물리학 분야 총괄 과학로드맵

DOI: 10.3938/PhiT.29.003

박 지 용

■ 로드맵 구축 배경과 목적

- 물리학 분야의 발전을 위해서는 체계적이고 지속적인 연구 투자가 필요하며, 그 일환으로 학문분야의 발전과 사회, 기술변화에 지속적으로 대응할 수 있는 과학로드맵을 주기적으로 개정, 발전시키는 것이 필수적임
- 한국물리학회에서는 이미 2012년에 물리학회 학술로드맵을 통해 물리학 분야의 학문발전 비전과 전략을 세우고, 2017년 “Physical Science 분야 학술비전구축 시범사업”을 통하여 물리학회 11개 분과의 도움으로 물리학 분야의 현황과 학술 비전을 단기(5년), 중기(10년), 장기(30년)로 나누어 제시한 바 있음
- 새로운 시대적 요구와 흐름에 맞추어 물리학 세부분야별로 전략적으로 추구해야 할 연구주제에 대한 핵심전략과제와 글로벌 연구동향, 미래 가치, 국가 경쟁력 제고를 위해 융합연구가 필요한 중점과제를 도출하여 로드맵을 제시함

■ 로드맵 구성과 내용

- 물리학회 내 각 분과는 국가과학기술표준분류체계와 잘 상응하며, 각 분야 연구자들의 의견수렴도 용이하여, 각 분과를 세부학문분야로 설정하고 분과별로 로드맵을 작성함(12개 분과 중 물리교육부분을 제외한 11개 분과 참여)
- 세부분야별 핵심전략과제로 로드맵과 이를 기반으로 국제경쟁력, 미래발전 가능성, 글로벌 연구동향 등을 고려한 연구 키워드를 도출하여 세부분야 융합형태의 중점과제로 로드맵을 작성함
 - ① 세부분야별 핵심전략과제 로드맵: 세부 학문 분야별로 작성하는 로드맵으로, 추진목표를 기반으로 연구주제 및 연구 수행과 추진목표 달성을 위한 전략 및 방안을 제시함

- (연구주제) 10년(2020~2029) 기간을 단기(3년), 중기(3년), 장기(4년)로 나누어 추진 목표를 달성하기 위해 각 기간별로 수행할 연구의 주제 및 세부내용을 구체적으로 제시
- (전략·방안) 각 연구목표를 달성하기 위한 전략 및 방안을 인력양성, 장비, 연구지원, 연구체계 등의 측면에서 제시
- (최종목표) 세부학문분야별 핵심전략과제의 연구주제별 목표
- ② 키워드별 중점과제 로드맵: 사회문제, 글로벌 동향 및 미래 유망기술 등을 고려해 물리학 분야에서 융합 연구를 통해 기여할 수 있는 키워드를 7개 도출함. 키워드별 유망 연구주제를 중점과제로 제시하고 로드맵 작성
 - (키워드) 양자컴퓨팅, AI/빅데이터, 우주와 물질의 기원, 생명현상의 물리학적 이해와 응용, 양자상태의 물리학(양자물질, 소재), 복잡계의 물리학, 효율적이고 안전한 에너지

세부분야별 핵심전략과제 로드맵

■ 로드맵 개요

- 물리학분야에 대한 SWOT(Strength, Weakness, Opportunity, Threat) 분석 및 국내외 물리학분야 연구지원 현황분석을 통하여 세부분야(11개 분과)별로 전략과제를 선정하여 물리학 분야 총괄 로드맵을 다음과 같이 구축함
- 세부분야별 전략과제의 구체적인 내용과 개별 로드맵은 최종보고서에 전문을 실을 예정임

1. 입자 및 장 물리학

- 입자 물리학이란 우주의 기원, 세상을 이루는 궁극적인 기본 입자에 대한 기본 성질 연구 그리고 그 기본입자들 사이의 상호작용을 다루는 순수 물리 분야임
- 입자 물리학은 기초과학의 상징일 뿐 아니라 인류 신지식 개척의 선봉장 역할을 하고 있음

저자약력

박지용 교수는 서울대학교 물리학과에서 2000년 고체물리학으로 박사학위를 취득하고, Cornell University 박사후 연구원을 거쳐 2004년부터 아주대학교 물리학과 및 대학원 에너지시스템학과 교수로 재직 중이다. 주사탐침현미경을 이용한 나노측정과 나노물질 합성 및 소자 응용에 관한 연구를 수행하고 있으며, 한국물리학회 CAP편집담당실무이사, 회원관리실무이사를 거쳐 현재 정책위원회 대외협력 및 정책 담당 실무이사를 맡고 있다. (jiyong@ajou.ac.kr)

- 세계적 수준의 연구를 수행하는 입자물리 연구집단의 유무는 그 국가의 기초과학 능력과 과학문화 수준의 척도로 받아들여지고 있음

2. 핵 물리학

- 다양한 핵자와 핵자 간의 상호작용, 쿼크와 글루온 자유도에 의한 기본 상호작용의 이해를 추구하고, 그를 통해 핵자의 구조와, 다체계 상태인 핵물질의 특성과 원자핵의 다체계 현상과 구조, 그리고 핵반응을 연구하는 학문 분야임
- 우주 초기의 쿼크-글루온 플라스마 상태, 원소의 기원, 고밀도 극한 핵물질 상태인 중성자 별, 별 내부에서의 핵반응과 별의 진화, 그리고 새로운 원소와 동위원소의 발견을 연구하는 분야임

3. 응집물질 물리학

- 응집물질 물리학이란 고체, 액체 등과 같이 여러 개의 입자가 응결된 상태에 있는 물질에 대해 구조적, 열적, 전기적, 자기적, 광학적 특성 등을 연구하는 물리학의 한 분야임
- 응집물질 물리학은 기초과학으로서 물질의 본성을 탐구하는 분야일 뿐만 아니라 이 분야의 연구결과들은 반도체, 컴퓨터, 레이저, LED, LCD, 자동차, 에너지, 항공우주 기술개발 등 여러 응용 분야의 기반 역할을 해왔음
- GaN를 이용한 청색 LED, 반도체를 이용한 SSD, 리튬산화물을 이용한 이차전지, 초전도체나 양자점을 이용한 양자 컴퓨터 등 응집물질 물리학 분야의 기초 연구 성과가 산업 기술에 직접적으로 응용되는 사례가 점차 늘어나고 있음

4. 응용 물리학

- 현대 인류 문명의 바탕이 된 산업기술 발전에 직접적으로 기여해온 물리학을 모두 응용 물리학으로 정의할 수 있음
- 다양한 신물질과 새로운 소자, 기존의 한계를 뛰어 넘는 측정기술에 이르기까지 응용 물리학은 다양한 분야를 다루고 있으며, 재료공학, 기계공학, 전자공학, 화학공학, 생명 및 의료공학에 이르기까지 다양한 공학 분야와 연계하고 있음
- 화석연료의 고갈, 지구온난화 및 원자력 에너지의 위험성 때문에 따른 차세대 에너지원의 개발은 인류의 생존과 번영에 직결되는 문제이며, 나노구조 및 신물질을 이용한 초고효율 태양전지, 신개념 에너지 기술 개발은 학문적, 기술적 파급효과가 매우 클 것으로 예상됨

5. 통계 물리학

- 통계 물리학이란 상호작용하는 거시 다체계에서 발현되는 복잡한 자연 현상의 근원을 미시적인 상호작용에 기반하여 연구하는 물리학 분야
- 통계 물리학은 연구 분야를 단순 물질계에만 국한되지 않고 자연현상, 생명현상, 더 나아가 사회현상에까지 확장하고 있으며 거시계에서 발현되는 복잡한 자연현상을 전체론적 관점에서 이해하는 연구 방법론을 제공하는 영역으로 확대하고 있음
- 복잡계의 과학이라는 공통분모를 가지고 활발히 진행 중인 여러 학제 간 연구들을 아우를 수 있게 만들어 주는 통계물리학의 역할이 점점 더 중요하게 되며 기초과학 인재육성이라는 점에서 볼 때 국가적으로 중요함

6. 플라스마 물리학

- 플라스마물리의 기초 및 응용은 주로 저온 대기압 플라스마와 반도체 플라스마를 활용하는 분야임
- 핵융합 분야는 고온플라스마를 활용하는 분야로 인류가 당면한 에너지 문제를 해결하기 위한 핵융합 장치와 관련 과학기술에 대한 연구 개발을 목적으로 함
- 가속기 분야는 기초과학뿐만 아니라 다양한 응용과학 및 산업적 이용을 위한 방사광 가속기, 양성자 가속기, 중이온 가속기, 의료용 가속기 등 다양한 가속기와 관련된 기초연구 및 기술개발을 목적으로 함
- 레이저플라스마 분야는 고출력 레이저를 활용하여 다양한 입자빔을 가속시키는 것을 목적으로 이를 활용하기 위한 기술 개발을 목적으로 함

7. 광학 및 양자전자학

- 광학 및 양자전자학은 빛과 물질의 상호작용을 기반으로 광원, 광소자, 광측정 및 광시스템에 관하여 연구하는 물리학의 한 분야임
- 극자외선(EUV), 자외선, 가시광선, 적외선, 테라헤르츠에 이르는 넓은 전자기파 영역을 수용하는 분야로써 광학기반 미시세계의 탐구 및 차세대 광과학 연구를 통하여 학문적으로 큰 파급효과를 가져올 것으로 예상함
- 광정보 및 광통신, 디스플레이 및 홀로그램 등의 전자기술, 레이저 치료기 및 바이오센서 등의 의료기술, 우주항공, 방위, 에너지 등 분야에서도 첨단 핵심기술로 활용되고 있음

Fig. 1. Roadmap of each division in the Korean Physical Society.

8. 원자 및 분자 물리학

- 원자 및 분자 물리학은 물질의 기본 구성 입자인 원자와 이들의 화학적 결합으로 이루어진 분자의 물리적 성질을 연구

하는 물리학 분야임

- 원자/분자 물리학에 대한 보다 향상된 물리학적 이해와 실험기술의 발전은 과학기술 체계의 새로운 전환을 가져올 수 있음. 과거의 한 예로, 원자시계의 정밀 시간측정기술은

GPS 시스템 개발을 가능하게 하였고, 이는 현대의 모든 통신 서비스의 기반이 되고 있음

- 광시계로 대표되는 초정밀측정기술, 양자컴퓨터로 대표되는 양자역학 응용기술, 초고속 엑스선 광원과 같은 고성능 레이저 기술 등은 유망 미래 기술이며 이에 대한 혁신적인 연구는 경제·사회적으로 큰 파급효과를 가져올 수 있음

9. 반도체 물리학

- 반도체 물리학이란 전기적으로 도체와 부도체 사이의 성질을 띠고 있는 물질인 반도체를 연구하는 학문임
- 반도체에 대한 기초연구를 바탕으로 소자 연구, 소자 제작을 위한 장비 연구 등도 포함됨
- 나노기술의 융합과 함께 미래의 의료, 통신, 교육, 방위, 환경, 에너지, 우주산업 등 인류생활의 전반에 걸쳐서 큰 파급효과를 가져오고 있음

10. 천체 물리학

- 천체물리학은 빅뱅부터 현재의 우주를 아우르는 천문 현상의 물리적 근간을 이해하고자 하는 순수 기초 학문임
- 천체물리학은 이론, 실험, 관측을 모두 활용하는 종합적, 융합적 학문으로서 천문 관측을 포함하면 다양한 물리 분야 중에서도 긴 역사를 가지고 있음. 또한 종교관 및 세계관의 변화와 우주에 대한 이해를 넓히는데 선도적으로 기여해 온 분야임

11. 생물 물리학

- 전통적인 생물학과 물리학 사이를 연결하는 학문으로 분자 수준의 미시적 스케일부터 세포/세포 조직, 개체의 거시적 스케일에 이르는 다양한 생명 현상을 물리적 방법론을 이용하여 그 생명현상의 원리를 규명하는 학문임
- 생화학, 분자/세포 생물학, 생리학, 물리화학, 계산생물학, 시스템생물학 등 다양한 학문 분야와의 연계된 학제간 학문임

키워드별 중점과제 로드맵

■ 로드맵 개요

- 경제·사회문제, 글로벌 연구동향 및 미래 유망기술 등을 고려해 물리학 분야에서 융합 연구를 통해 기여할 수 있는 분야를 키워드로 7개 도출하고 세부학문분야별로 키워드별 유

망 연구주제를 중점과제로 제시하여 로드맵 작성

- 각 키워드별 네트워크 분석을 통해 물리학 분야에서 주요한 연구주제 및 공동융합연구 관계를 파악하고 세부 중점과제를 도출하여 로드맵으로 작성함
- 키워드별 중점과제의 구체적인 내용과 개별 로드맵은 최종 보고서에 전문을 실을 예정임

1. 양자컴퓨팅

- 양자중첩, 양자얽힘 등의 양자역학적 현상을 직접적으로 이용하여 정보를 처리하고 특정 알고리즘을 수행하는 것을 양자컴퓨팅이라고 정의함
- 기존 컴퓨터와는 완전히 다른 개념으로 새로운 알고리즘의 개발과 함께 기존 컴퓨터로는 불가능하던 계산을 수행할 수 있으므로, 복잡하고 대용량의 정보를 빠르게 처리할 수 있으며 양자암호통신 기술은 양자역학 기반의 양자정보체계를 활용하여 다양한 암호적 기능들을 구현함과 동시에 더 높은 수준의 보안 확보가 가능함
- 4차 산업혁명 시대의 미래기술로 세계 각국 특히 IBM, 구글, 마이크로소프트와 같은 대규모 IT 기업들의 집중적인 연구를 통해 빠른 기술개발과 응용이 기대되는 분야임

2. AI/빅데이터

- 최근 화두가 되고 있는 4차 산업혁명의 핵심적인 주제는 인공지능(AI)과 빅데이터로 미래과학기술의 큰 원동력 중 하나임
- 대한민국정부 차원에서 최근(2019년 12월 17일) AI 국가전략을 발표하고 패러다임 전환을 통해 “IT 강국에서 AI 강국으로” 거듭남으로 경제효과를 창출하고 삶의 질을 끌어올리겠다는 정책을 추진 중임
- 물리학 관련 인공지능 연구 현황은 인공지능의 이론물리학적 연구와 물리학의 인공지능 응용 연구로 크게 나눌 수 있음. 현재 거의 모든 분야에서 인공지능 및 빅데이터를 이용하고자 하고 있어, 물리학 분야의 인공지능의 기초 연구는 각 연구들을 한층 더 깊이 있는 단계로 진전시켜 줄 것으로 기대됨

3. 우주와 물질의 기원

- 물리학 연구의 주요 목적이 자연의 보편법칙을 찾고 이를 통해 자연현상을 이해하고 설명하는 것임. 따라서 물리학은 인류가 오랫동안 갖고 있던 질문인 ‘우리의 기원은 무엇인가’

Fig. 2. Roadmap of keyword-based collaborative research topics in physics.

에 대한 근본적인 해답을 추구하는 학문임

- 우주론은 우주의 기원, 진화, 미래를 물리학 법칙을 통해 이해하려는 분야로 물리학의 핵심 연구 주제 중 하나임
- 물질의 근본을 설명하는 표준모형은 입자물리현상을 아직까지 잘 설명하고 있으나 표준모형이 궁극적인 이론이 되기에는 많은 문제점을 가지고 있음. 지난 수십 년간 표준모형을 넘어서는 새로운 물리현상에 대한 이론적 실험적 연구가 진행되었지만, 아직까지 비표준모형의 결정적인 증거는 발견을 하지 못함
- 암흑물질은 표준모형에서는 설명할 수 없는 물질이며 이의

존재는 천체물리의 다양한 관측결과에 의해 간접적으로 증명되고 있음. 암흑물질의 정체를 밝힘으로 인하여 우주를 구성하는 물질에 관한 근본적인 질문에 답할 수 있으며, 인류가 우주의 진화를 이해하는 방법에 근본적인 변화를 줄 수 있을 것으로 기대함

- 이 분야의 실험연구는 많은 경우 거대관측시설이 기본이 되며, 이러한 시설에 주도적으로 참여함으로써 대한민국 물리학 이론과 실험에 걸친 전반적인 학문적 성장과 더불어 우수한 인력 양성과 관련된 기술, 공학의 발전으로 긍정적인 경제적 효과로도 이어짐

4. 생명현상의 물리학적 이해와 응용

- 대표적인 복잡계인 생물계의 생명현상에 대한 연구는 다양한 학문분야의 융합이 필수적으로 요구되는 분야임
- 생명 현상을 연구하는 생명과학(혹은 생물학)은 의학과 밀접히 연관되어 학문적/실용적으로 큰 가치를 가지며, 생명과학의 발전에 물리학은 매우 중요한 역할을 하고 있음. 특히 X-ray 결정학, Nuclear Magnetic Resonance(NMR), Atomic Force Microscopy(AFM), Electron Microscopy(EM), 2018년 노벨물리학상 업적인 Optical Tweezers 등을 개발, 활용하여 정량적인 분석을 통한 생명현상의 근원적 이해에 지대한 공헌을 해 왔음
- 최근에 단일분자 실험 기법은 중요한 생명과학적 기술이 되었으며 분자 수준에서 관측된 생명 현상을 이해하기 위해서는 분자 수준의 미시적 스케일부터 거시적 스케일에 이르기까지 다양한 스케일에서 일어나는 생명 현상과 패턴을 물리학적 방법론의 적용과 전산 시뮬레이션 기법을 통한 광범위한 연구가 필요함

5. 양자상태의 물리학(양자물질, 소재)

- 양자물질이란 양자역학을 이용하여 이해할 수 있는 물질 또는 소재를 의미함
- 물질에서 위상상태, 다입자계, 양자얽힘 등의 역할을 이해하고 이를 응용한 새로운 물질 또는 소재의 연구가 활발히 진

행되고 있음

- 물질연구에 전통적인 응집, 응용, 반도체 물리학뿐만 아니라 고에너지 물리학, 양자정보물리학 등의 융복합 연구를 통해 물질에 대한 이해를 높이고 이를 응용하고자 하는 연구분야임

6. 복잡계의 물리학

- 4차 산업혁명 시대의 도래와 플랫폼 기반 경제의 발전으로 점점 더 많은 구성요소가 더 강하게 연결되고 있으며, 많은 구성요소들 사이의 강한 상호작용으로 질적으로 새로운 거시적 현상이 새롭게 발현되는 것이 복잡계의 중요한 특성임
- 복잡계의 물리학은 학제간(interdisciplinary) 혹은 초학제간(transdisciplinary) 연구의 성격을 가져서, 다양한 학문 분야 사이의 협업이 중요함

7. 효율적이고 안전한 에너지

- 태양이 에너지를 발생시키는 원리인 핵융합은 수소원자를 중수소 또는 삼중수소로 융합하고 이들이 다시 헬륨을 융합할 때 발생하는 에너지를 활용하는 것으로, 기존의 화력발전이나 원자력발전에 비해 환경오염의 위험성이 거의 없어, 많은 나라에서 미래의 에너지원으로 연구개발이 활발히 진행 중임
- 화석연료 사용에 따른 급격한 기후변화, 환경오염을 줄이기 위해 친환경적인 신재생 에너지원에 대한 전 세계적인 관심이 커지고 있음
- 4차 산업혁명에 따른 미래사회 변화 대응을 위한 독립 환경 적용이 가능한 핵심 에너지 생산 및 저장 소재기술 개발이 요구됨. 그에 대응하는 에너지 사용 다변화가 이루어지고 있으며, 이를 위한 다양한 신재생 에너지 소재, 소자 기술 개발이 필수적인 상황임