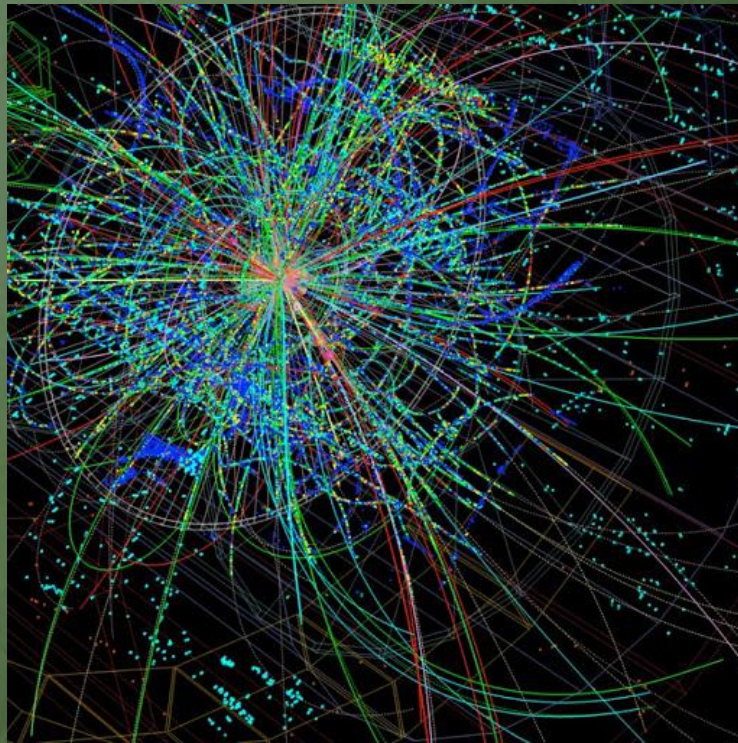


15장 소리심자



작은 세기전의 여행



원천/배경

source/background

힘/장

force/field

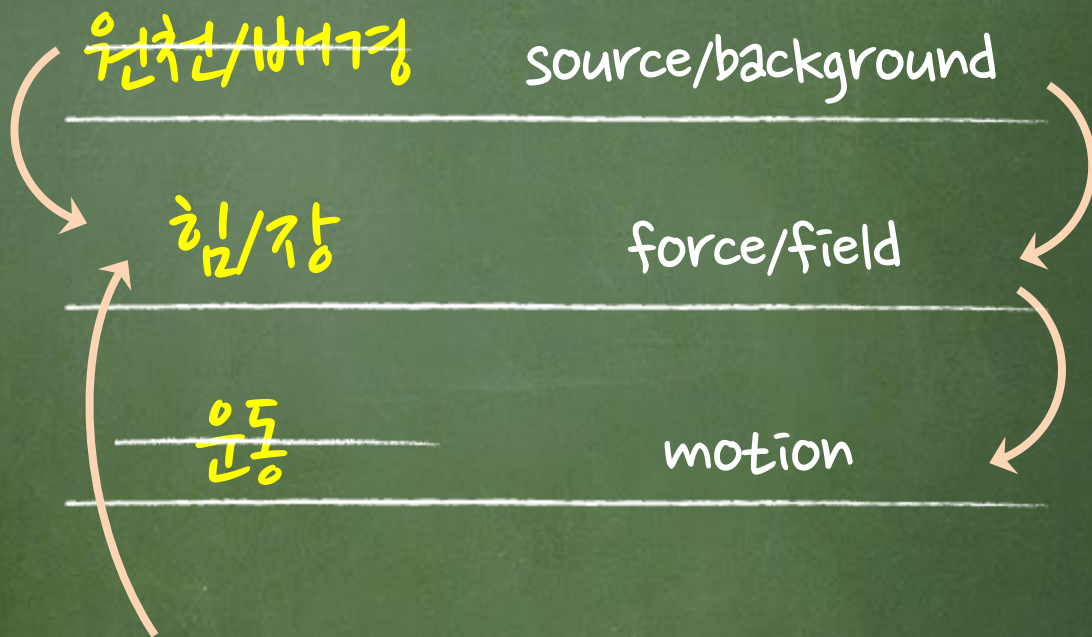
장 방정식
field equation

운동

motion

운동 방정식
equation of motion

배경도 장으로 기술할 수 있다.



입자도 장으로 기술할 수 있다.

질문1: 어떤 종류의 장/입자가 있는가?

질문2: 장/입자는 어떤 상호작용을 하는가?

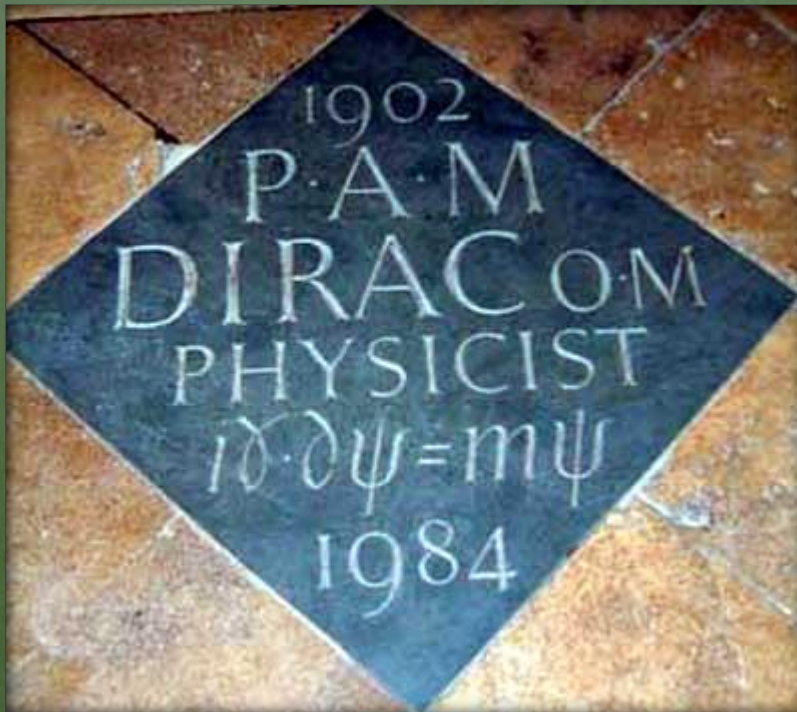
다양한 입자들

디랙(Dirac)의 질문



슈뢰딩거 방정식은 왜
시간과 공간을 다르게
취급하는가?

상대론적 양자역학



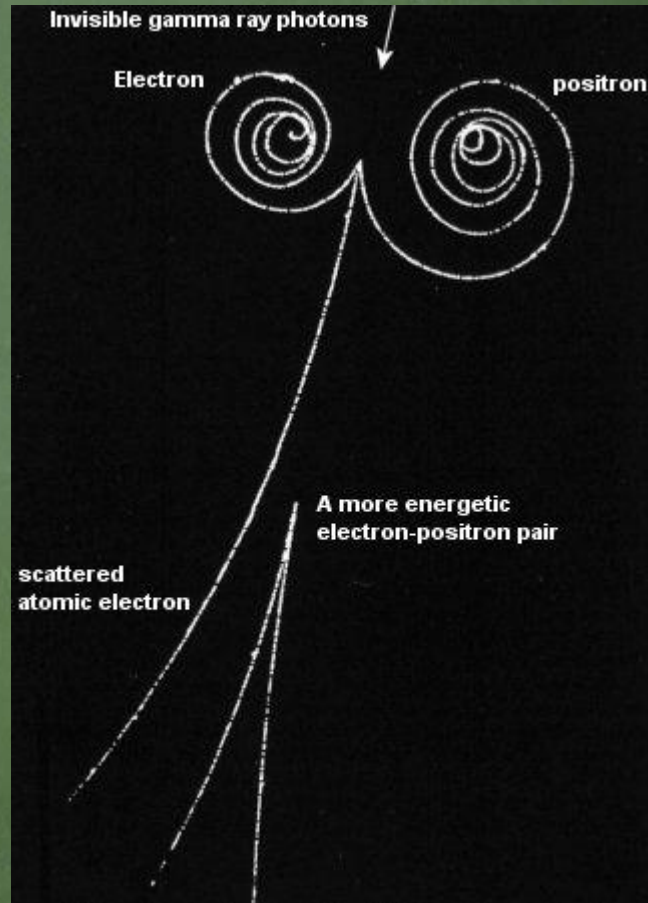
스핀

보존 (Boson): 스핀이 정수 ($0, 1, 2, \dots$)

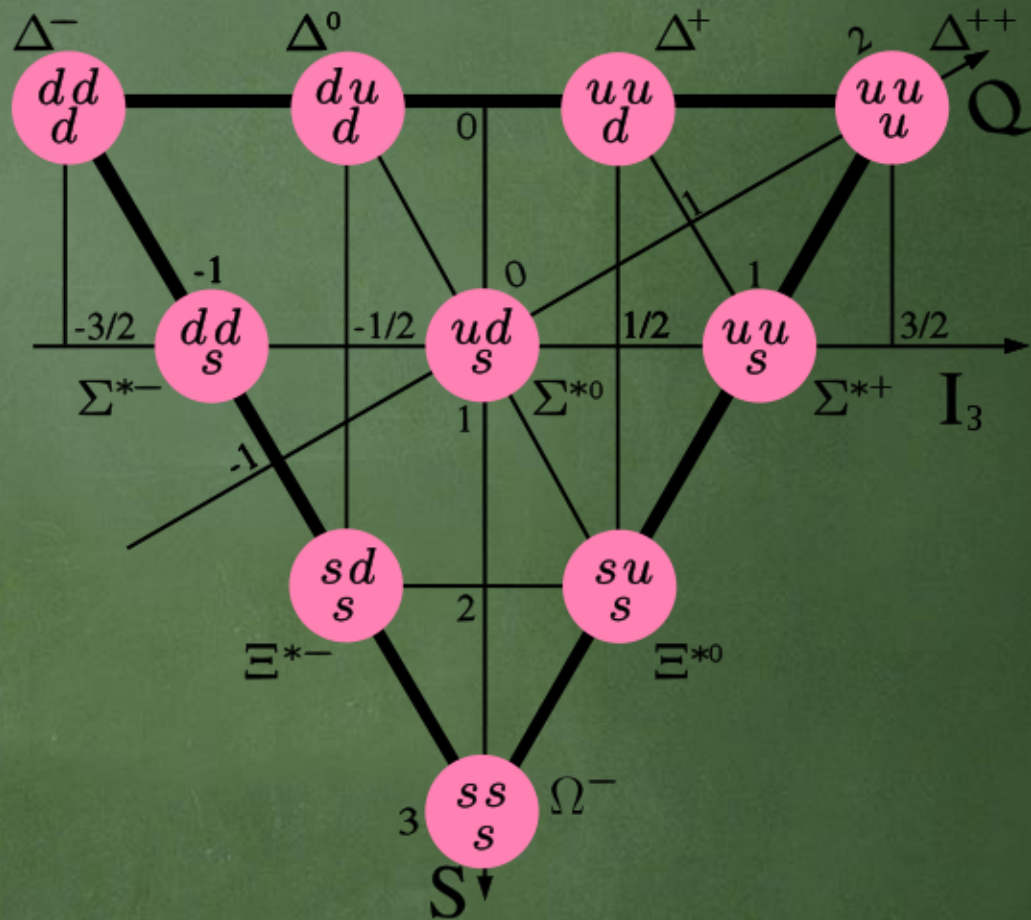
페르미온 (Fermion): 스핀이 반정수 ($1/2, 3/2, \dots$)

초대칭 (Supersymmetry): 보존과 페르미온 사이의 대칭성?

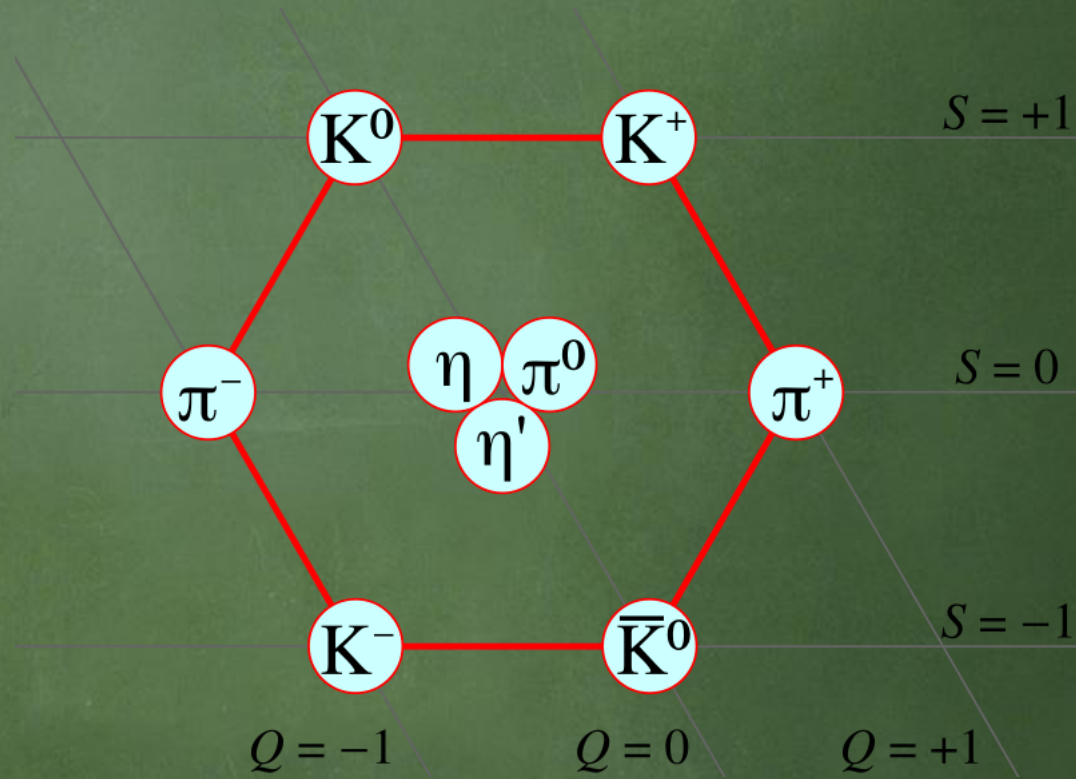
반입자의 발견



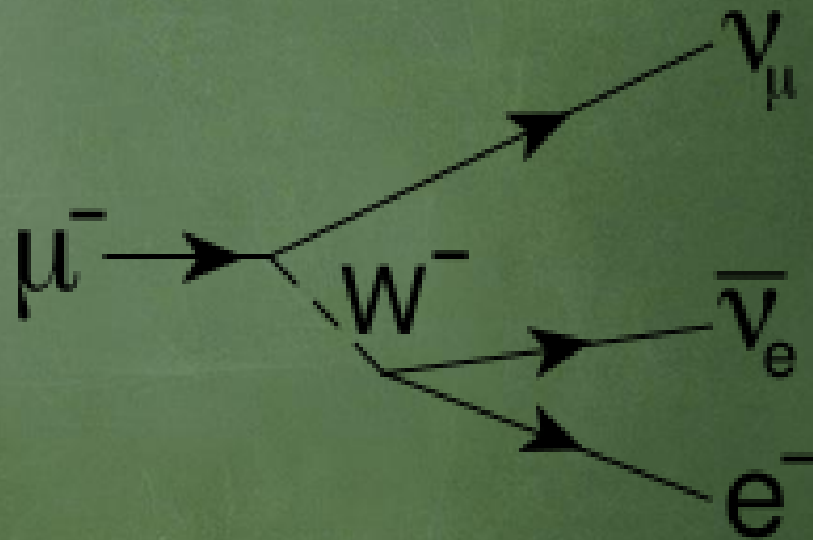
입자 실험의 르네시앙스 (중입자)



입자쌍의 쿼크 구성 (중간자)



입자실험의 르네시옹스 (가정입자)



입자 상호작용의 큰 그림

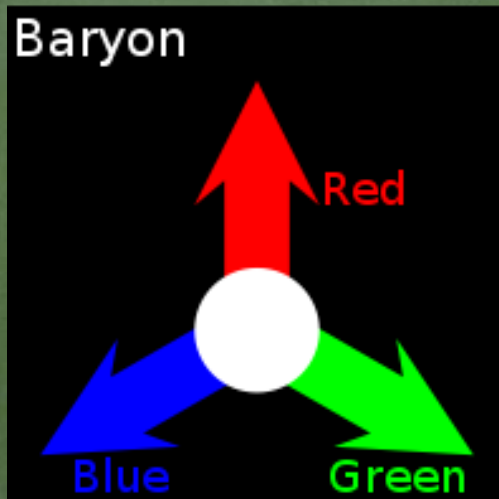
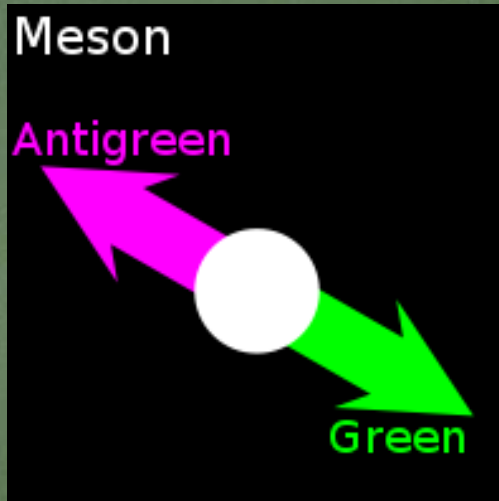
중입자 (Baryon)

중간자 (Meson)

경입자 (Lepton)

강입자 (Hadron)

쿼크 모델



머레이 겔만

양자 색 역학

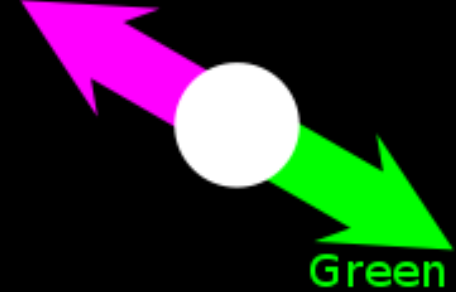
쿼크가 기본 구성 입자

쿼크는 색을 가지고 있다.

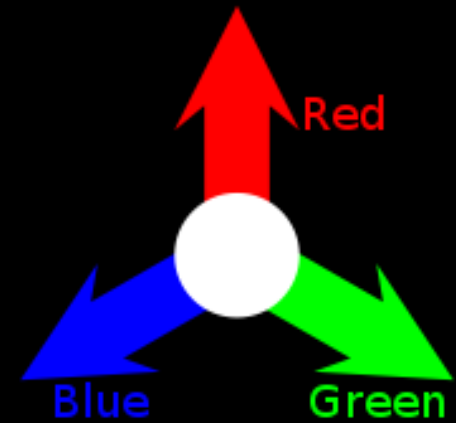
쿼크는 세 가지 색이 합쳐지거나,
색과 반색의 합으로 반드시 무색이어야 한다.

Meson

Antigreen



Baryon



표준모형

Standard Model of Elementary Particles

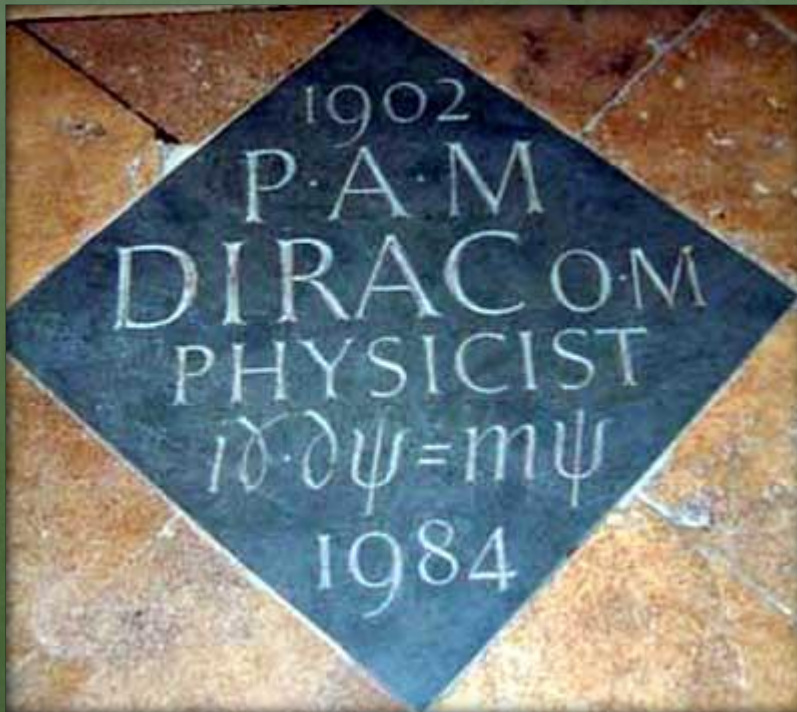
three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)		
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
QUARKS	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

SCALAR BOSONS

GAUGE BOSONS
VECTOR BOSONS

다양한 상호작용들

상호작용을 이해하는 방법



상호작용을 이해하는 방법

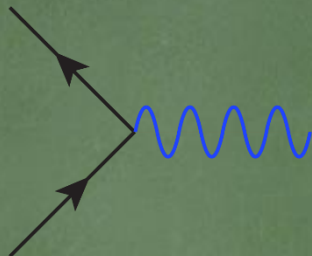
1. 슈뢰딩거 방정식을 직접 푼다: 비섭동적 방법
2. 우리가 관찰하는 기대값을 목표로 계산한다: 섭동적 방법

상동적 방법

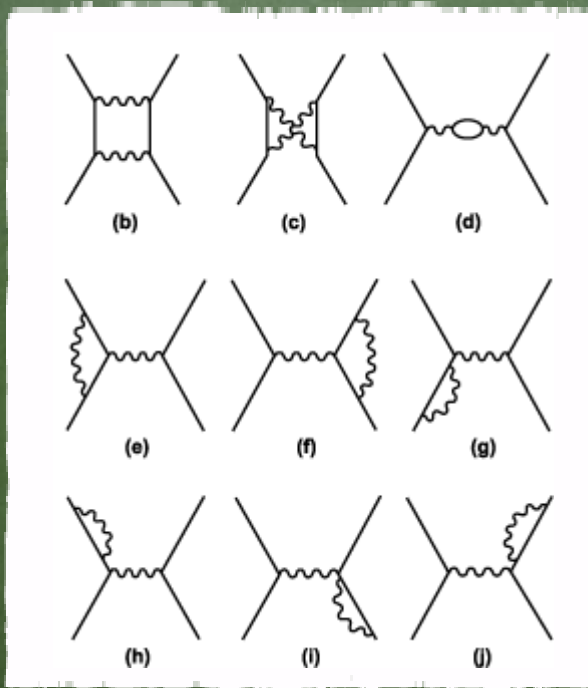


테트리스의 블록을 쌓아서 건축물을 만들듯이,
기본적인 상호작용을 조합해서 복잡한 상호작용을 구성한다.

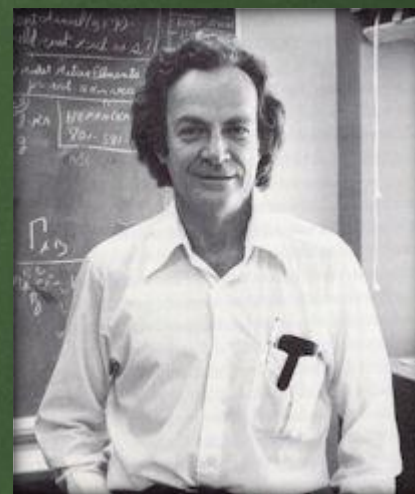
파인만 도형



기본 도형

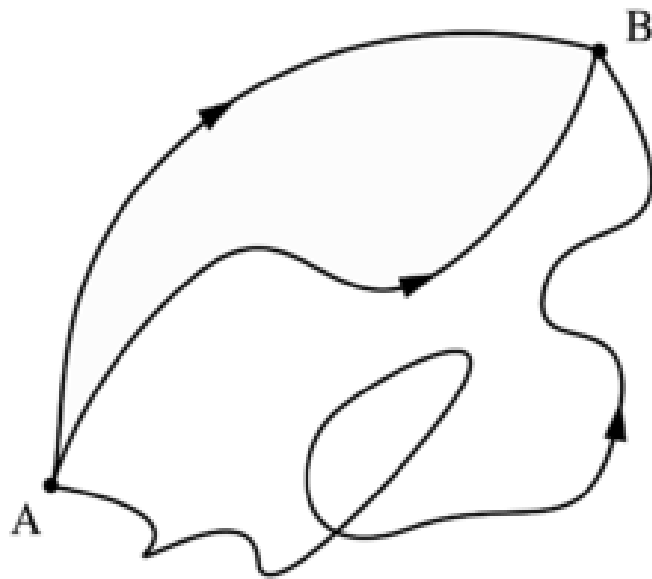


다양한 조합



리처드 파인만

경로적분



상태 A에서 B까지 가는
모든 가능한 경로를 더해서
확률을 계산한다.

상동적 방법



테트리스의 블록을 쌓아서 건축물을 만들듯이,
기본적인 상호작용을 조합해서 복잡한 상호작용을 구성한다.

심동적 방법

심동적 방법은 다음 두 단계로 연구할 수 있다.

1. 존재하는 모든 입자/장에 대한 기본 상호작용을 구한다:
테트리스의 기본 블록들
2. 경로적분을 통해 우리가 원하는 조건에 대한 모든 조합
을 더한다: 블록으로 건축물 만들기

임자 + 상호작용

상호작용

자연에는 네 가지 상호작용이 있다.

1. 강한 상호작용: 글루온
2. 약한 상호작용: W/Z 입자
3. 전자기 상호작용: 광자
4. 중력: 중력자

상호작용 + 입자

자연에는 물질을 구성하는 기본 입자들이 다음과 같다.

1. 쿼크: 글루온에 의해 강한 상호작용을 한다
2. 렙톤: 전자, 뉴트리노 등
3. 게이지 입자: 상호작용을 매개 (글루온, W/Z, 광자)
4. 힉스 입자: 입자에 질량을 부여
5. 중력자
6. 각각의 반입자
7. 각각의 초대칭입자(?)

상호작용이 동시에 일어날 때

1. 강한 상호작용: 글루온
2. 약한 상호작용: W/Z 입자
3. 전자기 상호작용: 광자
4. 중력: 중력자

전자기력-약력 통일

전자기력-약력 통일 + 양자 색 역학 = 표준모형

표준모형

Standard Model of Elementary Particles

three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)		
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
QUARKS	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	

SCALAR BOSONS

GAUGE BOSONS
VECTOR BOSONS

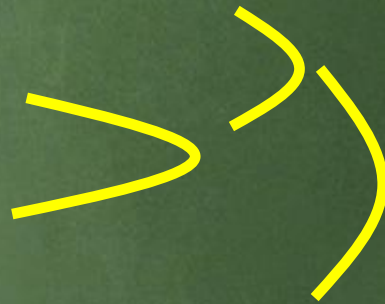
상호작용이 동시에 일어날 때

1. 강한 상호작용: 글루온
2. 약한 상호작용: W/Z 입자
3. 전자기 상호작용: 광자
4. 중력: 중력자

대통일 이론?

상호작용이 동시에 일어날 때

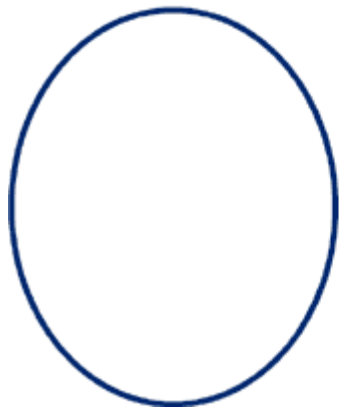
1. 강한 상호작용: 글루온
2. 약한 상호작용: W/Z 입자
3. 전자기 상호작용: 광자
4. 중력: 중력자



양자중력이론
또는 끈의 이론?

양자중력이론의 후보: 끈 이론?

closed string



open string

