



국제엠바고를 준수하여 주시기 바랍니다

2016. 1. 29.(금요일) 0시부터 보도하여 주시기 바랍니다.
다만 논문발표일정의 변동에 의한 스케줄 변경이 있을 수 있습니다.

문의 : 박소라 담당자 연락처(02-880-6145)

연구단장/연구책임자 이원중 교수(02-880-5795) / 교신저자
격자게이지이론 연구단/ 최재돈, 임재훈 연구원(02-880-6145) / 공동 제1저자

뛰어난 성과로 격자게이지 이론 연구의 한 획을 그어!

- 초표준모형을 찾는데 결정적으로 중요한 고지 선점 -

입자물리학은 세상을 구성하는 가장 기본적인 입자들을 다루는 분야로 물질을 구성하고 있는 입자가 무엇이고 입자들 사이의 상호작용을 알아내어 자연현상의 본질에 대한 질문을 탐구하는 학문이다. **고에너지 물리학(High energy physics)**이라 불리기도 한다.

20세기에 수십년에 걸쳐서 이루어진 입자가속기 실험들을 통하여 입자물리학은 이론적으로 표준모형(Standard Model)을 정립하였다. **표준모형은 우주의 기본입자들이 쿼크와 렙톤과 게이지보존들로 이루어져 있다고 기술하면서 동시에 힉스 입자의 존재를 예측하였다.** 2013년 CERN의 연구팀이 표준모형의 예상과 일치하는 힉스입자를 발견함으로써 표준모형은 그 입자가 더욱 견고해 졌다.

최근 서울대학교 격자게이지이론 연구단(LGTRC)은 자연에 존재하는 중성 kaon 입자의 특성 중 특별히 자연의 대칭성중 하나인 CP 대칭성을 위반하는 정도인 ϵ_K 를 정밀하게 계산하여 발표하였다. [Physical Review D92 (2015) 034510 논문 참고] 그 결과는 우리가 믿고 있는 이론인 표준모형으로부터 격자게이지이론을 사용하여 직접 계산한 이론치와 입자가속기 실험에서 매우 정밀하게 측정된 실험치가 **표준편차의 3.4배의 차이가 있다**는 사실이다. 이것은 표준모형의 기본가설 중의 하나 또는 다수가 붕괴되는 것을 의미하고, 동시에 **초표준모형의 존재에 대한 중요한 하나의 단서**가 된다.

19세기 말에서 20세기 초에 고전역학의 이론적인 예측이 빗나가고 실험결과를

설명할 수 없는 현상들이 발생하기 시작하였다. 그 당시 양자역학과 상대론이 새로운 이론으로 등장하였고 고전역학이 설명하지 못하는 현상들을 정확하게 설명하면서 현대물리학의 새로운 시대를 열었다. 이와 흡사하게 현재 우리가 발견하고 있는 ε_K 의 실험치과 이론치의 차이는 표준모형이 설명하지 못하는 현상으로서 표준모형을 대체할 그 모태가 되는 새로운 이론의 존재를 증거한다. 이러한 새로운 이론들을 통칭하여 초표준모형이라고 부른다. 이러한 초표준모형은 낮은 에너지에서는 표준모형과 같고, 또한 ε_K 의 실험결과를 완전히 설명하고, 또한 높은 에너지에서는 우주의 생성원리를 설명할 수 있어야 한다.

현재 이러한 초표준모형을 찾는 연구가 매우 중요한 연구의 새로운 패러다임으로 형성되고 있다. ε_K 를 통하여 초표준모형을 찾는 데 필요한 가장 중요한 이론적인 상수가 Kaon BSM B-parameters이다.

2012년 유럽 최대 연구단인 ETM Collaboration과 미국 최대의 연구단인 RBC-UKQCD Collaboration은 BSM B-parameters를 계산하여 각각 논문에 발표하였고 서로의 결과가 일치한다고 공표하였다.

2014년에 서울대학교의 LGTRC가 주도하는 SWME Collaboration은 완전히 다른 더욱 개선되고 새로운 방법으로 BSM B-parameters를 계산하여 [Proceedings of Science, LATTICE 2014, (2014), 370,] 논문에 발표를 하였다. 그 결과는 기존의 ETM과 RBC-UKQCD Collaboration들의 2012년 계산과는 표준편차의 3배 이상의 상당한 차이가 있었다. 2014년 당시 이러한 문제점은 해결되지 않은 미제로 남아 있었다.

2015년 여름 일본 고베에서 개최된 Lattice 2015 학회에서 RBC-UKQCD Collaboration은 새로운 더욱 개선된 방법으로 BSM B-parameters를 계산한 결과를 대대적으로 발표하였다. 그 결과는 2014년에 LGTRC의 주도하에 계산된 SWME Collaboration의 결과와 완전히 일치하였다. 이렇게 2014년 SWME Collaboration의 결과가 맞다는 것이 입증되었다. 이것은 대단히 이례적인 일로서 세계 최대 연구단인 RBC-UKQCD Collaboration이 2012년에 자신들이 발표한 연구결과를 부인하고 SWME 2014 결과가 맞다고 서울대 LGTRC 연구단의 손을 들어준 매우 극적인 그리고 감격적인 사건이다.

이러한 사건의 의미는 순수한 국내 기술로 서울대학교 격자게이지이론 연구단 (LGTRC)이 자체 개발하고 구축한 DAVID GPU Cluster 슈퍼컴퓨터를 사용하여 계산하였다는 점이다. 또한 일부의 계산은 대전의 KISTI 슈퍼컴퓨터를 사용하여 계산되었다. 그리고 이 사건은 국내 이론물리연구단인 서울대학교 LGTRC 연구단이 주도하여 이루어낸 매우 귀중한 국제무대에서의 대승리라고 볼 수 있다. 이는 한국 물리학계의 쾌거이다. 또한 이번 사건은 서울대학교 격자게이지이론 연구단이 국제적인 주목을 받는 결정적인 계기가 되었다.

이러한 서울대학교의 LGTRC 연구단의 최종 결과는 SWME Collaboration을 대표해서 2015년 9월2일 미국 Physical Review D에 제출되었고 2016년 1월 29일 (금) 0시 이후 공식적으로 발표될 예정이다.

[붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 연구진 이력사항

연구결과

Kaon BSM B-parameters using improved staggered fermions from $N_f = 2+1$ unquenched QCD

Benjamin J. Choi, Yong-Chull Jang, Chulwoo Jung, Hwancheol Jeong, Jangho Kim, Jongjeong Kim, Sunghee Kim, Weonjong Lee, Jaehoon Leem, Jeonghwan Pak, Sungwoo Park, Stephen R. Sharpe, Boram Yoon (SWME Collaboration)

[Abstract] We present results for the matrix elements of the additional $\Delta S = 2$ operators that appear in models of physics beyond the Standard Model (BSM), expressed in terms of four BSM B-parameters. Combined with experimental results for ΔM_K and ε_K , these constrain the parameters of BSM models. We use improved staggered fermions, with valence HYP-smearred quarks and $N_f = 2+1$ flavors of “asqtad” sea quarks. The configurations have been generated by the MILC collaboration. The matching between lattice and continuum four-fermion operators and bilinears is done perturbatively at one-loop order. We use three lattice spacings for the continuum extrapolation: $a \approx 0.09, 0.06$ and 0.045fm . Valence light-quark masses range down to $\approx m_s^{phys}/13$ while the light sea-quark masses range down to $\approx m_s^{phys}/20$. Compared to our previous published work, we have added four additional lattice ensembles, leading to better controlled extrapolations in the lattice spacing and sea-quark masses. We report final results for two renormalization scales, $\mu = 2\text{GeV}$ and 3GeV , and compare them to those obtained by other collaborations. Agreement is found for two of the four BSM B-parameters

(B_2 and B_3^{SUSY}). The other two (B_4 and B_5) differ significantly from those obtained using RI-MOM renormalization as an intermediate scheme, but are in agreement with recent preliminary results obtained by the RBC-UKQCD collaboration using RI-SMOM intermediate schemes.

[요약] 우리는 이 논문에서 최근에 계산된 Kaon의 BSM B-parameters의 결과를 발표합니다. 이러한 BSM B-parameters는 실험결과와 비교하여 초표준모형을 찾는 데 필요한 매우 결정적인 이론적 상수입니다. 우리는 이 계산에서 HYP-smearred staggered valence quarks를 사용하였고 MILC asqtad lattice을 사용하였다. Lattice QCD결과를 Continuum 결과로 변화하는 Matching Factors의 계산은 One-loop Perturbation Theory를 사용하였습니다. 그리고 우리는 세 개의 서로 다른 격자간격을 가지는 Lattice Ensembles를 사용하였다. 그들은 $a \approx 0.09, 0.06, 0.045$ fm입니다. 또한 Valence quark mass는 대략 $m_s^{phys}/13$ 까지 내려가도록 선택하였고 Sea quark mass는 대략 $m_s^{phys}/20$ 까지 내려가도록 선택하였다. 최종 결과는 Renormalization scale $\mu = 2$ GeV 와 3 GeV에서 구하였고 다른 연구단들 (RBC-UKQCD와 ETM)의 결과와 비교하였다. 우리는 B_2 와 B_3 에서 다른 연구단과 일치하는 결과를 얻었다. 그러나 우리의 B_4 과 B_5 결과는 다른 연구단에서 RI-MOM scheme을 사용하여 계산된 결과들과 매우 다르며 최근에 RBC-UKQCD Collaboration이 RI-SMOM scheme을 사용하여 Lattice 2015에서 발표한 임시적인 결과와는 완전히 일치합니다.

용 어 설 명

1. LGTRC (Lattice Gauge Theory Research Center)

- 격자게이지이론(Lattice Gauge Theory)을 사용하여 입자물리학을 연구하는 서울대학교 물리천문학부의 연구단의 호칭입니다. 이 연구단의 단장은 이원종 교수입니다.
- 2009년에 한국연구재단에서 창의연구과제에 선정되어서 결성되었습니다.

2. 중성 kaon 입자

- 한 개의 strange quark와 한 개의 down quark로 이루어진 meson입자입니다.
- 역사적으로 CP 위반 현상이 처음 발견된 입자이기도 합니다.

3. CP 대칭성 (CP Symmetry)

- C는 Charge Conjugation Symmetry를 의미합니다.
- P는 Parity 또는 Spacial Inversion Symmetry를 의미합니다.
- CP Symmetry는 C와 P가 결합된 대칭성으로 자연의 강력과 전자기력은 이러한 대칭성을 가집니다. 그러나 자연의 약력은 CP 대칭성을 위반할 수 있습니다.

4. ε_K (Indirect CP Violation Parameter in neutral kaons)

- 중성 kaon입자에서 발견되는 CP 대칭성을 위반하는 현상의 크기를 나타내는 상수로서 실험적으로 매우 정밀하게 측정되어 있다.

5. 표준모형 (Standard Model)

- 20세기 가속기실험을 통하여 정립된 물리의 기본이론으로 최근 Higgs입자가 발견됨으로서 현재 실험결과를 가장 잘 설명하는 이론

으로 받아들여지고 있다.

6. 격자게이지이론 (Lattice Gauge Theory)

- 입자물리의 기본이론은 게이지이론(Gauge Theory)와 Higgs Mechanism으로 이루어져 있다.
- 격자게이지이론은 시공간을 격자구조로 만들고 Gluon과 Quarks를 그 위에서 구현하여서 컴퓨터를 사용하여 양자장론의 문제를 풀 수 있도록 하는 이론체계이다.
- 현재 자연의 강력 현상들을 기술하는 방법론 중에서는 그 정확도가 가장 높은 이론이다.

7. 초표준모형 (Beyond the Standard Model Physics)

- 표준모형의 모태가 되는 이론으로서 낮은 에너지에서는 표준모형으로 귀결되고 높은 에너지에서는 우주의 생성을 설명하는 이론들을 통칭하는 용어이다.
- 현재 초표준모형의 후보로는 Supersymmetry Model, Technicolor Model, Extra-dimension Model, 등이 있다.

8. Kaon BSM B-parameters

- 표준모형에서는 단 하나의 B-parameter인 B_K 로 중성 kaon들의 indirect CP Violation을 설명한다. 그러나 초표준모형(BSM)에서는 4개의 새로운 B-parameter들이 필요한데 그들은 B_2, B_3, B_4, B_5 이다.
- 이러한 총 5개의 B-parameters는 모든 초표준모형을 기술할 수 있는 완전한 집합을 이룬다.
- 최근에 SWME Collaboration의 논문에 의하면 현재 ε_K 의 이론치와 실험치는 표준편차의 3.4배의 차이를 보인다. 이러한 차이를 초표준모형을 사용하여서 설명하는데 가장 필요한 이론적 정보가 바로 Kaon BSM B-parameters입니다.

9. ETM (European Twisted Mass Collaboration)

- 유럽최대의 연구단이며 현재 Twisted Mass Wilson Fermion을 사용하여 입자물리의 제반 물리량을 계산하고 있다.

10. RBC–UKQCD Collaboration

- RBC는 Riken–Brookhaven National Lab–Columbia University의 줄임말이다.
- UKQCD는 United Kingdom 즉 영국의 Lattice QCD 물리학자들을 통칭하는 명칭이다.
- 현재 미국 최대의 연구단이며 동시에 세계 최대의 연구단이다.

11. SWME (Staggered Weak Matrix Elements Collaboration)

- Staggered Fermion을 사용하여 Weak Matrix Elements를 계산하는 것을 목표로 하는 연구단이다.
- 서울대 격자게이지이론연구단이 그 주축 멤버이고 미국 University of Washington의 Stephen Sharpe교수와 미국 Brookhaven National Lab의 정철우 박사와 미국 Los Alamos National Lab의 윤보람 박사로 구성되어 있다.

12. Lattice 2015 학회

- 매년 여름에 개최되는 격자게이지이론 분야의 최고학회이다.
- 2015년에는 일본 고베에서 개최되었다.
- 약 400~600 명의 전 세계의 물리학자들이 참가한다.

13. DAVID GPU Cluster

- GPU는 Graphics Processing Unit의 준말이다. 흔히 가정에서 사용하는 컴퓨터의 고성능 그래픽카드를 지칭한다.
- 서울대의 격자게이지이론 연구단이 GPU를 사용하여 자체 개발하여 구축한 슈퍼컴퓨터이다.
- 현재 전산성능은 약 400 Tera Flops이다.

14. KISTI (Korea Institute of Science Technology Information)

- 한국과학기술정보연구원

연구자 이력사항 -이원종 교수-

1. 인적사항

- 소 속 : 격자게이지이론 연구단 단장
서울대학교 물리천문학부 교수
- 전 화 : 02-880-5795
- E-mail : wlee@snu.ac.kr



2. 학력

- 1984 - 1988 서울대학교 학사
- 1991 - 1994 Columbia 대학교 석사
- 1991 - 1995 Columbia 대학교 박사

3. 경력사항

- 1989 - 1991 : Princeton University, Applied Physics, RA, TA
- 1991 - 1995 : Columbia University, Physics, RA, TA
- 1995 - 1997 : IBM Watson Research Center, Postdoc
- 1997 - 2000 : Los Alamos National Lab, Director's Fund Postdoc
- 2000 - 2002 : Los Alamos National Lab, Staff Member (교수)
- 2001 - 2006 : 서울대학교, 물리학부, 조교수
- 2006 - 현재 : 서울대학교, 물리천문학부, 부교수

4. 기타 정보

- Gruman Graduate Prize : Princeton University (1990)
- Matilda Woodard Fellowship : Columbia University (1992)
- Outstanding Young Scientist Award : AKPA, APS (1996)