력자 힉스보존



전자기력



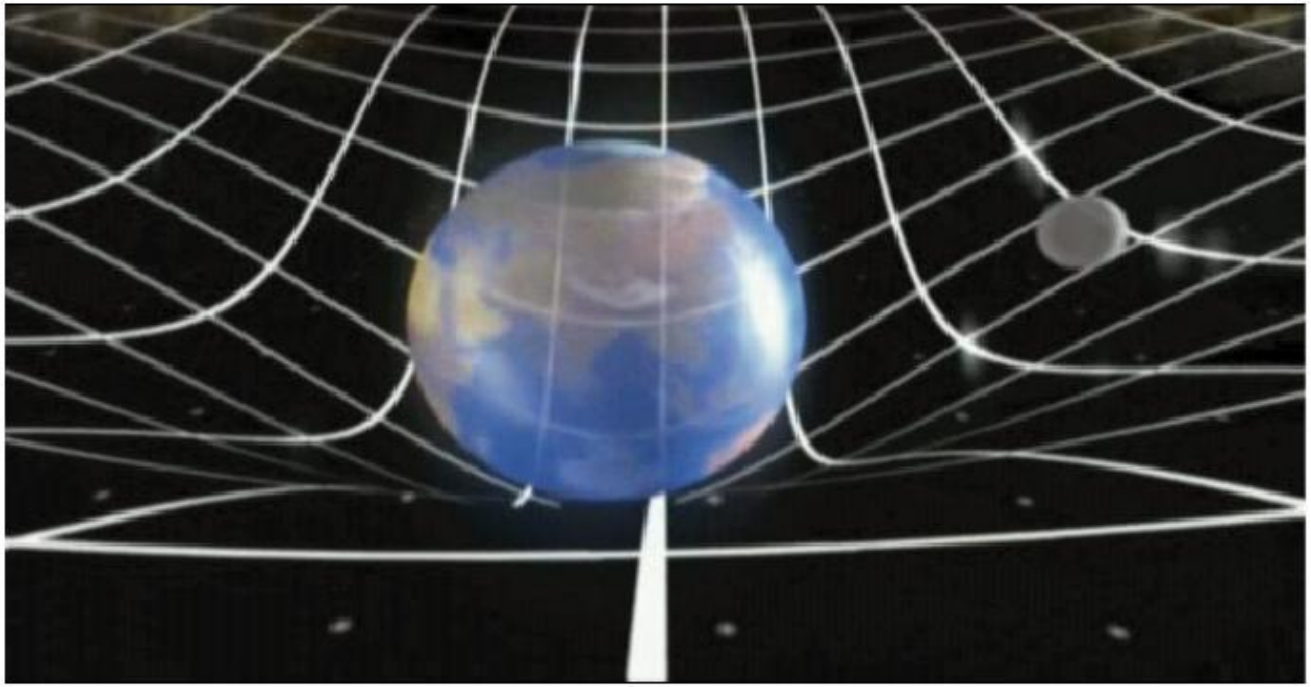
약력



강력

◆ 중력에 대한 일반상대성 이론

* 중력 : 시공간의 구부러짐 효과



표준이론과 일반상대성이론은 우리 우주의 몇가지 현상(암흑물질, 물질/반물질 비대칭성)을 제외한 모든 다른 자연현상들에 대해 "과학적 설명의 연결고리"를 통한 이론적 기반을 제공해주고 있다.

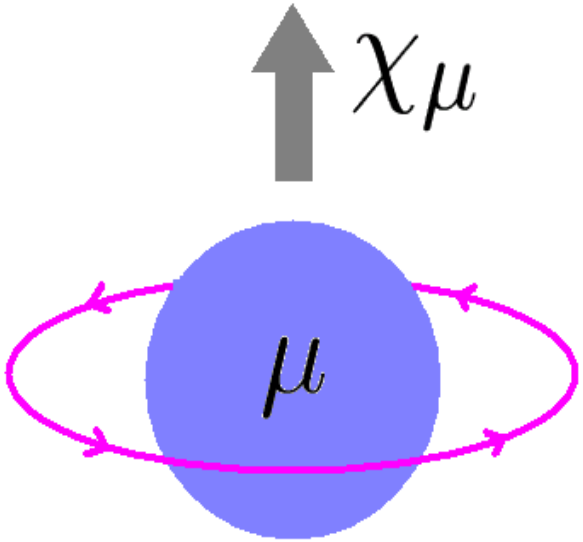
그 뿐 아니라 표준이론과 일반상대성이론이 직접 설명을 해주는 입자물리 현상이나 우주천문 현상들에 대해서는 놀라울 정도의 정확도를 보여주고 있다.

➔ 역사상 전례가 없는 성공적인 이론

표준이론과 일반상대성이론 예측의 정확도

◆ 뮤온입자의 자기쌍극자

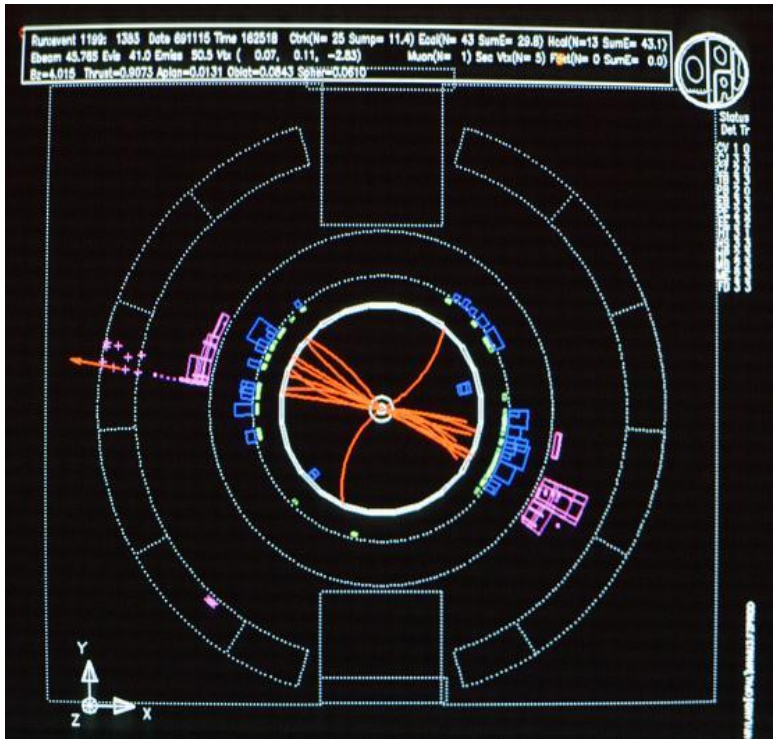
10^{-18} m 거리까지의 전자기력+약력+강력 효과

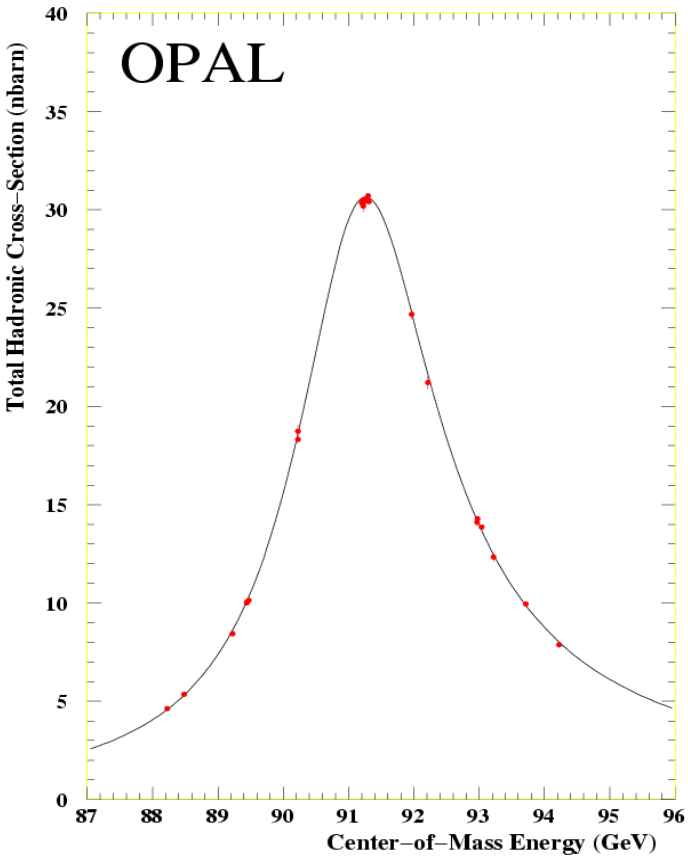


이론값 : 1.0011659186+ 0.0000000008
실험값 : 1.0011659203+ 0.0000000008

◆ 전자-양전자쌍의 강입자로의 소멸

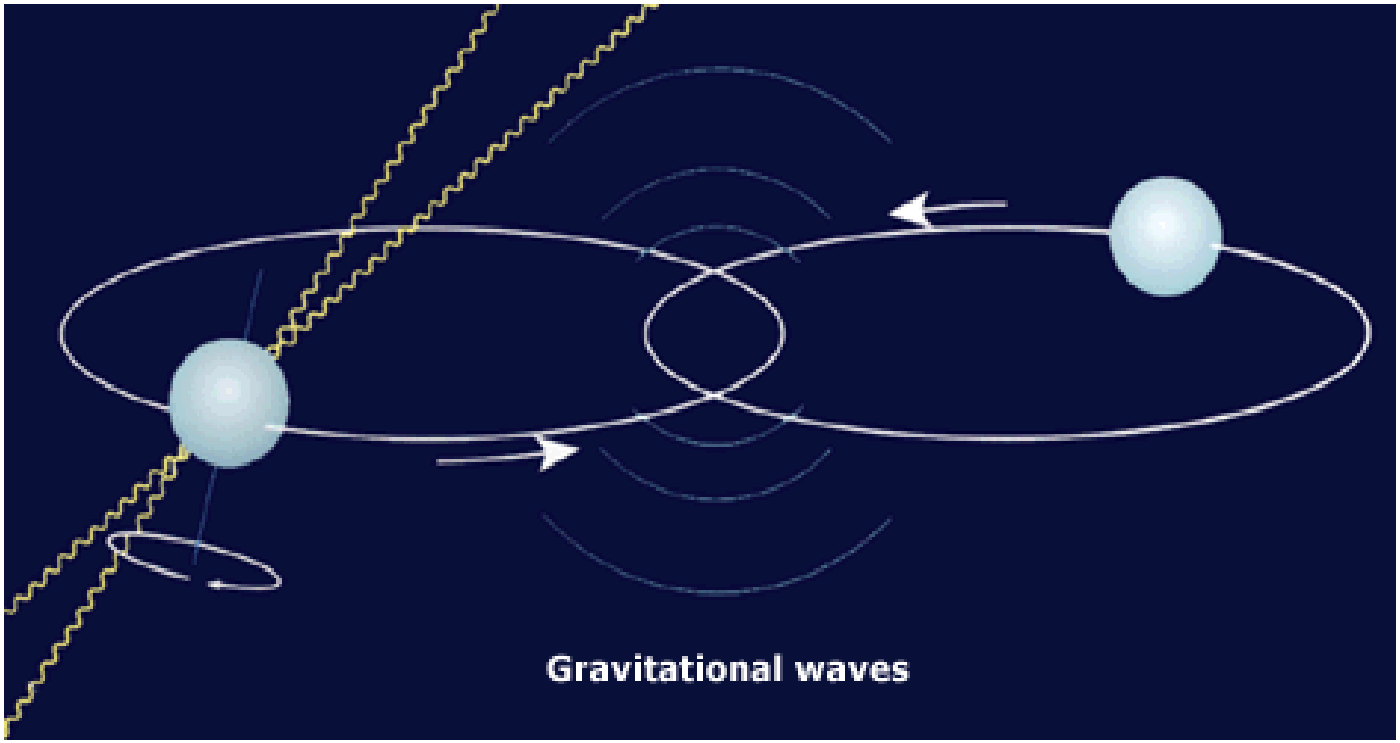
10^{-18} m 거리에서의 전자기력+약력+ 강력 효과





◆ 이중펄서의 공전주기

중력파 방출로 인한 공전주기 감소



거리 = 지구와 달 사이 거리 , 공전주기 = 약 8 시간

공전주기의 감소율 : 이론값 (2.40243 +- 0.00005) x 10^{-12}

관측값 (2.408 +- 0.011) x 10^{-12}

비록 표준이론과 일반상대성이론이 방대한 자연현상에 대해 정확한 설명을 해주는 역사상 전례가 없는 성공적 이론이지만

* 암흑물질은 설명하지 못하며,

* 암흑에너지를 일반상대성이론의 우주상수로 나타낼 수 있지만 그 근원에 대한 어떤 설명도 주지 못하며,

* 왜 우주에 반물질은 사라지고 물질만 남게 되었는지를 설명해주지 못하며,

* 중력에 대한 양자역학적 이론을 제공해주지 못하며,

* 서로 다른 힘들에 대한 통일된 이론을 주지 못하며,

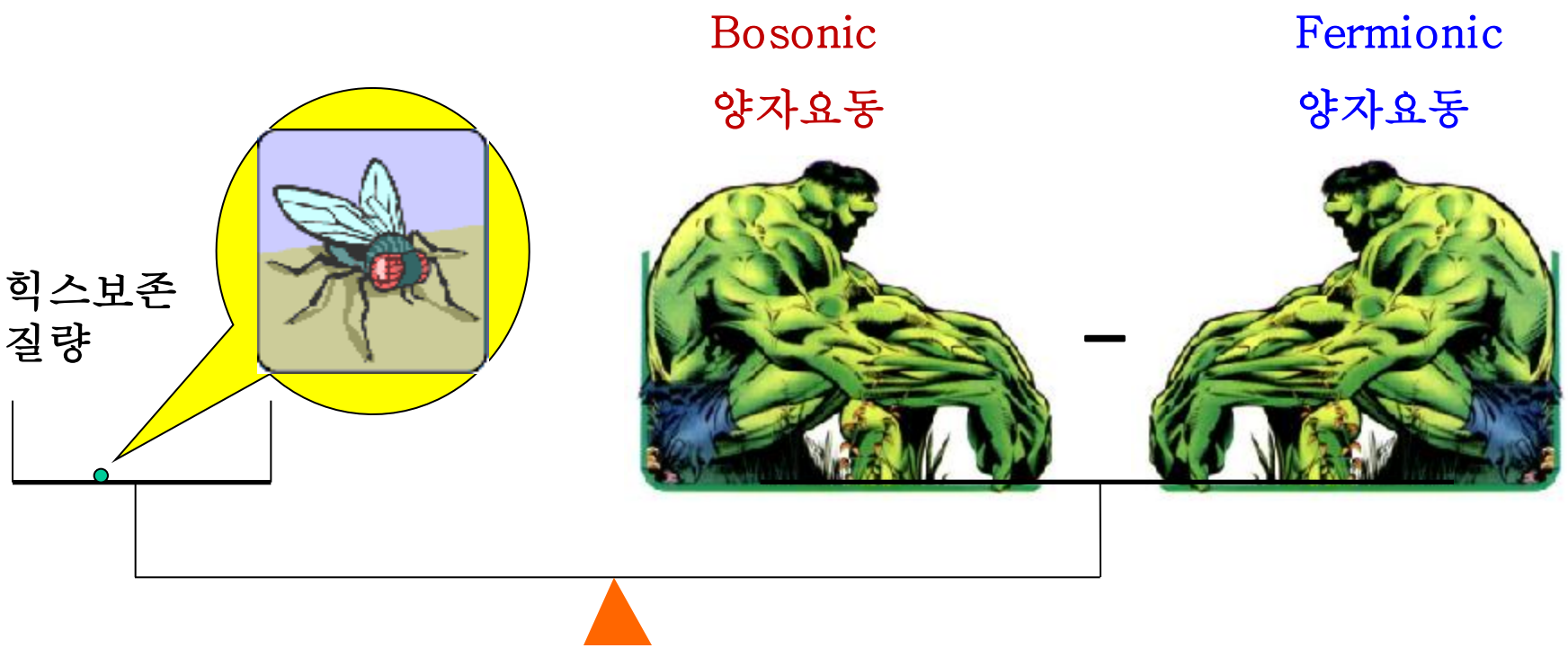
* 알려진 모든 입자 질량의 근원이 되는 힉스 보존의 질량을 제대로 얻기 위해서는 매우 부자연스러운 조정이 필요하며,

……

힉스질량 미세조정 문제

필요한 만큼의 힉스 보존 질량을 얻기 위해서는 서로 다른 두 효과 사이의 극도로 정확한 상쇄가 필요하다.

$$1000000000000000000000000000000001$$
$$- 1000000000000000000000000000000000 = 1$$



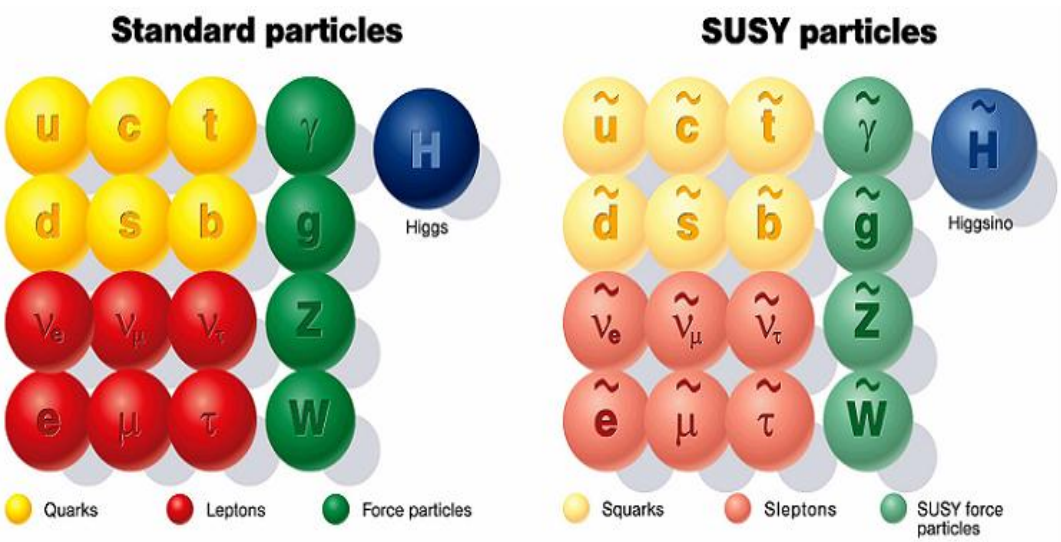
암흑물질 문제, 대통일이론 문제, 힉스질량 미세조정 문제 등은 표준모형을 넘어서는 새로운 물리법칙이 LHC 가 탐사할 예정인 10^{-19} m 세계에 존재하리라는 것을 강력히 암시하고 있다.

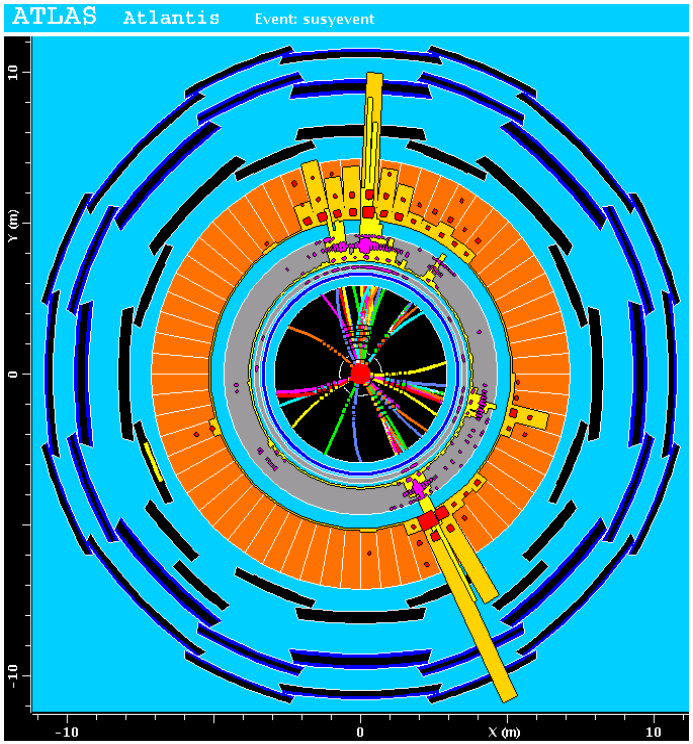
1st mission of LHC : 아직 발견되지 않은 표준모형의 마지막 부분인 힉스 보존 발견

Next mission : 표준모형을 넘어서는 새로운 물리현상 발견

예: 암흑물질을 제공해주며, 힉스질량 미세조정 문제를 해결해주며,

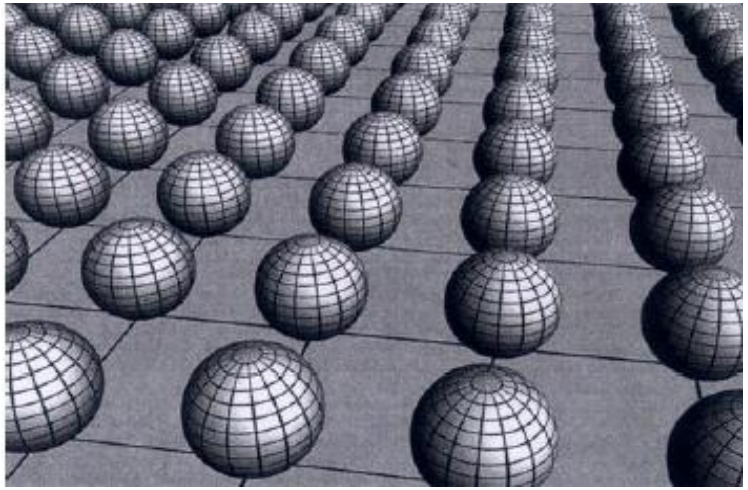
전자기력, 약력, 강력의 대통일을 가능케 해주는 초대칭(Supersymmetry) 입자



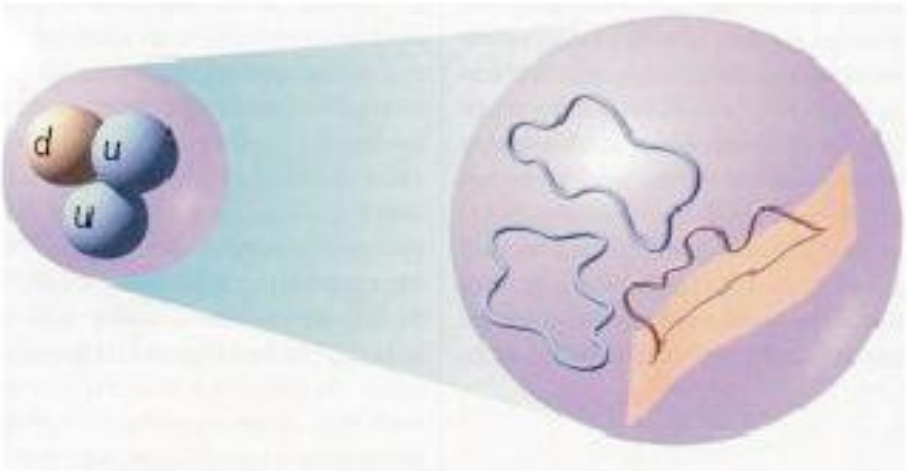


LHC 실험을 통해 새로운 물리학이 발견된다면 이는 "물질과 시공간의 근본적 구조" 및 "우주의 기원"에 대한 우리의 이해를 한차원 높여줄 뿐 아니라 궁극의 자연법칙에 대한 중요한 단서를 줄 것이다.

새로운 공간차원 ?



초끈 ?



감사합니다.