

High Energy Experiments

prepared by

Seonho Choi

Seoul National University

Topics in High Energy Physics

Sep 14, 2004

Method in High Energy Physics

→ Goals

- Search for new states (*or* particles)
- Measure their properties
- Study the interaction between particles
- Study the internal structure of composite particles

→ In general, use *collision* experiments

- $e^+ + e^-$ annihilation \rightarrow energy \rightarrow matter
- proton + *anti* proton
- $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$: creation of early universe
- use *probes*: γ , e^- , μ^- , ν *etc.*
- hadron beams: p , n , π , K *etc.*

Tools

beam target detector

→ beam

- Most of the time, use the *accelerator*
- Natural source (cosmic rays, solar, atmospheric neutrinos)
- Nuclear reactor
- Radioactive sources (limited to low energy)

→ target

- Solid targets: gold foil, carbon foil, etc.
- Liquid targets: waterfall, LH₂, LD₂, water (ν)
- Gas targets: He
- Frozen NH₃, butanol

Detectors

→ Positions, directions

- Wire chambers (*or* drift chambers)
- Multi-wire proportional chamber (MWPC)
- Scintillating fibers
- Micro-strip detectors
- Scintillators

→ Momentum/Energy

- Magnetic field
- Calorimeters

→ Particle identification

- dE/dx
- Cerenkov
- Ring Imaging Cerenkov (RICH)

Detectors (Cont.)

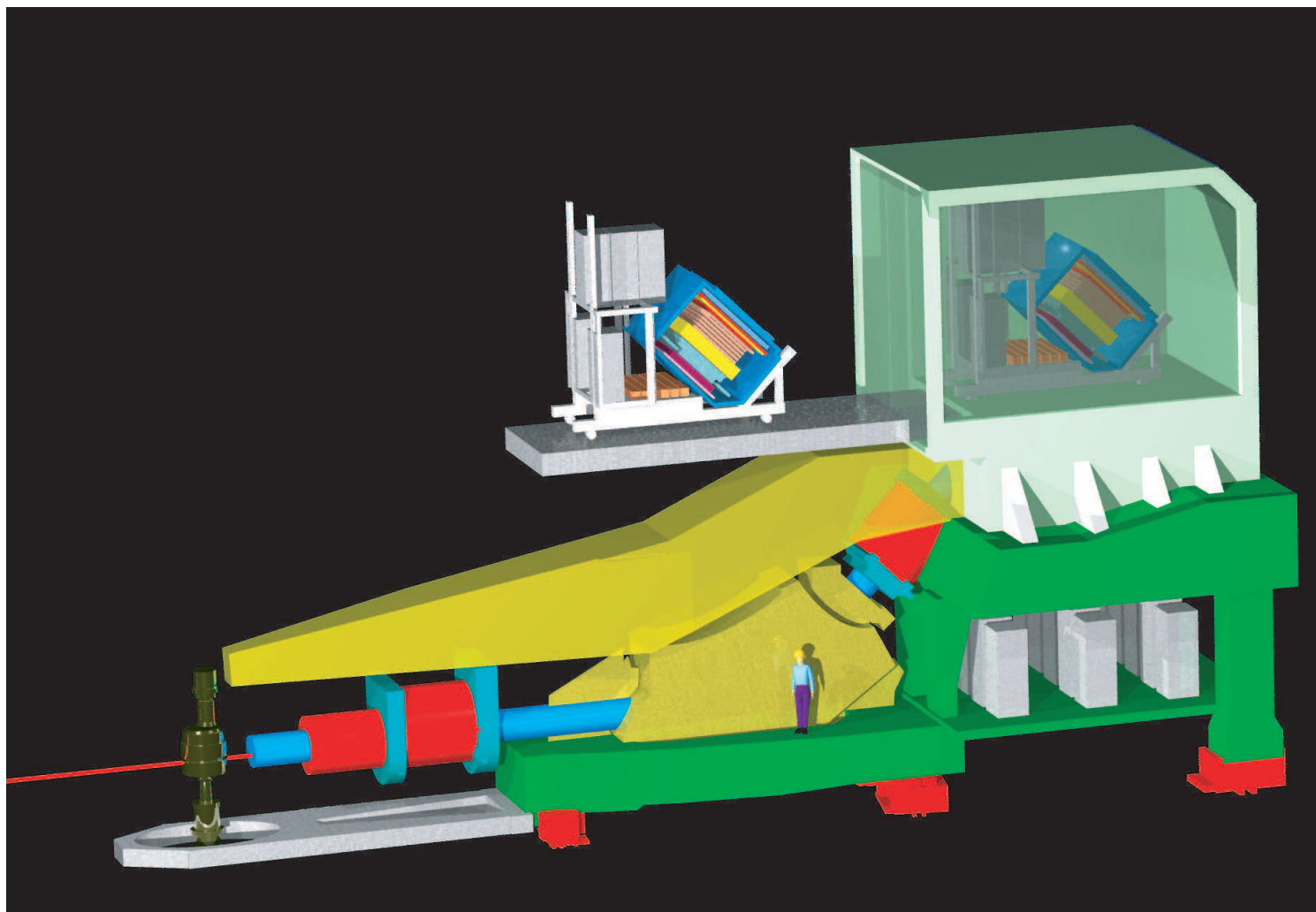
→ Photomultipliers

- Most of the time, particles passing through detector element generate *photons*
- *Photons* are converted to *electrons* using photo-electric effect
- *Electrons* are multiplied via successive acceleration giving a detectable signal at the end

→ Electronics

- Amplify, delay and shape signals from each detectors
- Make a *trigger* signal
- Convert amplitude or time to logic signal
- Store everything (almost) for future analysis

Jefferson Lab Hall A Spectrometer



jul31_halla1.gif (GIF Image, 590x396 pixels)

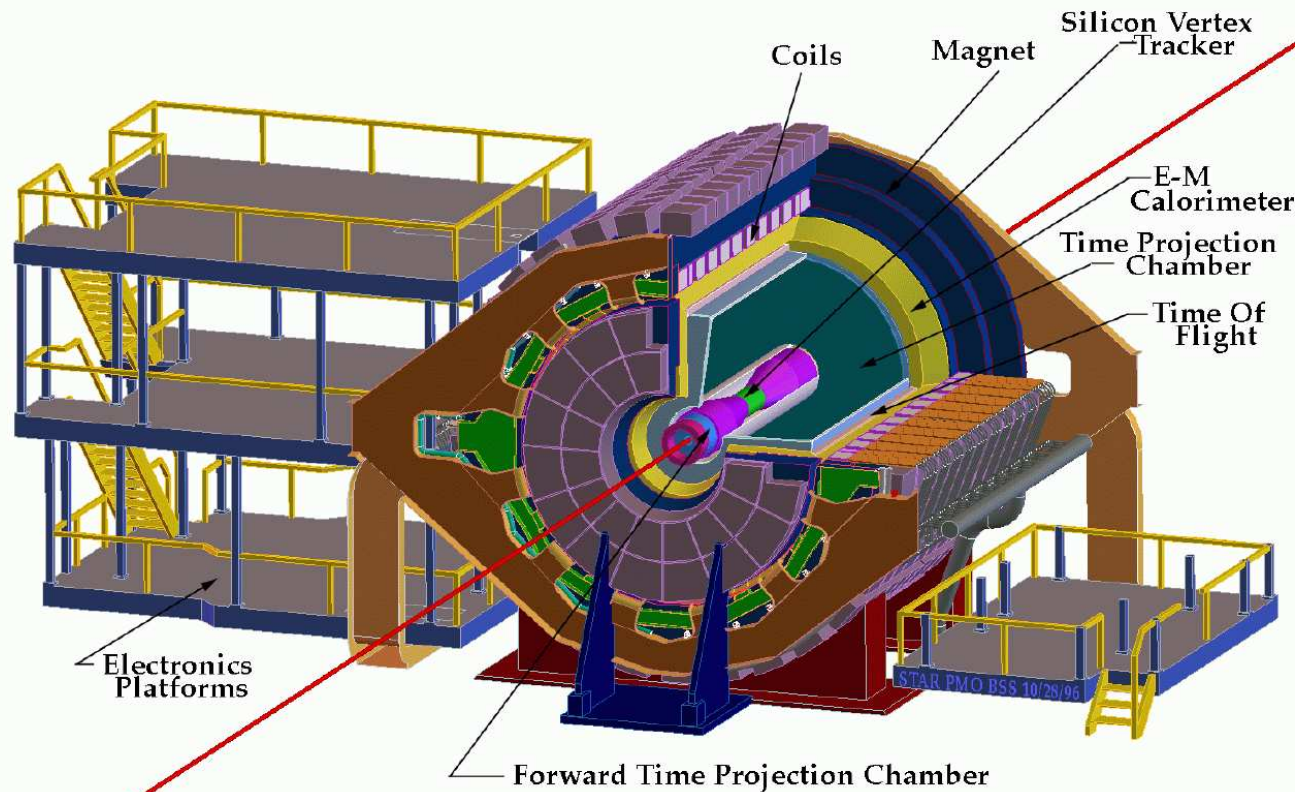
JLab Hall A Detector Stack

<http://hallaweb.jlab.org>



Brookhaven National Lab - STAR

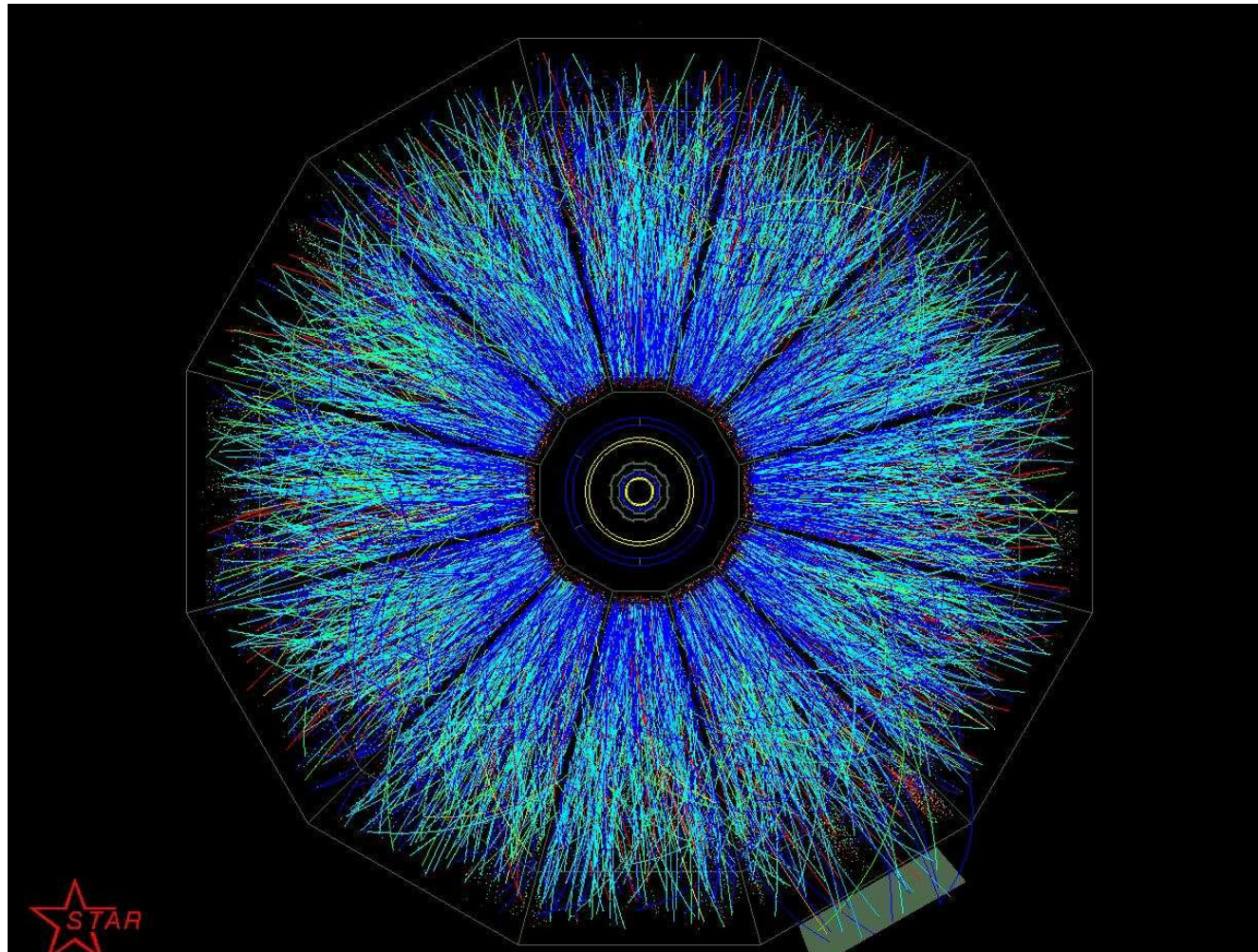
STAR Detector



Event reconstruction - STAR

ev2_front.jpg (JPEG Image, 1226x946 pixels)

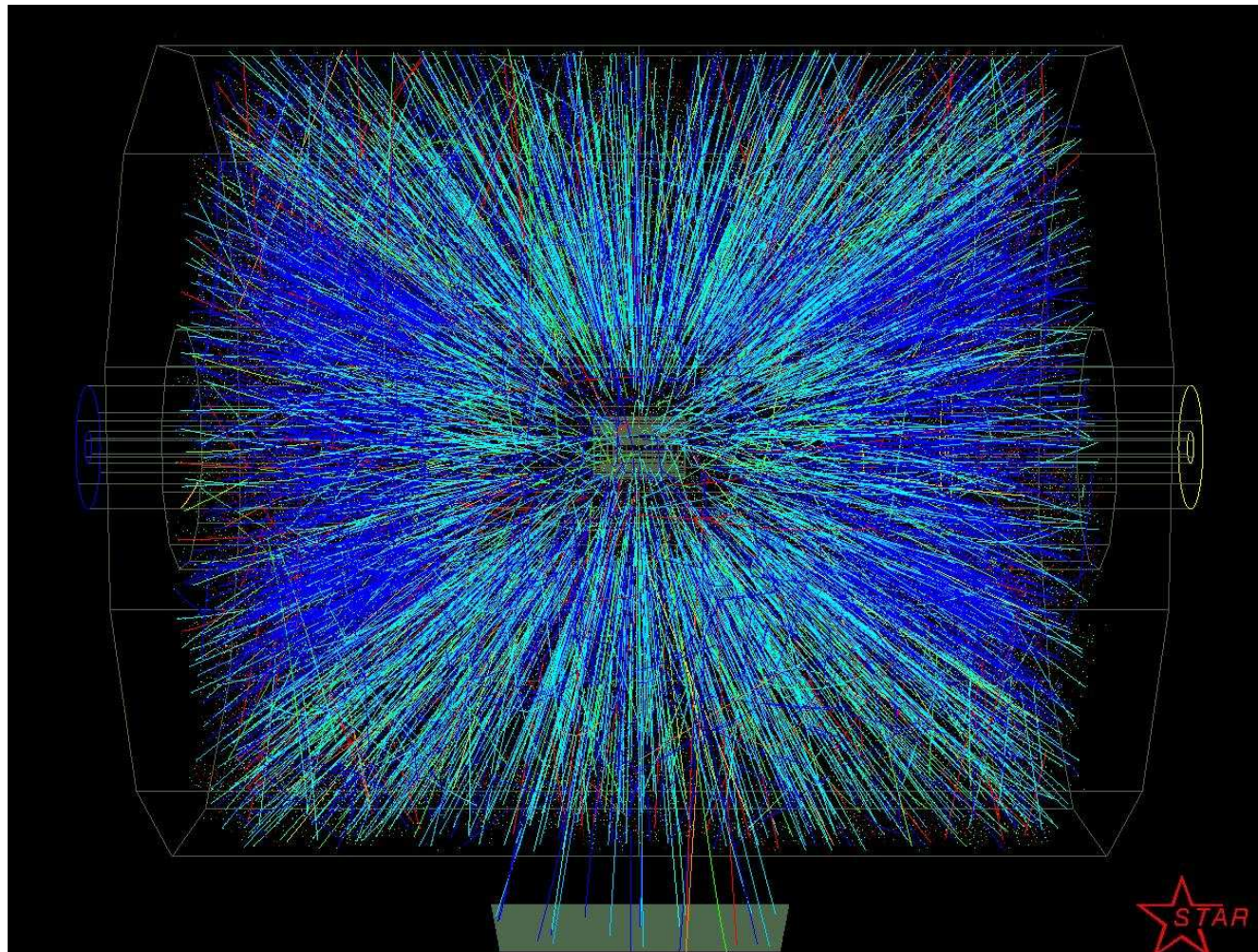
http://www.star.bnl.gov/STAR/imagelib/collisions2001/ev2_front.jpg



Event reconstruction - STAR

ev2_side.jpg (JPEG Image, 1226x946 pixels)

http://www.star.bnl.gov/STAR/imagelib/collisions2001/ev2_side.jpg



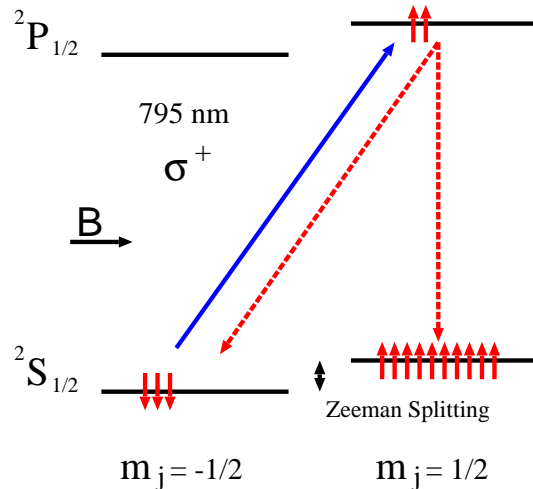
Accelerators

- Acceleration of charged particles using EM interaction
- 1 unit charge (e) by 1V \rightarrow 1 eV
- Static electric field
 - TV, computer monitor, X-ray machine: few kV
 - Van de Graaf - *Really* old technology
 - Tandem Van de Graaf - (서울대학교 공동기기원)
- Dynamic electric field
 - Cyclotron (국립암센터)
 - Linear Accelerator - Stanford
 - Linear Accelerator + Recycling - Jefferson Lab
 - Synchrotron - Most of the big accelerators (포항 방사광 가속기)

편극기체헬륨 - 개요

- 헬륨(^4He)의 동위원소인 ^3He 와 알칼리금속인 루비듐(Rb)을 이용
 - ^3He 은 두개의 양성자와 한개의 중성자로 구성
 - 바닥상태에서 두개의 양성자의 스핀은 서로 상쇄
 - 나머지 한개의 중성자의 스핀이 ^3He 의 스핀을 결정
- 레이저를 이용, 광 펌핑을 통하여 루비듐(Rb)원자를 편극화
- 루비듐원자는 ^3He 와의 충돌과정에서 ^3He 에게 스핀 전달
- 크세논 (Xe)기체로도 가능
- 편극기체들은 폐에흡입되어 자기공명촬영
- 편극헬륨은 실질적인 편극중성자표적으로 물리학에 이용

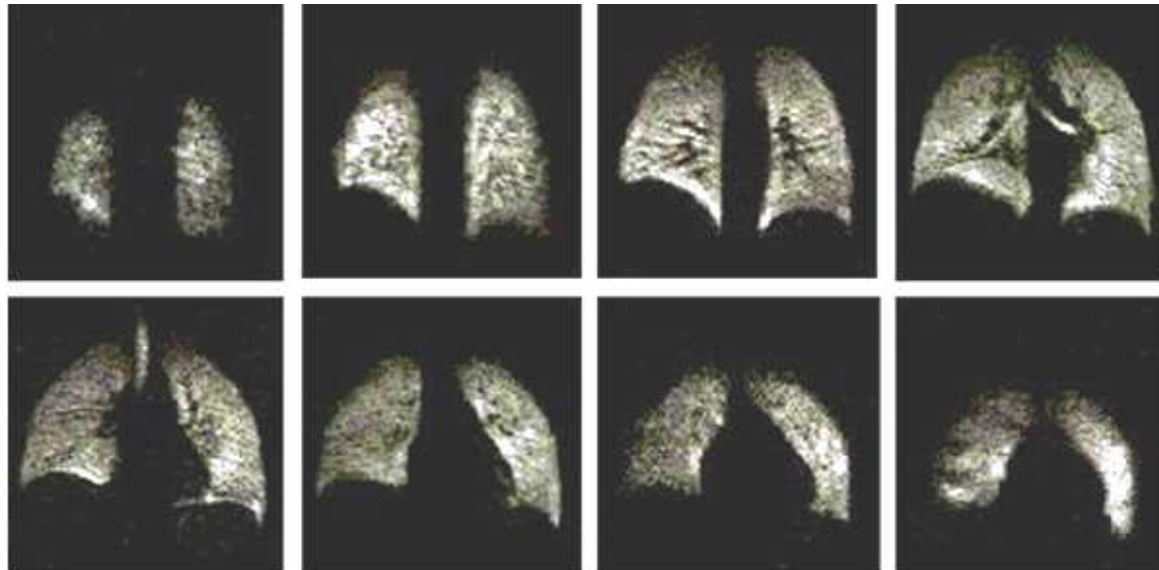
루비듦 원자의 광 펌핑



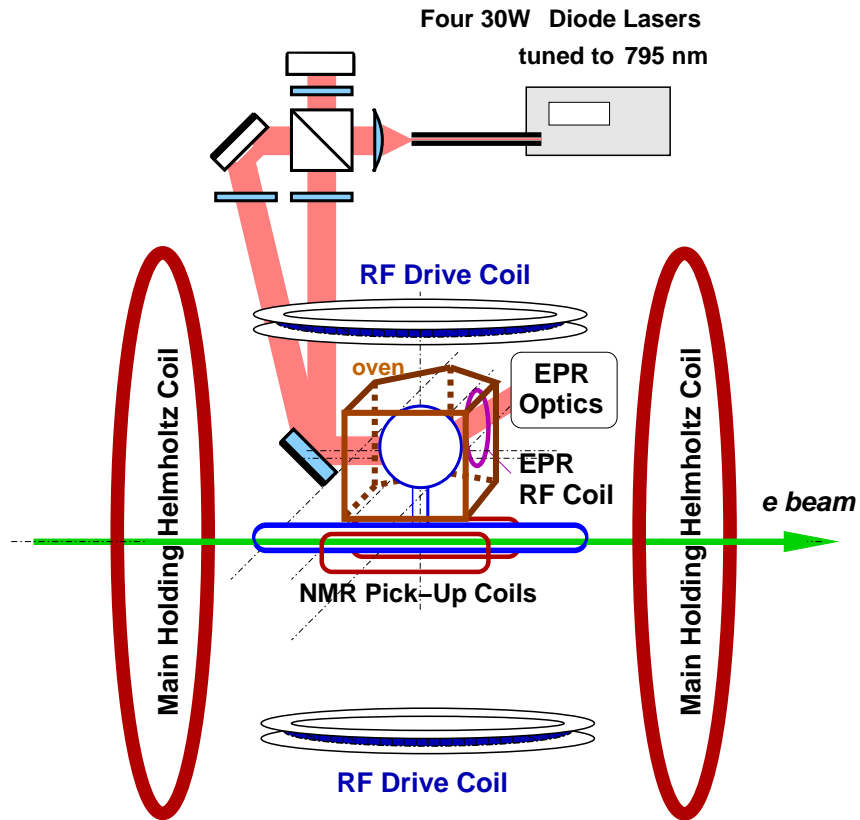
- 레이저를 비추기 전에는 전자들이 바닥상태 ($S_{1/2}$) 에서 50:50 으로 $m_j = -1/2$ 와 $m_j = +1/2$ 상태에 있음
- 각운동량 +1을 가진 레이저의 광자는 $m_j = -1/2$ 에 있는 전자를 $S_{1/2}$ 상태에서 $P_{1/2}$ 상태로 흥분 (청색화살표)
- $m_j = +1/2$ 에 있는 전자는 각운동량 보존 법칙에 의하여 $P_{1/2}$ 상태로 갈 수 없다 ($m_j = +3/2$ 가 필요)
- $P_{1/2}$, $m_j = +1/2$ 상태의 전자들은 50:50 으로 다시 $S_{1/2}$ 상태로 이동 (적색점선화살표)
- 이때 한번 $m_j = +1/2$ 상태로 이동한 전자들은 계속 그 상태에 머물게 된다
- 시간이 지나면 거의 모든 (약 99%) 전자들이 $m_j = +1/2$ 상태에 머물게 된다

편극기체헬륨의 이용 (의료분야)

- 기존의 자기공명촬영은 폐에서는 사용불가 (빈공간)
- 편극기체헬륨을 폐에 흡입후 자기공명촬영
- 선명한 고해상도 영상
- 실시간 움직임 관찰 가능
- 각종 폐질환 진단 용이

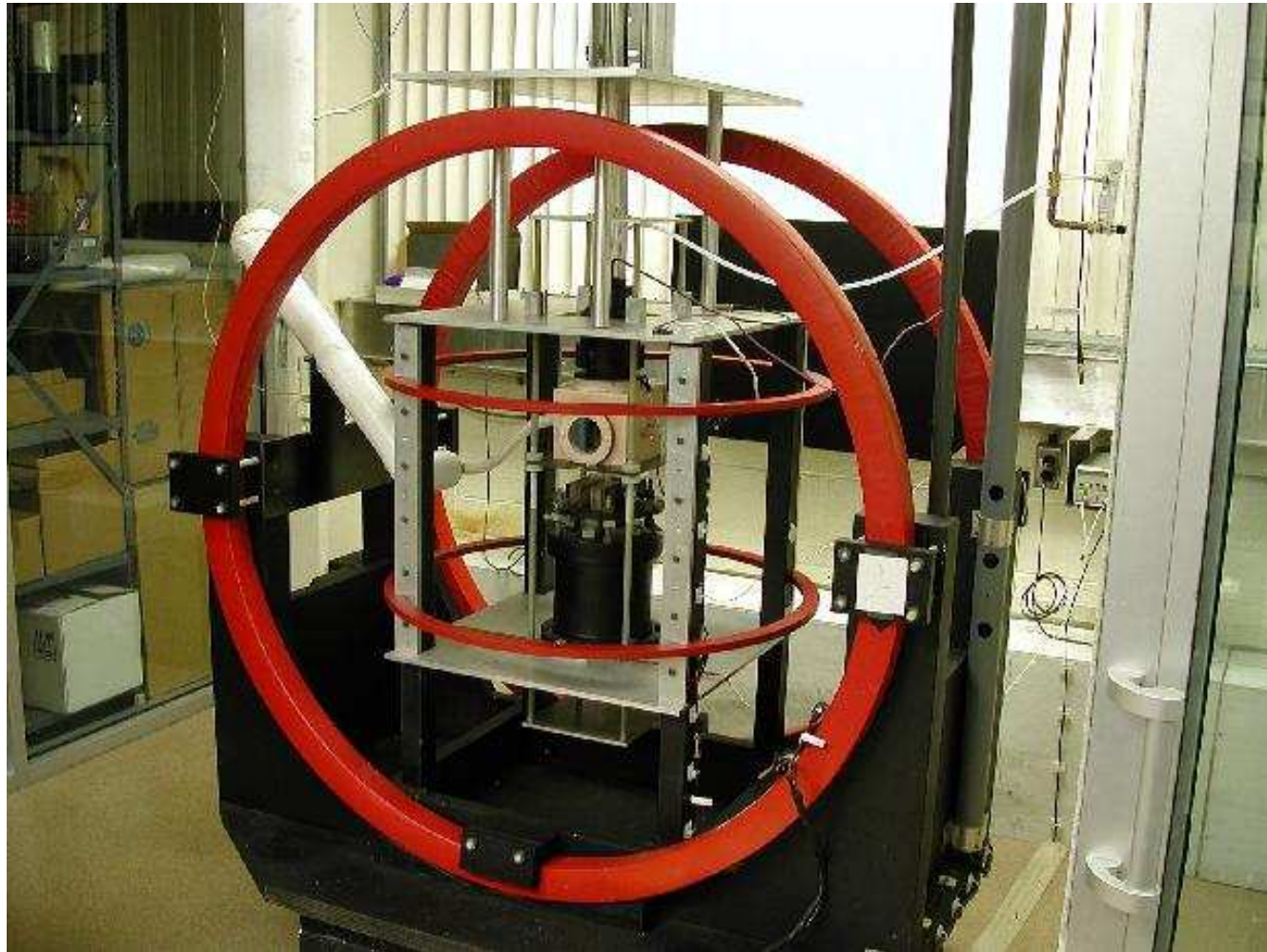


편극기체헬륨장치

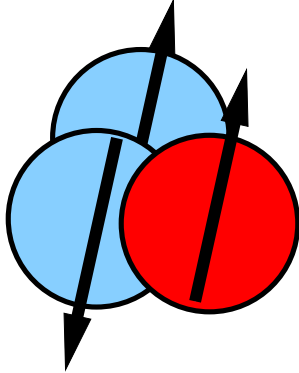


- 물리 실험용 장치의 개요도
- 좌우의 두개의 큰 코일은 편극 헬륨의 방향 유지
- 기체 헬륨과 루비듐을 가운데의 (청색) 유리로 만든 셀안에 밀폐
- 4개의 고출력 레이저는 광 펌핑용
- 그외의 장치들은 헬륨의 편극도 측정용

편극기체헬륨장치 (실제)



편극기체헬륨의 이용 (물리학)



- ^3He 핵의 구조 (화살표는 스핀방향)
 - 양성자(청색) 두개의 스핀은 상쇄되고
 - 중성자(적색)의 스핀만이 나타나서
 - 사실상의 편극 중성자가 된다
- 중성자를 이루고 있는 쿼크의 스핀이 어떻게 중성자의 스핀을 구성하는지 연구
- 쿼크와 폴립자들의 상호작용 이해 (양자색소이론, QCD)
- 여러 QCD 합법칙 (Sum Rule)의 실험적 검증
- 중성자의 형태인자 (Form Factor)의 측정