creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

교육학석사 학위논문

물리교사 대상 델파이 방법을 이용한 고등학교 양자물리 교육내용 탐색

2022년 2월

서울대학교 대학원

과학교육과 물리전공

김 진 하

물리교사 대상 델파이 방법을 이용한 고등학교 양자물리 교육내용 탐색

지도 교수 유 준 희

이 논문을 교육학석사 학위논문으로 제출함
2021년 12월

서울대학교 대학원
과학교육과 물리전공
김 진 하

김진하의 교육학 석사 학위논문을 인준함
2022년 1월

위 원 장 이 경 호 (인)

부위원장 송 진 웅 (인)

위 원 유 준 희 (인)

초 록

본 연구의 목적은 양자물리 교수학습 경험이 있는 물리교사의 인식을 조사하고 이를 토대로 고등학생에게 적절한 양자물리 교육내용을 델파이 방법을 사용하여 탐색하는 것이다. 양자물리 교육 관련 물리교사의 인식은 학생의 학습 측면(학생의 흥미 및 학습의 어려움 측면)과 교육과정 내용 및 운영 측면에서 조사하였다. 고등학생에게 적절한 양자물리 교육내용은 물리학Ⅰ과 물리학Ⅱ의 교육의 필요성, 교육의 목표, 교육의 내용 측면에서 각각 조사하였다. 연구참여자는 2009개정의 물리Ⅰ·Ⅱ와 2015 개정의 물리학Ⅰ 과목을 모두 지도한 경험이 있는 교사 14명이다. 3차례에 걸친 설문을 통해 합의를 도출하고자 하였으며 이 과정에서 개방형 질문은 질적 연구법 가운데 하나인 근거이론을 사용해 분석하였으며 폐쇄형 질문은 통계처리 방법을 사용해 분석하였다.

연구참여자들이 인식한 양자물리에 대한 학생의 흥미요인은 학생, 과학교과, 교수학습과 관련된 세부요인으로 분류되었으며, 학습에서의 어려움은 학생, 과학교과, 교수학습, 교사 전문성과 관련된 세부요인으로 분류되었다. 또한, 양자물리 관련 교육과정 내용 및 운영 측면에서의 어려움은 교육내용의 선정, 조직, 양, 수준, 평가 및 교과운영과 관련된 세부요인으로 분류되었다.

연구참여자들은 물리학Ⅰ에서 양자물리 교육의 필요성으로 미래 사회의 구성원으로서 현대 사회가 성취한 학문 및 기술에 대한 이해라는 응답을 하였다. 교육목표는 양자물리 교육을 통한 과학적 방법과 과학지식의 특징 이해, 물리학의 필요성 및 중요성 인식, 학생 개인의 미래 준비라는 응답을 하였다. 양자물리 내용요소로 핵심개념은 입자-파동 이중성(14명), 불연속적 에너지 준위(14명)를, 현상은 광전효과(14명), 드브로이의 물질파(14명), 전자의 회절실험(10명), 이중슬릿 실험(8명)을, 원자이론은 선스펙트럼(12명), 에너지 띠(12명), 보어의 원자모형(10명)을 과학사적 맥락에서 포함해야 한다고 응답하였다. 양자물리 내용요소로 응용사

례는 다이오드(12명), LED(11명), 태양전지(11명), 전자 현미경(9명) 등을 정성적인 수준에서 포함해야 한다고 응답하였다.

연구참여자들은 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육의 필요성으로 이공계열 학생의 진로 및 진학과 관련된 도움이라는 응답을 하였다. 교육목표로는 양자물리의 기본 개념 및 응용사례의 원리 이해, 과학역량의 함양, 물리학에 대한 흥미 및 과학적 태도의 함양이라고 응답하였다. 양자물리 내용요소로 핵심개념은 불확정성 원리(14명), 입자-파동 이중성(12명)을, 현상은 양자터널 효과(12명), 컴프턴 산란(10명), 데이비슨-저머 실험(9명), 전자의 회절 실험(9명), 이중슬릿 실험(8명)을, 원자이론은 원자궤도모형(10명)을, 응용사례는 트랜지스터(8명)와 전자현미경(8명)을 포함해야 한다고 응답하였다. 연구참여자들은 물리학Ⅱ에서는 물리학Ⅰ과 달리 파동함수와 양자물리의 철학적 측면을 내용요소에 포함해야 한다고 응답하였다. 양자물리의 파동함수는 입자가 발견될 확률(11명), 파동함수(10명), 슈뢰딩거 방정식(8명) 등의 의미를, 양자물리의 철학적 측면은 확률론적인 해석(12명), 고전물리와 양자물리의 차이점(10명), 인식론적인 해석(9명), 과학자들의 논쟁사례(8명) 등을 과학사적 맥락에서 포함해야 한다고 응답하였다. 물리학Ⅱ의 양자물리의 교육내용요소 중 핵심개념과 응용사례의 구체적인 학습 수준에 대해서는 합의가 도출되지 않았다.

본 연구의 의의는 현장에서 고등학생들을 대상으로 양자물리를 지도해 본 교사의 경험을 토대로 고등학생 대상 양자물리 교육내용을 탐색한 것이다. 따라서 교육과정 개발과 관련 있는 교과교육학, 교육학, 교과학문 등의 다양한 전문가 의견이 반영되지 않았다는 한계를 가진다. 본 연구의 한계를 극복하기 위해 다양한 전문가 집단들을 대상으로 한 후속 연구가 필요하다.

주요어 : 물리교사, 고등학생, 양자물리, 교육내용, 델파이 연구

학　번 : 2020-24180

목 차

제 1 장 서 론 1
1.1. 연구의 배경 1
1.2. 연구 목적 및 연구문제 4
1.3. 연구과정 개요 5
1.4. 용어의 정의 7
1.4.1. 교육내용 및 교육내용요소 7
1.4.2. 양자물리(Quantum Physics) 내용 7
1.4.3. 양자물리 교육에 대한 교사의 인식 8
1.5. 연구의 한계 9

제 2 장 이론적 배경 10
2.1. 교육내용의 의미 10
2.2. 양자물리 교육 12
2.2.1. 양자물리 교육 관련 선행연구 12
2.2.2. 양자물리 관련 교육내용요소 분류틀 16
2.2.3. 국내 교육과정에의 양자물리 교육내용요소 18
2.3. Taba의 교사참여 교육과정 개발모형 23
2.3.1. 교육과정 개발 및 개발 주체집단으로서 교사의 역할 23
2.3.2. Taba의 교사참여 교육과정 개발모형 25
2.4. 델파이 방법 30
2.4.1. 델파이 방법 30
2.4.2. 델파이 방법을 활용한 교육관련 선행연구 31
2.5. 교육내용 적정성과 분석틀 33

제 3 장 연구과정 및 절차 35
3.1. 패널선정 35
3.2. 설문지 제작 과정 및 설문의 타당도 확보 노력 38
3.2.1. 설문지 제작 과정 38
3.2.2. 양자물리 교육에 대한 교사의 인식 조사를 위한 설문지 구성 39
3.2.3. 고등학교에서의 양자물리 교육내용 탐색을 위한 설문지 구성 41
3.3. 자료 수집 및 분석 49
3.3.1. 1차 델파이 설문지 분석 49
3.3.2. 2차 델파이 설문지 분석 50
3.3.3. 3차 델파이 설문지 분석 53

제 4 장 연구 결과 및 논의 54
4.1. 현장경험에서 나타난 양자물리 교육에 대한 교사의 인식 54
4.1.1. 교사가 인식한 양자물리에 대한 학생의 흥미 및 학습의 어려움 요인 54
4.1.2. 교사가 인식한 양자물리 관련 교육과정 내용 및 운영에서의 어려움 요인 66
4.2. 물리학 I 에서의 양자물리 교육내용 71
4.2.1. 교육의 필요성 71
4.2.2. 교육목표 74
4.2.3. 교육내용요소 82
4.3. 물리학 II 에서의 양자물리 교육내용 88
4.3.1. 교육의 필요성 88
4.3.2. 교육목표 91
4.3.3. 교육내용요소 99

제 5 장 결론 및 제언 106
5.1. 요약 106
5.2. 결론 및 제언 108

참고문헌 111
부 록 117
Abstract 159

표 목차

[표 1]. 양자물리 주제 및 관련 내용요소 분류틀 17
[표 2]. 국내 교육과정에 포함된 양자물리 주제 및 관련 내용요소 19
[표 3]. 교육내용 적정성 분석틀(주형미 외, 2020) 34
[표 4]. 전문가 선정 기준 36
[표 5]. 전문가 패널의 고등학교 양자물리 교육관련 경력 37
[표 6]. 설문지 내용 및 진행 개요 38
[표 7]. 양자물리 교육에 대한 교사의 인식 문항내용 및 응답형식 40
[표 8]. 델파이 1차 조사 문항 내용과 응답 형식 42
[표 9]. 델파이 2차 조사 문항 내용과 응답 형식 45
[표 10]. 델파이 3차 조사 문항 내용과 응답 형식 48
[표 11]. 응답자 수에 따른 내용 타당도 비율(CVR) 최소값(Lawshe, 1975) 51
[표 12]. 교사가 인식한 양자물리에 대한 학생의 흥미 요인 및 세부요인 56
[표 13]. 교사가 인식한 학생의 양자물리 학습의 어려움 요인 및 세부요인 58
[표 14]. 양자물리의 내용요소에 대한 학생의 흥미 및 학습의 어려움 요인(전체응답자 N=14명) 63
[표 15]. 교사가 인식한 양자물리 관련 교육과정 내용 및 운영에서의 어려움 요인 (전체 응답자 수 N=14명) 70
[표 16]. 물리학 I 에서 양자물리 교육의 필요성에 대한 1차 델파이 응답결과(전체 응답자 수 N=11명) 72

[표 17]. 물리학Ⅰ에서 양자물리 교육의 필요성 델파이 2차 응답결(전체 응답자 수 N=14명) 73
[표 18]. 물리학Ⅰ에서 양자물리 교육목표에 대한 1차 델파이 응답결과(전체 응답자 수 N=11명) 76
[표 19]. 연구자가 진술한 교육목표 타당도에 대한 응답결과(전체응답자 N=14명) 79
[표 20]. 물리학Ⅰ에서 양자물리 교육목표 중요도에 대한 2차 델파이 응답결과(전체 응답자 수 N=14명) 81
[표 21]. 물리학Ⅰ에서의 양자물리 교육내용요소에 대한 1차 및 3차 델파이 응답결과(1차 전체 응답자수 =11명, 3차 전체 응답자수 =14명) 85
[표 22]. 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육의 필요성에 대한 1차 델파이 응답결과(전체 응답자 수 N=14명) 89
[표 23]. 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육의 필요성 델파이 2차 응답결(전체 응답자 수 N=14명) 91
[표 24]. 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육목표에 대한 1차 델파이 응답결과(전체 응답자 수 N=14명) 93
[표 25]. 연구자가 진술한 교육목표 타당도에 대한 응답결과(전체응답자수 N=14명) 96
[표 26]. 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육목표 중요도에 대한 2차 델파이 응답결과(전체 응답자 수 N=14명) 98
[표 27]. 물리학Ⅱ에서의 양자물리 교육내용요소에 대한 1차 및 3차 델파이 응답결과(1차 및 3차 전체 응답자수 =14명) 103

그림 목차

[그림 1] 연구과정 개요 5
[그림 2] 2차 델파이 조사의 교육목표 진술에 대한 타당도 조사 문항 예시..... 44
[그림 3] 2차 델파이 조사의 교육목표 중요도 조사 문항 예시 44
[그림 4] 3차 델파이 조사의 교육내용요소 조사 문항 예시..... 47

제 1 장 서 론

1.1. 연구의 배경

양자물리학이 현대 물리학과 다양한 분야에 미치는 중요성으로 인해 양자물리 교육이 중등학교 교육과정으로 점차 확대되고 있다(조헌국, 2018; Michelini *et al.*, 2000; Stadermann *et al.*, 2019). 국내에서도 양자현상에 대한 내용이 부분적으로 소개되다가 2009개정 교육과정에서 양자물리 내용이 대폭 강화되었으며(교육과학기술부, 2011; 박병윤, 2012) 2015 개정 교육과정에서는 양자현상의 내용이 2009개정에 비해 축소되었지만, 양자현상 또는 양자물리의 기초원리를 다루고 있다(강남화, 2019; 교육부, 2015).

그러나 양자현상에 대한 이해는 대학생에게도 쉽지 않은 일이다(Johnston *et al.*, 1998). 특히, 양자물리학을 이해하기 위해서는 물리적 세계를 이해하는 방식에 근본적인 변화를 수반해야하기 때문에 거시적인 현상 및 고전적인 기계론적 세계관을 가지고 있는 학생들에게 양자론적 세계관을 이해하는 것은 더욱 어려운 일이다(Kalkanis *et al.*, 2003; Karakostas & Hadzidaki, 2005). 국내 고등학생들의 양자현상의 개념 이해 분포를 조사한 선행연구(임성민, 2020)에서도 학생들이 고등학교 교육에서 추구하고 있는 물질의 이중성과 불확정성 원리 등에 대한 기대 목표와 거리가 먼 방향으로 이해하고 있는 것으로 나타났다. 한편, 고등학생들이 양자현상을 이해하는데 어려움을 겪는 원인이 양자현상 자체가 갖고 있는 개념적 어려움에서 기인하는 것인지, 혹은 고등학교 수준에서 양자역학 교육의 목표와 내용, 교수학습 방법의 적절성에서 기인하는 것인지 대한 논의가 필요하다는 주장이 있다(임성민, 2020).

형식적이고 수학적인 방법으로 제시되었던 대학교의 양자물리학(Johnston *et al.*, 1998)과 달리 고등학생의 경우 양자물리학의 핵심주제로 구성된 개념적 이해를 목표로 하는 교육전략이 요구된다는 주장이 있다(Krijtenburg-Lewerissa et al., 2019). 양자물리 교육관련 연구는 학

생들의 이해를 돕기 위한 교수학습 방법에 대한 연구가 주로 이루어졌으며, 무엇을 가르칠 것인가에 대한 연구는 적은편이며 어떤 측면에 초점을 맞춰 가르칠 것인가에 대해 합의된 내용은 없었다(Krijtenburg-Lewerissa *et al.*, 2019; Pospiech, 2008). 국내에서도 2009개정 교육과정이 실시된 이후, 현장 교사들은 고등학교 물리 교육과정의 내용이 많고 난이도가 높다는 점을 비판하였다(강남화, 2015). 반면, 2015 교육과정의 경우 핵심 개념 및 내용 중심 역량 학습이라는 취지에 따라 학습량을 조정하는 데 중점을 두고 개정되면서(강남화, 2015) 양자역학이 가지는 의미보다는 이를 구성하는 원리나 법칙의 결과가 단편적으로 제시되어 있다는 문제점이 제기되고 있다(조헌국, 2018).

고등학교 수준에서 가르쳐야 하는 개념들이 무엇인지에 대한 논의가 필요하지만(조헌국, 2018) 이에 대한 연구가 부족하다(임성민, 2020; Krijtenburg-Lewerissa *et al.*, 2019). 중등학교에서 필요한 양자물리의 교육내용요소에 대한 논의를 양자물리 관련 내용학 전문가들을 대상으로 진행한 델파이 연구가 있었지만, 현장에서 학생들이 겪고 있는 어려움과 이해정도가 반영되지 않았으며, 교사와 전문가들이 생각하는 교육내용에는 차이가 있을 수 있다는 한계가 있다(Krijtenburg-Lewerissa *et al.*, 2019). 교육과정에 대한 논의는 교과전문가, 교육전문가, 교장, 교사, 학문 영역 대표 집단 등 다양한 집단에서 이뤄질 수 있다(고재희, 2010). 그 중, 교사는 실제 교실상황에서 학생과 상호작용을 하며 지속적으로 분석하고 연구하기 때문에 교사는 교육과정의 의사결정에 있어서 중심적 위치에 있으며(고재희, 2010) 교육과정을 실행할 사람으로서 계획된 교육과정과 학생이 실제로 경험할 교육과정간의 간극을 줄이는 역할을 가지고 있다(박현주, 2005). 특히, Taba(1962)는 교육과정 개발에서 교사의 역할의 중요성을 강조하면서 교육과정의 대상자인 학생들의 교육적 요구, 교실에서의 학습 조건, 교육목표의 최적 달성에 영향을 미치는 요인 등에 대한 분석이 필요하다고 하였다. 하지만, 양자물리 교육 연구는 주로 학생들의 개념적 어려움에 초점을 맞춘 연구가 주로 진행되고 있으며 양자물리를 가르치고 배우는 과정에서 교사의 어려움과 학생들의 흥미와 어려움을

조사한 연구는 적은 편이다(Bouchée et al., 2021; Johansson, 2018). 따라서, 고등학생을 대상으로 적절한 양자물리 내용이 무엇인지 논의되기 전에 기존의 양자물리 교육과정의 경험을 토대로 교사와 학생들이 직면한 요구사항을 조사하는 것이 필요하다.

한편, 고등학생에게 적절한 양자물리 교육내용을 탐색하기 위해서는 전문가의 경험적 지식을 통해 다수의 의견을 수렴하여 돌출된 의견을 제시할 수 있는 델파이 연구방법(이종성, 2001)이 요구된다. 델파이 방법은 교육분야에서 지침, 표준을 형성하고 추세를 예측하는데 유용하며(Green, 2014) 교육의 목적과 목표설정, 교육과정개발, 교육문제해결 등 다양한 연구목적으로 전문가와 교육구성원의 의견을 수집하고 종합하여 집단적 판단을 정리하기 위해 이용되고 있다(이종성, 2001).

앞서 살펴본 것과 같이 고등학생이 양자물리의 개념을 이해할 수 있는 양자물리 교육내용은 다양하며 내용학 전문가들을 대상으로 논의가 이뤄지긴 하였지만, 현장에서 학생들이 겪고 있는 어려움과 이해정도가 반영되지 않았다는 점, 현장 경험을 갖고 있는 교사와 전문가들이 생각하는 교육내용에는 차이가 있다(Sakhnini & Blonder, 2015)는 제한점이 있다. 이에 델파이 방법을 활용하여 물리교사가 현장경험 토대로 봤을 때 고등학생에게 적절한 양자물리 교육내용이 무엇인지 탐색하였다.

1.2. 연구 목적 및 연구 문제

본 연구에서는 양자물리 내용에 대한 교수학습 경험이 있는 물리교사가 생각하는 고등학교에서의 양자물리 교육내용을 제안하고자 한다.

연구문제는 다음과 같다.

1. 현장경험을 토대로 본 교사의 양자물리 교육에 대한 인식은 어떠한가?

2. 물리교사가 생각하는 물리학Ⅰ에서의 양자물리 교육내용은 무엇인가?

3. 물리교사가 생각하는 물리학Ⅱ에서의 양자물리 교육내용은 무엇인가?

1.3. 연구과정 개요

본 연구에서는 양자물리 내용에 대한 교수학습 경험이 있는 물리교사의 양자물리 교육에 대한 인식을 조사하고 델파이 방법을 활용하여 고등학생에게 적절한 양자물리 교육내용을 탐색하였다. 전체적인 연구과정은 그림 1 과 같다.

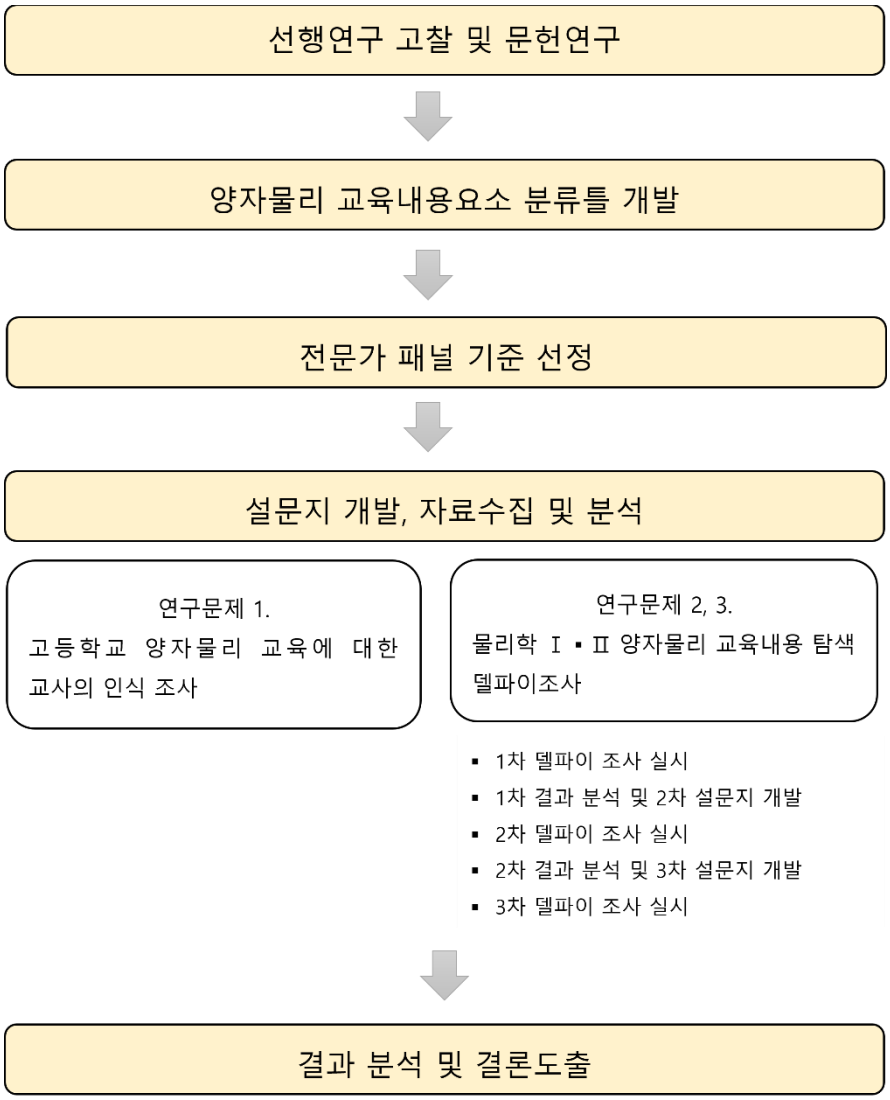

그림 1. 연구과정 개요

본 연구에서는 양자물리 교육, 교육과정 및 교육과정 개발, 델파이 방법에 관련된 선행연구와 문헌을 조사하였다. 이를 바탕으로 본 연구를 위한 양자물리 교육내용요소 분류틀과 설문지를 개발하였다.

연구에 적합한 전문가 패널 선정 기준을 정한 후, Taba(1962)의 교육과정 개발모형을 바탕으로 고등학교 양자물리 교육에 대한 교사의 인식을 조사하기 위한 설문조사와 고등학교에서의 양자물리 교육의 필요성, 교육목표, 교육내용을 탐색하기 위한 1차 델파이 조사 설문지를 설계하였다.

9월에 교사커뮤니티를 통해 연구참여자를 1차 모집하고 그 이후 눈덩이 표집으로 연구참여자를 모집하였다. 모집한 연구참여자 중, 전문가 패널 기준에 부합하며 자발적으로 연구에 동의한 교사 14명을 전문가 패널로 선정하였으며, 9월-12월에 3차례에 걸쳐 조사를 실시하였다. 1차 설문지는 구글 설문지를 통해 진행하였으며 회수한 설문지를 분석하였다. 분석한 1차 설문 응답을 바탕으로 바람직한 고등학교에서 양자물리 교육의 필요성과 교육목표를 조사하기 위한 2차 설문지를 설계하였다. 2차 델파이 조사는 구글 설문지를 통해 진행하였고 회수한 설문지를 분석하였다. 분석한 2차 설문지를 바탕으로 바람직한 고등학교에서의 양자물리 교육내용요소를 조사하기 위한 3차 설문지를 설계하였다. 3차 델파이는 sns를 통해 설문지를 배부하여 진행하였으며 회수한 설문지를 분석하여 최종 결과 및 결론을 도출하였다.

1.4. 용어의 정의

1.4.1. 교육내용 및 교육내용요소

일반적으로 교육내용은 교사가 가르치고 학생이 학습해야 할 지식, 가치, 태도, 기능(주형미 외, 2020)을 의미하며. 국가 수준 교육과정 문서 속에 실린 교육내용은 학습자가 학습해야 할 주요 영역이나 주요 주제, 해당 영역과 주제에서 성취해야 할 것으로 교사에겐 교육목표에 해당한다(김대현, 2017). 2015년 개정 교육과정에서는 내용요소를 학년(군)에서 배워야 할 필수학습 내용으로, 학습요소는 성취기준에서 학생들이 배워야 할 학습 내용으로 교과의 개념을 제시하고 있다(교육부, 2015). 이에 본 연구에서는 넓은 의미로 교육의 필요성, 교육목표, 교육내용요소를 교육내용으로 보았으며 교육내용요소는 2015 개정 교육과정에 제시된 '내용요소', '학습요소'의 맥락으로 사용하였다.

1.4.2. 양자물리(Quantum Physics)

양자물리(Quantum Physics, QP)는 수학적 설명에 초점을 맞춘 양자역학(Quantum Mechanics, QM)보다 '핵심 아이디어(big ideas)'를 강조한 용어로 볼 수 있기에(Stadermann *et al.*, 2019) 본 연구에서는 양자물리(Quantum Physics)라는 용어를 사용하였다. '핵심 아이디어'에 초점을 맞춘 양자물리의 내용요소는 Stadermann *et al.* (2019)의 내용요소 분석틀을 토대로 총 6개의 주제인 양자물리의 기본원리(Fundamental QP principles), 현상(Phenomena), 응용사례(Application), 원자이론(Atomic theory), 파동함수 또는 수학적 표현(Wave function or other mathematical representations), 양자물리의 철학적 측면(Philosophical aspects of QP)으로 분류하였다.

1.4.3. 양자물리 교육에 대한 교사의 인식

양자물리 교육에 대한 교사의 인식은 Taba(1962)의 요구진단의 맥락에서 조사되었다. 즉, 고등학교에서의 양자물리 교육내용을 탐색하기 전에 현행 교육과정에 대한 요구진단(Taba, 1962)을 하기 위해 양자물리 교육에 대한 교사의 인식을 조사하였다. 교사의 인식은 양자물리 교육과 관련된 학생의 흥미 및 학습의 어려움, 교사가 양자물리 교육을 지도하면서 겪는 교육과정 내용 및 운영에서의 어려움을 중심으로 조사되었다.

1.5. 연구의 한계

본 연구는 물리교사가 생각하는 고등학교에서의 양자물리 교육내용을 알아보기 위해 2009개정 및 2015개정 교육과정에서 양자물리 교육 관련 교수학습 경험이 있는 교사들을 대상으로 델파이 연구를 실시하였다. 이 과정에서 다음과 같은 한계점을 지닌다.

첫째, 연구결과를 일반화하기에는 한계가 있다. 전국의 물리교사 중 단 14명이 연구에 참여하였으므로 전체 물리교사의 의견을 대표할 수는 없기에 일반화하기에는 한계가 있다. 또한, 2015 개정 물리학Ⅱ가 실시된지 1년밖에 되지 않아 전문가 집단으로 2009개정의 물리Ⅰ·Ⅱ 및 2015개정 교육과정의 물리학Ⅰ을 가르친 교사를 표집하였기에 일반화하기에는 한계가 있다.

둘째, 연구자의 주관이 개입될 수 있다는 한계가 있다. 델파이 방법을 이용해 연구를 진행할 때 각 조사 때마다 패널들의 의견을 개방형으로 수집하였지만, 패널들을 직접 면담하지 않았기 때문에 분석 과정에서 연구자의 주관이 개입될 수 있다는 한계가 있다.

셋째, 교육과정 개발과 관련 있는 교과교육학, 교육학, 교과학문 등의 다양한 전문가 의견이 반영되지 않았다는 한계를 가진다. 교사는 현장 경험을 토대로 학생과 교육과정에 대한 전문성을 갖추고 있는 집단이지만, 교육과정 개발에는 다양한 전문가 집단이 참여할 수 있으며 어느 집단이 참여하느냐에 따라 교육과정의 성격과 내용이 달라질 수 있다. 이에 교육과정과 관련 있는 다양한 전문가 집단들을 대상으로 한 후속 연구가 필요하다.

제 2 장 이론적 배경

2.1. 교육내용의 의미

교육내용은 일반적으로 교육과정 목표를 달성하기 위해 학교에서 가르치고 배우는 대상을 의미한다(박현주, 2005). 주형미 외(2020)는 교육내용의 의미를 다음과 같이 제시하였다.

> 교사가 가르치고 학생이 학습해야 할 지식, 가치, 태도, 기능 등이며 교육적으로 학생이 경험할 수 있는 것으로 제공되어야 하는 것을 의미하며 이는 교육과정에서 교육 목표를 달성하기 위한 교과의 필수적인 학습 내용으로서 제시되어야 하며 실제 교수 · 학습으로 구현될 수 있어야 한다(주형미 외, 2020).

김대현(2017)은 교육내용에는 국가 수준 교육과정 문서 속에 실린 교육내용, 교과서를 포함하여 교육현장에서 사용되는 교재 속에 실린 내용, 수업자가 학습자에게 가르치는 내용, 학습자가 학습한 내용으로 구분할 수 있다고 하였다. 그 중, 국가 수준 교육과정 문서 속에 실린 교육내용은 학습자가 학습해야 할 주요 영역이나 주요 주제, 해당 영역과 주제에서 성취해야 할 것으로 교사에겐 교육목표에 해당한다(김대현, 2017). Taba(1962)는 교육의 목적은 개인 및 사회의 가치와 요구를 충족시키는 것으로 학생들이 '무엇을 배우기를 원하고 배울 필요가 있는가?'를 확인할 것을 제안하였다. 즉, 개인 및 사회의 가치와 요구는 교육의 필요성으로 볼 수 있었다. 또한, Taba(1962)는 개인 및 사회의 가치와 요구를 반영한 교육목표는 특정 지식(knowledge), 기술(skills, techniques), 태도(attitude)를 습득함으로써 달성할 수 있으며 이를 위해 교과 혹은 교육과정의 내용(Content)으로 중심 주제, 핵심 아이디어, 핵심 아이디어의 구체적인 사실과 세부사항을 정할 것을 제안하였다.

2015 개정 교육과정(교육부, 2015)에서는 학생들이 배워야 할 내용체

계를 영역, 핵심개념, 일반화된 지식, 내용요소, 기능을 중심으로 제시하였다. 영역은 교과의 성격을 가장 잘 나타내는 최상위의 교과 내용 범주를 의미하며, 핵심개념은 교과의 기초 개념이나 원리, 일반화된 지식은 학생들이 해당 영역에서 알아야 할 보편적인 지식을 의미한다. 내용요소는 학년(군)에서 배워야 할 필수학습 내용을 의미하며 기능은 수업 후 학생들이 할 수 있거나 할 수 있기를 기대하는 능력으로 교과 고유의 탐구과정 및 사고 기능 등을 포함한다. 2015 개정 교육과정에서는 따로 학습요소를 제시하고 있는데 이는 성취기준에서 학생들이 배워야 할 학습 내용을 의미한다. 즉, 2015 개정 교육과정에서는 내용요소와 학습내용을 학생들이 배워야 할 교과지식으로 제시하고 있음을 알 수 있다.

본 연구는 국가 수준 교육과정 문서 속에 실린 교육내용을 분석하여 물리교사가 생각하는 적절한 고등학교 양자물리 교육내용을 조사하고자 하였다. Taba(1962)에 따르면 교육목표는 교육의 필요성과 교과 혹은 교육과정의 내용(Content)을 포함하고 있는 것으로 교육내용을 교육의 필요성, 교육목표, 교과 혹은 교육과정의 내용을 의미한다고 볼 수 있었다. 또한, 2015 개정 교육과정에 따르면 교과 혹은 교육과정의 내용은 내용요소와 학습요소를 의미한다고 볼 수 있었다. 이에 본 연구에서는 교육내용은 교육의 필요성, 교육목표, 교육내용요소를 포함한다고 보았으며 교육내용요소는 2015 개정 교육과정에 제시된 '내용요소', '학습요소'의 맥락으로 사용하였다.

2.2. 양자물리 교육

2.2.1. 양자물리 교육관련 선행연구

양자물리학이 현대 물리학과 다양한 분야에 미치는 중요성으로 인해 양자물리 교육의 필요성이 강조되었다(Pospiech, 2008). 이에 많은 국가의 중등학교 교육과정에 양자물리 관련 교육내용이 포함되었으며(Krijtenburg-Lewerissa *et al.*, 2017; Stadermann *et al.*, 2019; 조헌국, 2018) 최근 적절한 중등학교 대상 양자물리 교육의 방향에 대한 연구가 이루어졌다.

Michelini *et al.* (2000)은 중요한 실험에 대한 비판적 검토와 함께 역사적인 발전과정을 통해 양자물리학을 소개하는 기존의 방법은 학생들이 도입부의 입자-파동 이중성부터 이해하는데 어려움을 겪기 때문에 양자물리학을 이해하기엔 단점이 있는 교수학습 방법이라고 주장하였다. 이에 높은 수준의 수학적 또는 물리학적 지식 없이 디락방식(Dirac formulation)을 중심으로 양자물리를 도입하는 새로운 접근방법을 제안하였다. 디락방식은 양자물리의 기본원리로 널리 인식되는 중첩 원리의 역할을 강조하며 모든 미시 현상에 대한 통합된 관점을 제공하기 때문에 Michelini *et al.* (2000) 디락방식 중심의 접근방법이 양자물리를 이해하는데 도움이 되는 방법일 것이라고 제안하였다.

Kalkanis *et al.* (2003)는 양자물리학과 고전물리학 사이의 공통점을 강조하며 양자물리 내용을 소개하는 방법, 여러 입자 및 원자 모델을 제공하고 원자물리에 초점을 맞춘 방법, 고전물리에서 나타나는 어려움에 대한 설명 없이 현대물리를 도입하는 방법 등으로 이루어진 전통적인 교수방법은 학생들이 양자물리 개념에 대한 오개념①을 가지게 할 수 있다고 하

① Kalkanis et al. (2003)은 학생들이 양자물리학(QM)과 고전역학(CP)개념의 중복과 혼동으로 인해 오개념(misconception)을 가진다고 보았으며 이러한 오개념은 양자물리학 지식 습득에 대한 인식론적 장애물로 간주하였다.

였다. 이에 새로운 교수학습방법으로 고전물리학과 완전히 다른 세계관을 제시하는 것, 고전물리학과 양자물리학 사이의 깊은 개념적 차이를 구체화하기 위해 보어의 원자모델을 제시하는 것, 상보성원리의 의미를 제시하는 것을 제안하였다.

Pospiech(2008)는 고등학생에게 양자이론의 기본개념을 가르쳐야 한다고 주장하였다. 하지만, 양자이론의 응용, 철학적 논쟁, 수학적 구조, 기본개념 또는 현상과 같은 특정 측면에 초점을 맞춘 다양한 접근방법이 있으나 어떤 측면에 초점을 맞춰 가르칠 것인가에 대해 합의가 이루어지진 않았다고 하였다. 이에 Pospiech(2008)는 고전물리학과 양자물리학의 차이점을 드러내는 하이젠베르크의 불확정성 원리와 측정 과정의 의미를 전달하는 것에 주안점을 둔 광전효과, 이중슬릿 실험, 측정과정과 하이젠베르크의 불확정성 원리, 양자정보가 포함된 교육과정을 제안하였다.

Stadermann *et al.* (2019)는 서구의 15개국의 상위 중등학교 교육과정(upper secondary school)에 포함된 양자물리학 내용을 양자물리의 기본원리, 현상과 응용, 원자이론, 양자물리의 철학적 측면인 5개의 주제를 중심으로 관련된 교육과정 내용요소를 분석하였다. 대부분의 교육과정에는 양자물리의 기본원리와 현상 및 응용사례를 중심으로 불연속적인 에너지 준위, 빛과 물질의 상호작용, 입자-파동 이중성, 물질파 및 양자화, 기술적 응용, 하이젠베르크의 불확정성 원리, 양자물리의 확률적 특징이 포함되어 있었으며 이를 핵심 교육과정으로 분류하였다. 하지만, Stadermann *et al.* (2019)는 다른 핵심 교육과정과 달리 양자물리학의 입문 교육과정에서 응용사례를 다루는 것이 학문적 전통에 속하지 않음에도 불구하고(Johansson *et al.*, 2018) 중등학교 양자물리학 교육과정에서 응용사례를 중심으로 다루고 있다고 보고하였다. 또한, 양자물리학과 과학의 본성(Nature of Science)간의 연관성을 다루는 부분이 부족하다고 보고하며 제시한 핵심 교육과정이 개념적 수준에서 양자물리학을 도입하는 가장 좋은 방법이 아닐 수 있으며 제안된 교육과정의 교육적 가능성을 조사하기 위한 추후 연구가 필요하다고 제언하였다.

중등학교에서 과학적 소양(Scientific literacy)을 함양하기 위해 필요

한 양자물리학의 교육내용요소를 양자물리학 관련 내용학 전문가들을(1차 17명, 2차 12명, 3차 11명, 면담 9명)대상으로 논의한 연구도 있었다. 내용학 전문가들은 과학적 소양 함양을 위해 과학적 개념을 이해하는 것, 일상생활에서의 과학의 영향을 보는 것, 과학적 문제를 식별하고 설명하는 것을 중요하게 생각하고 있었다. 또한, 교육목표에 도달하기 위한 양자물리의 내용요소로 이중성(입자파동 이중성, 빛의 입자적 행동, 드브로이 파장, 하이젠베르크의 불확정성 원리, 이중슬릿 실험, 광전효과), 파동함수(파동함수, 확률 및 1차원 퍼텐셜 우물), 원자(에너지 준위, 양자화, 원자구조, 선스펙트럼, 수소원자, 주기율표)를 제안하였다. 하지만 내용학 전문가들 대상으로만 논의가 이루어졌기 때문에 현장에서 학생들이 실제로 겪고 있는 어려운 부분과 이해정도가 반영되지 않았다는 한계가 있다. 또한, 양자 역학 교과 과정의 개발을 위해서는 학생들이 무엇을 배워야 하는지에 대한 통찰력 뿐만 아니라 중등 학교 수준에서 이러한 주제를 가르칠 수 있는 가능성에 대한 지식이 필요하다고 제언하였다.

한편, 양자물리 교육 연구는 주로 학생들의 개념적 어려움에 초점을 맞춘 연구가 주로 진행되고 있으며 양자물리를 가르치고 배우는 과정에서 교사의 어려움과 학생들의 흥미와 어려움을 조사한 연구는 적은 편이다(Bouchée *et al.*, 2021; Johansson *et al.*, 2018).

Johansson *et al.* (2018)은 학부생을 대상으로 양자물리학에 대한 학생들의 경험을 질적 분석하였다. 분석결과, 학생들은 양자물리학을 물리학을 공부하도록 영감을 주는 흥미로운 주제라고 생각하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 얽힘으로 인해 발생하는 독특한 해석이나 문제의 접근방법 등이 많은 학생들의 호기심과 흥미를 불러일으키는 것으로 나타났다. 그러나 양자물리 학습에는 수학적 능력이 요구되기 때문에 학생들이 쉽게 흥미를 잃기도 한다고 보고하였다.

Bouchée *et al.* (2021)은 양자물리 교수학습 과정에서 교사와 학생이 경험한 기회와 도전(opportunities and challenges)을 조사하기 위해 3명의 교사와 교사의 학생 5명을 대상으로 반구조화된 인터뷰를 진행하였다. 교사와 학생들은 양자물리학에 대한 학생들의 이해를 돕는 데 교사의

역할이 중요하며 무료로 사용할 수 있는 디지털 자료가 도움이 된다고 보고하였다. 이에 양자 물리학의 교수학습을 개선하기 위해서는 교사의 전문성 개발 기회와 자유롭게 사용할 수 있는 디지털 자료를 효과적으로 사용할 수 있는 방법에 대한 추후 연구가 이뤄져야 한다고 보았다.

앞서 살펴본 것과 같이 양자물리 교육과 관련된 연구가 진행되고 있지만 고등학생을 대상으로 한 교육내용에 대한 연구와 교사와 학생의 어려움을 조사한 연구는 많지 않았다. 양자물리 교육 관련 선행연구(Michelini *et al.*, 2000; Kalkanis *et al.*, 2003; Pospiech, 2008)에서 제안된 교육내용이 고등학생들의 개념이해에 도움이 되는지에 대한 추후 연구가 필요하다. 중등학교 단계에서 필요한 양자물리 교육내용을 조사한 연구(Krijtenburg-Lewerissa *et al.*, 2019)는 내용학 전문가들이 연구, 개발 및 응용 측면에서 중요하다고 생각하는 양자물리의 내용을 중심으로 조사되었다는 점과 교사 집단과 연구자 집단의 의견이 다르게 나타날 수 있다는 점(Sakhnini & Blonder, 2015)을 고려한다면 현장경험을 갖고 있는 교사들을 대상으로 적절한 양자물리 교육내용이 무엇인지 조사할 필요가 있다고 판단된다. 또한, 고등학생을 대상으로 적절한 양자물리 교육내용을 조사하기 전에 기존의 양자물리 교육과정의 경험을 토대로 교사와 학생들이 직면한 요구사항을 조사하는 것이 필요하다고 볼 수 있다.

2.2.2. 양자물리 관련 교육내용요소 분류틀

본 연구에서 고등학교 양자물리 교육내용을 조사하기 위해 교사들에게 양자물리 관련 내용요소를 제시할 필요가 있었다. 이에 다음과 같이 본 연구에서 사용할 양자물리 주제 및 관련 내용요소 분류틀을 선행연구에서 논의된 내용을 토대로 표 1과 같이 구성하였다. 먼저, Stadermann *et al.* (2019)에서 제시한 5개의 양자물리 주제인 양자물리의 기본원리, 현상 및 응용사례, 원자이론, 파동함수 또는 수학적 표현, 양자물리의 철학적 측면에서 현상과 응용사례를 분리하여 총 6개의 주제와 관련 내용요소를 중심으로 내용요소 분류틀을 구성하였다. 그 다음, Krijtenburg-Lewerissa *et al.* (2019)과 2009개정 교육과정(교육과학기술부, 2011) 및 2015 개정 교육과정(교육부, 2015)에 제시되어 있으나 Stadermann *et al.* (2019) 분류틀에 포함되어 있지 않은 내용요소를 추출하고 교육과정에 제시된 용어로 수정하였다. 2009개정의 경우 교육과정 해설서에 제시된 내용체계에서 내용요소를 추출한 후, 추가로 영역별 성취기준과 내용해설을 분석하여 내용요소를 추출하였다. 2015 개정 교육과정의 경우 내용체계에서 내용요소를 추출한 후, 추가로 성취기준, 학습요소, 성취기준 해설을 분석하여 내용요소를 추출하였다.

표 1. 양자물리 주제 및 관련 내용요소 분류틀

주제	관련 내용요소			
양자물리의 기본원리	입자-파동 이중성 빛의 입자성	물질의 파동성 상보성 원리	불확정성 원리 확률적(통계적) 예측	파울리의 배타원리 양자 얽힘
현상	흑체복사 불연속적인 에너지 준위 선스펙트럼	컴프턴 산란 광전효과 물질파	데이비슨-저머 실험 전자의 회절 실험 이중슬릿 실험	양자터널 효과 원자핵의 붕괴
응용사례	다이오드 LED 트랜지스터	정보 저장매체 전하결합소자(CCD) 태양전지	광센서 전자 현미경 레이저	양자컴퓨터 양자정보 신소재
원자 이론	불연속적인 에너지 준위 선스펙트럼 에너지띠 이론(고체의 전기전도성)	보어 원자 모델 원자 궤도 모델(현대 원자모형) 일차원 모델(포텐셜 우물)	자성체 전자의 스핀, 궤도운동 양자수	파울리의 배타원리 원자의 주기율표 페르미온과 보존
파동함수 또는 수학적 표현	슈뢰딩거 방정식 일차원 모델(포텐셜 우물)	중첩원리 확률계산	보른의 해석 시간변화(시간에 따라 계의 상태가 바뀌는 과정)	
양자물리의 철학적 측면	양자얽힘(Entanglement) 양자물리의 발전과정	입자-파동 이중성 상보성	양자물리의 철학적 인식론적 해석 양자물리의 확률론적 해석	슈뢰딩거의 고양이 사고 실험

2.2.3. 국내 교육과정의 양자물리 교육내용요소

국내에서도 원자의 구조를 중심으로 양자현상에 대해 부분적으로만 소개되다가 물리학이 현대 과학문명을 유지하는 기본 원리임을 알고 과학기술과 관련된 전공 분야로 진출하는 학생들에게 필요한 전공 기초 소양을 함양하기 위해서 2009개정 교육과정의 물리Ⅱ 양자물리의 내용이 대폭 강화되었다(교육과학기술부, 2011; 박병윤, 2012; 임성민, 2020; 정민영 & 최호명, 2012). 2015 개정 교육과정에서는 물리학Ⅰ과 물리학Ⅱ 과목 모두 현대물리 영역에서 양자현상 또는 양자물리의 기초원리를 다루고 있다(강남화, 2019; 교육부, 2015).

한편, 2009개정 교육과정의 물리Ⅱ, 2015 개정 교육과정의 물리학Ⅰ, 물리학Ⅱ에는 양자물리 관련 단원이 명시적으로 소개되어 있지만, 그 외의 단원에도 양자물리 관련 내용요소가 부분적으로 포함되어 있다. 예를 들면, 2009개정 교육과정의 물리Ⅰ의 정보와 통신 영역에서 “광전효과를 이해하고, 여러 가지 광센서의 구조와 원리를 안다.”라고 제시하며 다음과 같이 설명하고 있다(교육과학기술부, 2011).

> 관찰을 통하여 광전효과를 알게 하고, 이에 대한 아인슈타인의 해석과 빛의 입자성에 대해 알게 한다. 이를 바탕으로 빛을 흡수하여 에너지가 증가함으로 전류가 생기는 여러 가지 광센서와 태양전지의 작동 원리를 정성적으로 이해하게 한다. 식물에 의한 광합성 과정도 이와 유사함을 알게 한다(교육과학기술부, 2011).

이에 교육과정에 제시된 내용체계, 성취기준, 해설 내용을 분석하여 포함된 양자물리 내용요소를 추출하여 구성된 양자물리 주제 및 관련 내용요소 분류틀(표 1)에서 교육과정에 포함된 교육내용요소를 따로 표 2와 같이 정리하였다.

표 2. 국내 교육과정에 포함된 양자물리 주제 및 관련 내용요소

주제	교육과정 및 과목명 / 관련 내용요소	2009 교육과정		2015 교육과정	
		물리Ⅰ	물리Ⅱ	물리학 Ⅰ	물리학 Ⅱ
양자물리의 기본 원리	빛의 입자성	○B	○F	·	○d
	빛의 이중성	·	·	○b	·
	물질의 파동성	·	○F	·	○d
	물질의 이중성	·	·	○b	·
	불확정성 원리	·	○F	·	○d
현상	흑체복사 (플랑크의 양자설)	·	○F	·	·
	광전효과	○B	○F	·	○d
	컴프턴 산란	·	○F	·	·
	드브로이의 물질파	·	○F	·	○d
	전자의 회절 실험	·	·	·	○d
	데이비슨-저머실험	·	○F	·	·
	양자터널 효과	·	○F	·	·
	원자핵의 붕괴	·	○F	·	·
응용사례	다이오드	○A	·	○a	·
	LED	○A	○F	·	
	트랜지스터	○A	·	·	○c
	전하결합소자(CCD)	·	·	○b	·
	태양전지	○C	·	·	·
	광센서	○C	·	·	·
	전자 현미경	·	○F	○b	·
	레이저	·	○E, F	·	·
	정보 저장매체 (하드 디스크 등)	○B	·	·	·
	신소재 (초전도체, 유전체, 액정 등)	○A	·	·	·

주제	교육과정 및 과목명 / 관련 내용요소	2009 교육과정		2015 교육과정	
		물리Ⅰ	물리Ⅱ	물리학Ⅰ	물리학Ⅱ
원자 이론	에너지 준위	○A	○F	○a	·
	선스펙트럼	○A	○F	○a	·
	에너지띠 이론, 고체의 전기전도성	○A	○F	○a	·
	보어의 원자모형	·	·	·	○d
	현대적 원자모형	·	○F	·	○d
	파울리의 배타원리	·	○F	·	·
	원자의 주기율표	·	○F	·	·
	양자수	·	○F	·	·
	자성체	○A	○D	○a	·
	전자의 스핀, 궤도운동	○A	○D	·	·
파동함수	슈뢰딩거 방정식	·	○F	·	·
	파동함수	·	○F	·	·
	입자가 발견될 확률	·	○F	·	·
양자물리의 철학적측면	·	·	·	·	·

※ A ~ F, a ~ d: 양자물리 관련 내용요소가 포함된 해당 대단원

2009 개정 교육과정 물리Ⅰ: A 물질과 전자기장, B 정보와 통신, C 에너지

2009 개정 교육과정 물리Ⅱ: D 전기와 자기, E 파동과 빛, F 미시세계와 양자현상

2015 개정 교육과정 물리Ⅰ: a 물질과 전자기장, b 파동과 정보통신

2015 개정 교육과정 물리Ⅱ: c 전자기장, d 파동과 물질의 성질

2009개정 교육과정의 물리Ⅰ에서는 양자물리 내용이 양자물리 단원으로 제시된 것이 아니라 응용사례를 중심으로 분절적으로 제시되어 있다. 즉, '물질과 전자기장'단원에서 원자의 양자화된 에너지 준위, 스펙트럼, 에너지띠 이론을 토대로 응용사례인 반도체 소자의 원리를 이해하도록 제시하고 있으며 '정보와 통신' 단원에서는 광센서의 원리를 알기 위해 광전효과와 빛의 입자성을 제시하고 있다. 또한, '에너지 단원'에서 '물질과 전자기장'단원에서 배운 반도체 소자에 대한 개념을 바탕으로 태양전지의 원리를 이해하도록 제시하고 있다.

2009개정 교육과정 물리Ⅱ에서는 '미시세계와 양자현상'단원에서 양자물리의 대부분의 내용을 다루고 있다. 흑체복사와 광전효과 등 물질의 이중성 개념을 탄생시킨 현상부터 불확정성의 원리와 슈뢰딩거 방정식, 파동함수를 다루고 있다. 응용사례로는 레이저, LED, STM등의 원리를 다루고 있으며, 레이저의 경우 '파동과 빛' 단원에도 포함되어 있었다.

2015 개정 교육과정 물리학Ⅰ에서는 '물질과 전자기장'단원에서 에너지의 준위와 에너지띠 이론을 다루고 있었으며 '파동과 빛'단원에서 빛의 입자성과 입자의 파동성을 학습하고 정보통신 사례인 전하결합 소자(CCD)와 전자현미경의 원리를 이해하도록 제시하고 있다.

2015 개정 교육과정 물리학Ⅱ에서는 '전자기장'단원에서 응용사례인 트랜지스터를 다루고 있으며 '파동과 물질의 성질'단원에서 물리학Ⅰ에 제시된 용어와 달리 빛의 입자성과 물질의 파동성을 내용요소로 제시하고, 드브로이의 물질파, 광전효과, 전자의 회절 실험을 추가로 제시하고 있다. 또한, 교육내용요소로 불확정성원리 내용이 추가되었으며 원자모형을 불확정성 원리와 같이 다루도록 제시하고 있다.

물리학Ⅰ은 시민으로서 갖추어야 할 소양을 함양하기 위한 과목(교육과학기술부, 2011; 교육부, 2015)으로 양자물리의 내용요소가 응용사례를 중심으로 제시되어 있으며 이는 Stadermann *et al.* (2019)가 분석한 교육과정의 특징과 일치한다. 하지만, 네덜란드의 양자물리 관련 내용학 전문가들의 양자물리 교육과정에 학생들에게 설명할 수 없는 응용사례를 포함해서는 안 되며 응용사례를 제시하더라도 설명하려고 해서는 안 된다는

주장이 있다(Krijtenburg-Lewerissa *et al.*, 2019). 또한, 다른 핵심 교육과정과 달리 양자물리의 입문 교육과정에서 응용사례를 다루는 것은 학문적 전통에 속하지 않는다는 주장도 있다(Johansson *et al.*, 2018). 이에 양자물리 내용요소로 응용사례를 포함하는 것에 대한 교사의 의견을 살펴볼 필요가 있다.

한편, 2009 개정 교육과정이 실시된 이후, 현장 교사들은 고등학교 물리 교육과정의 내용이 많고 난이도가 높다는 점을 비판하였다(강남화, 2015). 이에 2015 교육과정은 핵심 개념 및 내용 중심 역량 학습이라는 취지에 맞추고, 학습량을 조정하는데 중점을 두고 개정되면서(강남화, 2015) 2009개정 교육과정에서 포함되었던 현대 물리 내용이 대폭 축소되었다(강남화, 2019). 이에 현대물리학의 내용을 추가하거나 삭제하는 방법으로 물리교육과정 내용을 조정하는 것이 적절한지에 대해 생각해 볼 필요가 있다는 주장이 있다(강남화, 2019).

따라서 2009개정 교육과정 및 2015개정 교육과정에서 실시된 물리학Ⅰ과 물리학Ⅱ의 양자물리 내용을 지도했던 교사의 경험을 토대로 고등학생들 대상으로 한 양자물리 교육내용요소가 무엇인지에 대한 논의가 필요한 것으로 보인다.

2.3. Taba의 교사참여 교육과정 개발 모형

2.3.1. 교육과정 개발 및 개발 주체집단으로서 교사의 역할

교육과정 개발(Curriculum development)은 교육목적과 교육내용을 체계화하고 이를 효과적으로 전달하기 위한 교육방법, 교육평가, 교육운영 등에 대한 종합적인 계획을 세우는 활동을 의미한다(고재희, 2010; 김대현, 2020). 그러나 엄밀한 의미에서 교육과정 개발은 사회의 요구와 학생의 요구에 부응하는 교육목적을 달성하기 위하여, 참여집단을 선별하고 조직하며 물적 자원을 갖추고, 그런 다음 교육과정 구성요소의 성격을 규정하고 이들을 유기적으로 조직하여, 교육과정 산출물(교육과정, 교과서, 교사용 지도서 등)을 생산해 내는 일련의 과정을 의미한다(김대현, 2020).

교육과정 설계(curriculum design)는 교육목표를 설정하고 이 목표를 달성하기 위해 적절한 내용을 선정 및 조직하는 일련의 체계적인 작업을 의미한다(고재희, 2010). 즉, 교육과정 설계는 목적, 내용 또는 경험, 조직 및 평가를 다루는 기술만을 강조하는 반면, 교육과정 개발은 교육과정 설계를 포함하여 사회문제, 교육의 기초, 변화와 개혁을 위한 조직, 프로그램 행정, 교과 혹은 학문의 본질, 인간관계, 조직 개발, 이론과 실제, 장학, 장학, 연구, 인사문제 등과 같은 폭넓은 교육과정의 문제들을 포괄하여 다룬다(Schubert, 1986). 즉, 교육과정 개발은 설계와 아울러 그 이론적 배경 그리고 계획·시행·평가·개발하는 수단과 방법까지를 포함하는 광범위한 개념을 의미한다.

교육과정 개발에 참여하는 사람들의 생각과 참여방식에 따라 개발된 교육과정의 모습은 매우 달라진다. 따라서 교육과정 의사결정에서 중요한 것은 누가 교육과정 개발에 참여하는 지에 관한 문제이다(고재희, 2010). Hass and Parkay(1993)는 교육과정 개발에는 학생들이 경험하게 될 교육의 질에 관심이 있는 모든 사람들이 교육과정에 참여해야 한다고 하였다. 또한, Macdonald(1975)는 교육과정의 영향을 받는 모든 단체들도 교육과정의 성격과 목표를 결정하는데 포함되어야 한다고 하였다. 이처럼 교

육과정 개발의 주체집단으로서 교과전문가, 교육전문가, 교장, 교사, 학문 영역 대표 집단, 교육 관료집단, 일반 시민, 학부모, 학생 등 다양한 집단이 교육과정 개발에 참여할 수 있다(고재희, 2010).

한편, 교육과정 개발을 두고 전문가 집단과 교사 집단 중에 어느 쪽이 더욱 중요한 역할을 하는가를 둘러싸고 논쟁이 있어왔다(김대현, 2020). 교사들에게 수업계획서 수준의 교육과정보다 더 상위수준의 교육과정 개발을 모두 맡기는 것은 부적절할 수 있다는 주장이 있다(고재희, 2010). 하지만, '교사의 개발 없이는 교육과정 개발도 없다'는 말에서 알 수 있듯이 교사의 참여는 학교의 공동체 정신을 높이고 교육과정의 질과 실천성을 높이는 의미 있는 일이 될 수도 있다(박현주, 2005). 따라서 교사들이 교육과정상의 쟁점들을 고려한다는 것은 결국 학교교육에서 실질적인 문제인 '무엇을 가르쳐야 하는가?', '어떻게 가르쳐야 하는가?', '언제 가르쳐야 하는가?', '교수활동은 어떤 영향을 끼치는가?'와 같은 기본적인 교육과정 문제들을 다루는 것을 의미한다(고재희, 2010). 이에 교사와 교육과정 개발자들은 '학습자에게 가장 가치로운 지식은 무엇인가?', '가장 가치로운 지식(정보, 사실, 기능, 가치, 태도 등)을 학습자들이 습득할 수 있게 하는 가장 효과적인 활동은 무엇인가?', '활동을 가장 적절하게 조직하는 방식은 무엇인가?', 학습자들이 지식을 습득하였는지를 어떻게 확인할 것인가?'와 같은 문제를 탐색함으로써 교육과정 설계와 개발에 효과적으로 접근해 갈 수 있다(고재희, 2010).

요약하자면, 교사는 실제 교실상황에서 학생과 상호작용을 하며 지속적으로 분석하고 연구하며 전문적 지식을 소유하고 있기 때문에 교육과정의 의사결정에 있어서 중심적 위치에 있으며(고재희, 2010) 교육과정을 실행할 사람으로서 계획된 교육과정과 학생이 실제로 경험할 교육과정간의 간극을 줄이는 역할을 가지고 있다(박현주, 2005). 따라서 현장 경험을 바탕으로 교육과정 실제에 대한 교사의 의견을 듣는 것이 필요하다고 볼 수 있다.

2.3.2. Taba의 교사참여 교육과정 개발모형

교육과정 개발 모형은 교육과정 개발 과정에 개재하는 요인들의 많은 수, 다양성, 관계의 복잡성으로 인해 제시되었다(김대현, 2020). Posner (1998)는 교육과정 개발 모형을 절차적 모형, 서술적 모형, 개념적 모형, 비판적 모형 네 가지로 나누었다. 또한, 교육과정 개발 모형은 성격에 따라 처방적-기술적, 연역적-귀납적, 순차적-상호작용적 등으로 나눌 수 있으나(김대현, 2020) 대부분의 모형은 기술적, 비기술적으로 분류될 수 있으며 기술적 모형에 속하는 대표적인 학자로는 Tyler, Taba, Saylor& Alexander, Hunkins, Goodlad, Waler, Miller&Seller 등이 있다 (Hunkins and Ornstein, 2016).

그 중, Taba(1962)는 사회 및 문화의 분석, 학습자와 학습과정의 연구, 교육과정의 본질과 학교의 목적을 결정하기 위한 지식의 본질에 대한 분석을 이끌어내기 위하여 과학적 교육과정 개발이 필요하다고 보고 Tyler (1949)의 네 가지 개발 단계[②]를 정교화하여 교육과정 개발 과정을 제시하였다. Taba의 교육과정 개발모형은 교육과정 계획을 기술적, 처방적인 일로 가정하며 체계적이고 객관적이며 과학적인 개발방식을 강조한다는 점에서 타일러 모형과 유사하지만(박현주, 2005), Tyler의 개발모형과 달리 교사에 의해 교육과정이 개발되어야 함을 강조하고 있다(Hunkins & Hammill, 1994). 즉, Taba(1962)는 중앙에서 개발된 교육과정이 그대

---

② Tyler모형에서는 교육과정 개발자들이 교육과정을 개발할 때 어떤 순서로 어떻게 해결할 것인가에 대한 절차를 제시하고 있다(Posner, 1998). Tyler(1949)는 '교육과정과 수업의 기본원리(Basic Principles of Curriculum and Instruction)'라는 저서에서 교육과정과 수업을 계획할 때 고려해야 할 네 가지의 질문을 다음과 같이 제시하였다.

- 학교가 달성해야 할 교육목표는 무엇인가?
- 목표를 달성하기 위하여 어떤 학습경험을 제공해야 하는가?
- 학습경험을 효과적으로 조직하는 방법은 무엇인가?
- 목표가 달성되었는지를 어떻게 할 수 있는가?

로 교사에게 전달되는 방식 자체가 잘못되었으며 교육과정은 실제로 그 교육과정을 이용하는 사람들에 의해 설계되어야 한다고 보며 교사에 의한 교육과정 개발을 강조하였다.

또한, Tyler의 교육과정 개발모형과 달리 Taba(1962)는 교과의 단원(unit)[③]을 개발하는 것부터 시작하여 단원에 대한 교육과정을 누적시킴으로써 교과의 교육과정을 형성해야 한다고 하였다. 전체적으로 교육과정 개발은 예비단원(unit) 개발, 예비단원 실행, 예비단원의 수정 및 보완, 단원의 배열 마지막으로 단원이 정착 및 보급으로 이루어져야 하며 예비단원을 개발할 때는 아래의 8단계를 순차적으로 거쳐 개발되어야 한다고 제안하였다(Taba, 1962; 고재희, 2010).

① Diagnosing needs(요구의 진단)

교사(교육과정 개발자)는 교육과정의 대상자인 학생들의 교육적 요구(the educational needs of students), 교실에서의 학습 조건, 교육목표의 최적 달성에 영향을 미치는 요인 등을 분석해야 한다. 이를 위해 성취도에 대한 진단(Diagnosis of achievement), 학습자로서 학생에 대한 진단(Diagnosis of student as learners), 교육과정 문제에 대한 진단((Diagnosis of curriculum)이 이루어져야 한다. 그 중, 학생들의 교육적 요구와 관련해서 '학생들이 무엇을 배우기를 원하고 배울 필요가 있는가?'를 확인해야 한다.

---

③ Taba(1962)는 저서 『Curriculum development: Theory and practice』에서 단원(unit)을 다음과 같이 정의하였다.

The term unit will be used here to refer to an organized segment of a teaching learning plan. It is used in the generic sense and not as an example of any special variety of "units."

② Formulating specific objectives(목표 설정)

교육목표의 설정은 요구를 진단한 후 이에 근거하여 교육목표가 정해져야 한다. 요구 진단을 통해 강조해야 할 목표 또는 측면을 확인하고 성취되어야 할 목표들을 구체화한다. 개인 및 사회의 가치와 요구를 충족시키는 것이 교육의 목적이며 일반적으로 특정 지식, 기술(skills and techniques), 태도를 습득함으로써 이루어질 수 있다. 교육목표는 특정 단원, 주제, 과정 또는 학년 수준에서 정해질 수 있다.

③ Selecting content: topics, basic ideas, specific content(내용의 선정)

설정된 교육목표의 달성을 위해 교과 혹은 교육과정의 내용을 선정한다. 즉, 요구와 교육목표를 고려하여 교과 혹은 교육과정의 내용을 선택해야 한다. 먼저 중심 주제(topic)와 그 차원을 정하고, 주제 또는 단원에서 다룰 핵심 아이디어(basic idea)를 정하고 그 다음에 핵심아이디어의 구체적인 사실과 세부사항(specific content)을 정해야 한다.

한편, 내용을 선정할 때 교사는 내적 준거로 내용의 타당성과 의의, 폭과 깊이의 균형을 고려해야하며 외적준거로 사회적 실제와의 일치 광범위한 목적을 위한 대책, 학생들의 경험에 대한 적응력과 학습 능력, 학생의 욕구 및 흥미에의 적절성 등을 고려해야한다(Taba, 1962; 이경섭, 1991).

④ Organizing content(내용의 조직)

선택한 주제, 핵심 아이디어, 구체적인 세부사항을 선정한 후에 학습자들의 성숙과 그들의 학문적 성취와 흥미를 고려하면서 계열화해야 한다. 또한, 핵심아이디어는 주제(topic)에 대한 사고의 구조를 나타내고 있으므로 단원은 사고의 구조를 가르치는 방법으로 구성되어야 한다. 따라서 핵심아이디어와 구체적인 사실 및 세부사항 그리고 핵심아이디어들 사이의 관계를 확립하고 귀납적으로 일반화할 수 있도록 내용조직이 이뤄져야 한다.

⑤ Selecting learning experiences(학습경험의 선정), ⑥ Organizing learning experiences(학습경험의 조직)

선정된 내용들은 학생들에게 제시되고 학생들은 내용과 상호작용을 한다. 따라서 교사는 학생들과 내용을 함께 고려할 수 있는 수업방법을 선정하고, 학습활동 또한 계열화되고 조직화되어야 한다. 학습경험을 선정하고 조직하기 위해서 교사는 학습의 원리, 개념 획득의 전략, 학습 계열화를 깊이 있게 이해하고 있어야 한다.

⑦ Evaluating(평가)

교육과정의 목적(목표)가 성취되고 있는지 점검해야 한다. 즉, 평가단계에서는 목표, 요구, 또는 학습 및 진행과 변화를 평가하기 위한 기준을 정해야 한다. 평가절차는 학생들과 교사들에 의해 고려되어야 한다(박현주, 2005).

⑧ Checking for balance and sequence(균형과 계열의 점검)

단원의 윤곽이 결정되면 전체적으로 일관성 있게 구성되었는지 점검해야 한다. 단원의 각 부분을 개발하면서 일부 측면은 필요 이상으로 강조하거나 일부 측면은 축소될 수 있기 때문에 이런 결함을 수정하기 위해서는 단원의 다양한 요소인 목표, 핵심아이디어, 내용개요, 학습 활동 간의 일관성과 균형에 대한 검토가 이뤄져야 한다.

Taba(1962)는 목표의 역할과 가치를 강조함으로써 교육과정 개발자들이 그들의 과제에 대해 진지하게 사고해 볼 수 있도록 단계를 제시하고 있다. 즉, 교육과정 개발의 고유 논리라고 할 수 있는 목표의 개발, 내용과 학습활동의 설정, 평가라는 과정을 제시하며 논리적이고 합리적인 접근 방법을 도출할 수 있도록 하였다(고재희, 2010).

요약하자면, Taba(1962)는 교육과정은 실제로 그 교육과정 프로그램을 이용하는 사람들에 의해 설계되어야 한다고 보고 교사의 참여를 통해 교육현장의 요구를 보다 적극적으로 반영할 것을 강조하였다. 또한, 계속적인 요구 진단을 통한 교육과정 요소들의 상호작용을 강조하였다. 즉, 시대와 학생들의 요구에 맞춰 교육과정을 유지하고 강조해야 할 목표를 결정하기 위해서 요구진단(Diagnosing need)이 필수로 이뤄져야 하며 계속적으로 요구 진단을 해야한다(Taba, 1962). 따라서 고등학교 대상 양자물리 교육의 내용을 탐색하기 이전에 양자물리 교육과 관련한 요구진단이 필요하다고 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 현장에서 교사들이 양자물리를 지도하면서 경험한 내용들을 토대로 교사들이 인식한 학생들의 학습과 교육과정 운영에서 나타나는 어려움을 조사하고자 한다.

2.4. 델파이 방법

2.4.1. 델파이 방법

델파이 방법은 1953년에 미국의 랜드 연구소(RAND Corporation)의 Norman Dalke와 Olaf Helm에 의해 반복적인 피드백을 통해 합의된 의견과 통계적 개요를 얻기 위해 개발되었다(Dalkey & Helmer, 1963). 델파이 방법은 면대면 토의과정에서 나타날 수 있는 왜곡된 의사전달의 문제를 제거하기 위해 고안된 것으로(이종성, 2001) 초기 사용 목적은 국방문제를 해결하는 데에 있었지만, 1960년대에 공개된 이후 여러 분야에서 사용되고 있다(Rowe *et al.*, 1991; 이종성, 2001). 다양한 상황에서의 전문가 문제 해결을 위한 도구로 델파이 방법을 사용하고 있으며 문제 및 목표에 맞게 다양한 방법이 개발되었다(Okoli & Pawlowski, 2004). 델파이 방법은 '두 사람의 판단이 한 사람의 판단보다 정확하다.'는 계량적 원리와 '다수의 의견이 소수의 의견보다 정확하다.'는 민주적 의사결정의 원리에 논리적 근거를 두고 있다(이종성, 2001).

델파이 방법은 토론집단이 복합적인 문제를 효과적으로 취급할 수 있도록 토론자 사이에 의사소통 과정을 구조화한 것으로 중요한 특징으로 응답자의 익명, 절차의 반복과 통제된 피드백(feedback), 응답의 통계처리가 있다(Hsu & Sandford, 2007; 이종성, 2001). 델파이는 참여하는 패널들이 누군인지 공개되지 않으며 상호 간의 직접적인 접촉이 없어 대면토론에서 나타날 수 있는 부정적인 효과를 피할 수 있다. 델파이는 다른 데이터 수집 및 분석 기술과 달리 특정 주제에 대한 합의를 이끌어내기 위해 반복해서 시행하는데 델파이를 반복해서 진행할 때, 이전 설문에서 제시된 의견은 정리되어 전문가들에게 피드백의 형태로 전달된다. 델파이를 반복하는 과정에서 전문가들은 자신의 의견을 수정 및 보완할 기회를 가지며 통제된 피드백을 통해 전문가들의 의견이 수렴에 이르게 된다(Hsu & Sandford, 2007; 이종성, 2001).

델파이 방법은 일련의 설문지를 통해 전문가들의 의견을 모으는 방법으로 합의가 이루어질 때까지 계속 전문가들의 의견을 모아야 하지만(Hsu & Sandford, 2007), 일반적으로 패널들의 안정적 응답과 합의를 이끌어내기 위해서는 3차례 정도의 반복조사가 적합하다고 보고되고 있다(Rowe *et al.*, 1991). 이에 본 연구에서도 고등학교에서의 양자물리 교육내용을 탐색하기 위해 3차례에 걸친 델파이 조사를 시행하였다.

2.4.2. 델파이 방법을 활용한 교육관련 선행연구

델파이 방법은 교육분야에서 지침, 표준을 형성하고 추세를 예측하는데 유용하다(Green, 2014). 교육발전의 미래 예측, 교육의 목적과 목표설정, 교육과정개발, 교육문제해결, 교수방법개발 등 다양한 연구목적으로 전문가와 교육구성원의 의견을 수집하고 종합하여 집단적 판단을 정리하기 위해 이용되고 있다(이종성, 2001).

Osborne *et al.* (2003)은 과학교육전문가, 과학자, 과학의 역사, 철학 및 사회학 분야의 전문가 총 23명을 대상으로 델파이 연구를 진행하였으며 학교 과학교육과정에 포함되어야 할 과학의 본성(Nature of Science)의 교육목표 및 교육내용을 제시하였다.

조현준 외(2006)는 과학자, 과학교육전문가, 초등학교 교사, 중등학교 교사 총 29명(1차: 29명, 2차: 23명, 3차: 21명)을 대상으로 델파이 연구를 진행하였으며 과학실험의 목적에 대한 합의점을 도출하고 초등학교 · 중등학교 · 대학교의 과학실험 활동의 목적을 제시하였다.

최규리(2012)는 과학교육이나 창의인성 교육 혹은 영재교육 분야에서 3년 이상 연구경력과 교육경력을 가지고 있는 박사학위 소지자(과학교육과 교수, 교육관련학과 교수, 교육청 영재교육담당 장학사, 영재교육센터 연구원, 영재교사) 총 12명을 대상으로 델파이 연구를 진행하였으며 창의인성 중심의 과학영재교육의 개념을 도출하고 이에 적합한 교육목적 및 요소, 교수학습 방법 및 내용, 평가 등을 제시하였다.

Sakhnini and Blonder(2015)는 NST(Nanoscale Science and Technology) 관련분야의 내용학 전문가 집단(21명)과 교사 집단(21명)이 생각하는 고등학생 대상 NST의 필수개념을 조사하였으며 내용학 전문가 집단이 생각하는 고등학생에게 필요한 NST의 교육내용과 교사 집단이 생각하는 교육내용에는 차이가 있다고 보고하였다.

네덜란드에서 실시된 델파이 연구(Krijtenburg-Lewerissa *et al.*, 2019)에는 내용학 전문가들인 과학자들의 의견을 중심으로 고등학교 양자물리 내용요소를 조사하였으나 현장에서의 의견은 반영되지 않았다. 전문가 집단과 교사집단이 생각하는 교육내용에는 차이가 있을 수 있다는 점(Sakhnini & Blonder, 2015)을 고려했을 때 교사들의 현장경험을 토대로 고등학생들에게 적절한 양자물리의 내용요소가 무엇인지 탐색하는 것이 필요하다고 할 수 있다. 또한, 고등학교에서의 양자물리 교육의 필요성과 교육목표 및 교육내용을 조사하기 위해서는 전문가의 경험적 지식을 통해 다수의 의견을 수렴하여 도출된 의견을 제시할 수 있는 델파이 연구방법이 요구된다.

이에 본 연구에서는 고등학교의 양자물리 교육내용을 탐색하기 위해 양자물리를 지도한 경험이 있는 교사들을 대상으로 델파이 방법을 사용하고자 한다.

2.5. 교육내용 적정성과 분석틀

주형미 외(2020)는 차기 교과 교육과정 개정을 위해 2015 개정 교육과정에 대한 교육내용의 적정성을 분석하며 교육내용의 적정성을 '교육내용이 실제로 교육과정상에 적절하게 제시되어 있는지를 살펴보는 것'으로 보았다. 즉, 교육의 목표 및 국가·사회· 학문(교과)·학생의 요구를 바탕으로 타당한 교육내용을 선정하고, 일련의 교육내용을 연계·계열화·위계성 등의 원리로 효과적으로 조직하고, 학생들의 발달 수준·교육 시기·교육 여건 등을 고려하여 적절한 학습량과 수준으로 교육내용을 제공하는 것을 의미한다(주형미 외, 2020). 교육내용 적정성을 분석하기 위한 준거는 교육내용이 선정, 교육내용의 조직, 교육내용의 양, 교육내용의 수준 4가지로 제시하였으며 자세한 세부 분석 관점은 표 3과 같다.

본 연구에서는 교사들이 양자물리 관련 교육내용을 지도할 때 겪었던 어려움을 교육과정 내용 및 운영 측면에서 조사하고자 하였다. 이에 교육과정 내용 및 운영 측면에서 나타난 교사들의 어려움을 주형미 외(2020)에서 제시한 교육내용 적적성 분석준거를 토대로 수정하여 분석하였다.

표 3. 교육내용 적정성 분석틀(주형미 외, 2020)

분석영역	분석관점
교육내용의 선정	▪ 국가 및 사회적 요구
	▪ 교과 및 학문적 요구 학문적 체계 및 동향, 필수적이고 핵심적인 교과 내용, 교과목표, 교과 역량을 반영한 내용
	▪ 학생요구 학생의 흥미와 요구, 학생의 경험 및 실생활 관련 내용
교육내용의 조직	▪ 교과 내 내용 조직 학교급 및 학년(군) 간, 교과 영역 내 또는 영역 간의 연계 및 위계 고려, 교과 영역 간의 교육내용 비중 고려
	▪ 교과 간 내용 조직 교과 간의 연계 및 위계 고려
교육내용의 양	▪ 교과목표 달성
	▪ 학생 발달 수준
	▪ 수업 시수
	▪ 교수 학습 환경
교육내용의 수준	▪ 교과 목표 달성
	▪ 학생 발달 수준
	▪ 수업 시수
	▪ 교수 학습 환경

제 3 장 연구과정 및 절차

3.1. 패널선정

델파이방법은 엄밀하고 이론적 체계가 갖춰지지 않은 분야의 예측과정에 전문가의 판단을 이용하며, 그에 따라 전문가 패널을 선정하는 일은 가장 중요하고 어려운 일이다(이종성, 2001). 하지만, 패널을 선정하는 표준근거는 마련되어 있지 않으며(Kaplan, 1971; 이종성, 2001) 연구자가 필요로 하는 전문성의 범주를 결정하고 그 분야의 전문가를 선택해야 한다(이종성, 2001). Kaplan(1971), Oh(1974), Rowe & Wright (2001)는 해당 영역에 경험을 가지고 있으며, 관련된 정보를 제공할 수 있고 신뢰할 수 있는 전문가들이라고 판단되는 경우 델파이 연구에 참여할 자격이 있는 것으로 보았다. 또한, 엄지 & 이건남(2014)은 전문가 패널을 선택할 때 연구문제와 관련된 분야의 전문가들의 대표성, 적절성, 전문적 지식과 능력, 참여의 성실성, 적정한 인원수를 고려할 것을 제안하였다.

본 연구에서는 국내의 학생들의 수준과 요구를 잘 알고 있는 현장교사의 경험과 의견을 바탕으로 고등학생에게 적절한 양자물리 교육내용을 델파이 조사로 진행하고자 하였다. 물리학Ⅰ은 민주주의 사회의 시민으로서 갖추어야 할 소양을 함양하기 위한 과목이며 물리학Ⅱ는 자연과학이나 공학 분야에 진출하기 위한 학생들을 위한 과목(교육과학기술부, 2011)으로 각 과목의 필요성과 교육목표에 따라 교사가 생각하는 양자물리 교육의 목표와 내용요소가 달라질 수 있다. 이에 본 연구에서는 2009 개정 교육과정의 물리Ⅰ·Ⅱ와 2015 개정 교육과정의 물리학 Ⅰ·Ⅱ에서 양자물리 관련 내용을 모두 지도한 경험이 있는 교사를 전문가로 선정하는 것이 연구 목적에 부합하다고 판단하였다. 하지만, 2015 개정 교육과정의 물리학Ⅱ는 작년부터 실시되어 이를 실제로 지도한 교사의 수가 적은 상황이며 2015 개정 교육과정의 물리학Ⅱ에 포함된 내용은 2009개정 교육과정 물리Ⅰ·Ⅱ과 2015개정 교육과정의 물리학Ⅰ에 대부분 포함되어 있기에 2009 개정 교육과정의 물리Ⅰ·Ⅱ와 2015 개정 교육과정의 물리학Ⅰ에서

양자물리 관련 내용을 모두 지도한 경험이 있는 교사를 전문가 선정 기준으로 정하였다.

표 4. 전문가 선정 기준

전문가 선정 기준
다음 기준을 모두 만족하는 교사
▪ 2009개정 물리 Ⅰ의 양자물리 관련 내용을 지도한 경험이 있는 교사
▪ 2009개정 물리 Ⅱ의 양자물리 관련 내용을 지도한 경험이 있는 교사
▪ 2015개정 물리학Ⅰ의 양자물리 관련 내용을 지도한 경험이 있는 교사

델파이 연구에 적절한 패널의 수는 연구질문의 성격과 전문가의 다양성에 따라 달라질 수 있다(Okoli & Pawlowski, 2004). 델파이 연구의 경우 통계적 검정력(statistical power)에 의존하기보다는 전문가들의 합의에 도달하기 위한 그룹 역동성이 더 중요하므로 10~18명 정도가 적합하다고 보고되고 있다(Okoli & Pawlowski, 2004). Delbecq *et al.* (1975)는 연구에 참여하는 패널집단이 동질적인 경우 10명~15명이 적합하며 30명을 초과할 경우 새로운 아이디어가 거의 생성되지 않는다고 하였다.

본 연구의 연구대상자는 동질한 집단으로 양자물리 내용을 지도한 경험이 있는 교사를 대상으로 하는 연구이다. 이에 패널 후보는 최대 20명으로 정하였으며 과학교사 커뮤니티 및 눈덩이 모집 방법을 통해서 자격요건에 맞는 전문가를 모집하였다. 구글 온라인으로 연구 설명문 및 동의서를 배부한 뒤 연구 참여에 동의한 전문가들을 최종 패널로 선정하였다. 최종적으로 선정된 연구참여자는 14명으로 패널에 대한 정보는 아래의 표 5에 서술하였다.

표 5. 전문가 패널의 고등학교 양자물리 교육관련 경력

연구참여자	총 교육경력	2009		2015
		물리Ⅰ	물리Ⅱ	물리학Ⅰ
S01	16년 6개월	7년	7년	2년
S02	13년 6개월	5년	4년	3년
S03	12년 6개월	3년	3년	2년
S04	11년 6개월	5년	2년	2년
S05	11년 6개월	2년	3년	3년
S06	10년 6개월	4년	4년	2년
S07	9년 6개월	4년	4년	2년
S08	8년 6개월	2년	3년	1년
S09	7년 8개월	4년	4년	3년
S10	6년 6개월	1년	1년	2년
S11	6년 6개월	3년	3년	2년
S12	6년 6개월	4년	4년	2년
S13	4년 6개월	2년	2년	2년
S14	4년 5개월	2년	1년	2년

3.2. 설문지 제작 과정 및 설문의 타당도 확보 노력

3.2.1. 설문지 제작 과정

설문지의 내용 및 구성은 Taba(1962)의 교육과정 개발 모형을 토대로 크게 2개의 주제로 구성하였다. 설문지 내용 및 진행에 대한 개요는 표 6에 제시하였다. 형태는 델파이 방법을 활용한 선행연구의 설문지 틀을 참고하여 각 델파이 차시 별 목적에 맞게 수정하여 구성한 후, 연구실 구성원에 의해 타당도를 검토받았다.

설문지를 1차로 만든 뒤, 연구실 구성원과의 회의를 통해 설문지에 대한 피드백을 받았다. 이후 피드백을 바탕으로 설문지를 수정하였고, 수정된 설문지에 대한 추가적인 피드백을 받았다. 설문지의 타당도가 확보될 때까지 피드백을 받고 수정을 하여 최종 설문지를 완성하였고, 이 과정은 1~3차 설문지 개발 과정에서 동일하게 수행되었다.

표 6. 설문지 내용 및 진행 개요

설문지 내용		질문여부		
		1차	2차	3차
양자물리 교육에 대한 교사의 인식	학생의 학습(학생의 흥미, 학습의 어려움)	○*		
	교육과정 내용 및 운영	○*		
고등학교에서의 양자물리 교육내용 (물리학Ⅰ·물리학Ⅱ)	교육의 필요성	○*	○*	
	교육목표	○*	○**	
	교육주제	○*		
	교육내용	○*		○***
	교육내용의 범위와 수준			○*

*: 개방형질문

**: 리커트 척도 및 관련 의견 기술

***: 체크리스트

3.2.2. 양자물리 교육에 대한 교사의 인식 조사를 위한 설문지 구성

Taba(1962)는 시대와 학생들의 요구에 맞춰 교육과정을 유지하고 강조해야 할 목표를 결정하기 위해서 요구진단(Diagnosing need)이 필수로 이뤄져야 한다고 하였다. 앞서 살펴본 바와 같이 요구진단은 성취도, 학습자로서 학생, 교육과정 문제에 대한 진단이 이뤄질 수 있다. 따라서 Taba(1962)의 개발모형에 근거하여 본 설문지 문항의 의도와 설문내용을 2가지 문항으로 정리할 수 있었다.

2-1번 문항은 양자물리 교육과 관련해 학습자의 흥미와 학습의 어려움 요인을 추출하기 위한 문항으로 구성했다. 세부적으로 학생들이 흥미와 호기심을 가졌던 교육내용요소와 이유, 학생들이 학습할 때 겪었던 어려워한 교육내용요소와 이유, 학생들이 학습의 어려움을 겪었지만 어떤 방법과 내용을 제공했을 때 어려움을 해소할 수 있었는지에 대해 묻는 문항으로 구성하였다. 학생들에게 직접 응답을 얻은 것은 아니지만, 현장에서 직접 학생들을 지도하면서 겪었던 교사의 경험을 토대로 학생의 흥미와 학습의 어려움 요인을 찾고 본 연구의 전체 응답을 관통하는 고등학교에서의 양자물리 교육의 가능성을 찾을 수 있을 것으로 기대했다.

2-2번 문항은 교사가 양자물리 교육내용을 지도하면서 겪었던 어려움 요인을 추출하기 위한 문항으로 구성했다. 세부적으로 교수학습 측면과 교육과정 측면에서 겪은 어려움을 묻는 문항으로 구성하였다. 이를 통해 본 연구의 목적인 고등학교에서의 양자물리 교육내용을 탐색하기 위해 고려해야 할 요인들을 찾을 수 있을 것으로 기대했다.

본 설문지 문항의 의도와 설문 내용, 응답 형식을 표로 정리하면 표 7과 같고, 실제로 사용한 설문지와 참고자료는 부록에 수록하였다.

표 7. 양자물리 교육에 대한 교사의 인식 문항내용 및 응답형식

문항 번호④	문항의 의도	설문 내용	응답 형식
2-1	교사가 인식한 양자물리 교육과 관련된 학생의 흥미와 학습의 어려움 요인 추출	선생님이 학생들을 지도하면서 (1) 학생들이 흥미와 호기심을 가진 내용 (2) 학생들이 학습할 때 겪었던 어려움 (3) 어떤 방법 또는 내용을 제공했을 때 학생들의 이해를 도울 수 있었는지를 자세히 기술해주시길 바랍니다.	자유 서술식
2-2	양자물리 관련 내용을 지도하면서 겪은 교사의 어려움 요인 추출	선생님이 학생들을 지도하면서 겪었던 어려움을 (1) 교수학습 측면 (2) 교육과정 측면에서 자세히 기술해주시길 바랍니다.	자유 서술식

④ 실제 설문지에서 사용한 문항번호로 1번 문항은 연구참여자의 기본사항에 대한 문항으로 구성되었다.

3.2.3. 고등학교에서의 양자물리 교육내용 탐색을 위한 델파이 설문지 구성

고등학교에서의 양자물리 교육내용을 탐색하기 위해서 3차례에 걸친 델파이 조사를 실시하였다. 1차 델파이 조사에서는 교사가 생각하는 양자물리 교육의 필요성과 교육목표, 교육내용요소에 대한 전체적인 개요를 얻기 위해 개방형 질문으로 문항을 구성하였다. 물리학Ⅰ과 물리학Ⅱ 과목의 성격은 다르게 정의되고 있기 때문에 각 과목의 성격에 따라 교사가 생각하는 양자물리 교육내용이 달라질 것으로 예상하였다. 이에 물리학Ⅰ과 물리학Ⅱ 과목을 구분하여 설문을 진행하였다.

3-1번 문항과 4-1번 문항은 고등학교에서 양자물리 관련 교육의 필요성에 대한 의견을 묻는 문항으로 구성하였다. 물리학Ⅰ과 물리학Ⅱ 과목의 성격에 따라 교육의 필요성 여부와 그 이유가 다를 것으로 예상했다. 이를 통해 3차례에 걸친 델파이 설문에서 교사가 생각하는 물리학Ⅰ 및 물리학Ⅱ 각각에서의 양자물리 교육의 줄기를 찾을 수 있을 것으로 기대했다.

3-2번 문항과 4-2번 문항은 고등학교에서 양자물리 교육이 필요하다고 응답한 경우, 2-1번 문항에서 서술한 학생의 흥미와 학습의 어려움을 고려했을 때 바람직한 고등학교 양자물리 교육내용요소에 대한 의견을 묻는 문항으로 구성하였다. 세부적으로 참고자료로 제시된 양자물리 교육내용요소 분류틀(표1)을 참고하여 중점적으로 가르쳐져야 하는 양자물리 주제와 내용요소를 선택하게 하였으며, 이를 통해 학생들이 도달할 수 있는 교육목표 즉, 학생이 학습할 수 있는 지식, 기능, 태도를 서술하도록 하였다.

본 설문지 문항의 의도와 설문 내용, 응답 형식을 표로 정리하면 표 8과 같고, 실제로 사용한 1차 델파이 설문지와 참고자료는 부록에 수록하였다.

표 8. 델파이 1차 조사 문항 내용과 응답 형식

문항 번호⑤	문항의 의도	설문 내용	응답 형식
3-1 4-1	양자물리 교육의 필요성	▪ 물리학Ⅰ은 민주사회의 시민으로서 갖추어야 할 필요한 소양 또는 과학과 핵심역량을 함양하기 위한 과목입니다. 고등학교 물리학Ⅰ에서 학생들이 양자물리 관련 내용을 학습하는 것이 필요하다고 생각하시나요? (예/아니오) ▪ 물리학Ⅱ은 자연과학이나 공학 분야에 진출하기 위한 학생들을 위한 과목입니다. 고등학교 물리학Ⅱ에서 학생들이 양자물리 관련 내용을 학습하는 것이 필요하다고 생각하시나요? (예/아니오)	선택 후 자유 서술식 응답
3-2 4-2	양자물리 교육목표 및 교육내용요소	▪ 위의 2-1에 서술해주신 내용을 고려했을때, 물리학Ⅰ(물리학Ⅱ)에서 양자물리의 어떤 측면을 중점적으로 가르쳐야 한다고 생각하는지 선택한 후, 선택한 각 측면을 가르치기 위해 물리학Ⅰ(물리학Ⅱ)에서 필요하다고 생각하는 내용요소와 내용요소를 통해 학생이 학습할 수 있는 '지식, 기능, 태도'를 자세히 기술해주시길 바랍니다.	선택 후 자유 서술식 응답

⑤ 실제 설문지에서 사용한 문항번호로 3-1번과 3-2번 문항은 물리학Ⅰ, 4-1번과 4-2번 문항은 물리학Ⅱ에 대한 문항입니다.

2차 설문지는 물리학Ⅰ과 물리학Ⅱ의 1차 델파이 응답 결과와 교육의 필요성과 교육목표에 대한 질문으로 구성하였다. 1차 설문 후, 고등학교에서의 양자물리 교육내용요소에 대한 전문가들의 합의를 도출하기 전에 교육의 필요성과 교육의 목표에 대한 전문가들의 합의를 도출할 필요가 있었다. 따라서 델파이 2차 조사에서는 교육의 필요성과 교육목표에 대한 전문가 의견을 조사하고, 3차 델파이 조사에서 2차 델파이 조사 결과를 바탕으로 교육내용요소에 대한 전문가 의견을 조사하고자 하였다.

1번 문항은 고등학교에서 양자물리 교육의 필요성에 대한 1차 델파이 응답결과를 정리한 내용을 제시하고 이를 바탕으로 최종 의견을 묻는 개방형 질문으로 구성하였다. 본 문항을 통해 교육의 필요성에 대한 전문가의 의견의 합의를 도출하고자 하였다.

2-1번 문항은 1차 델파이 설문 응답을 토대로 연구자가 재진술한 교육목표의 타당도를 조사하기 위한 문항으로 구성하였다. 연구자가 재진술한 교육목표에 동의하는 정도를 매우 동의함, 약간 동의함, 약간 동의하지 않음, 전혀 동의하지 않음으로 4점 리커트 척도로 구성하였다.

2-2번 문항은 1차 델파이 응답을 토대로 재진술된 교육목표가 고등학교 양자물리 교육의 목표로서 중요한 정도를 조사하기 위한 문항으로 구성하였다. 즉, 도출된 교육목표는 교육목표로서 다 중요하지만, 고등학교의 양자물리 교육목표로서 얼마나 중요하다고 생각하는지 조사하고자 하였다. 중요도는 5점 리커트 척도(매우 중요함, 약간 중요함, 보통, 약간 중요하지 않음, 전혀 중요하지 않음)로 구성하였으며 문항예시는 그림 3과 같다.

전체 2차 델파이 설문지 문항의 의도와 설문 내용, 응답 형식을 표로 정리하면 표 9와 같고, 실제로 사용한 2차 델파이 설문지는 부록에 수록하였다.

2-1. 선생님들께서 주신 물리학Ⅰ 양자물리 교육목표에 대한 의견을 6개로 범주화하여 정리하였습니다. 정리한 진술문에 대한 동의 정도를 표시하여 주시고 다른 의견이 있으신 경우에는 적어주시기 바랍니다.

No	선생님들의 의견				
1	-미시적 자연현상을 설명하는 모형의 개발과 모형을 사용할 수 있음 -입자-파동 이중성이 어떤 현상을 통해 관찰되며 어떤 해석을 기반으로 하는지, 이러한 이중성이 확률적, 통계적 해석으로 이어지는 과정을 이해함으로서 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가를 학습 -미시세계와 거시세계의 현실을 배움으로서 문제인식 기능을 배움 -입자 파동 이중성을 배움으로써 증거에 기초한 토론과 논증을 학습 -원자 이론을 학습하고 원자모형의 한계점을 살펴보고 모둠별로 토의하며 모형의 개발의 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 의사소통 등의 탐구기능을 수행, 반도체 소자를 포함한 회로 설계를 하며 탐구설계와 수행, 시뮬레이션 설계를 통한 수학적 사고와 컴퓨터 활용 등의 탐구과정 학습 -전하결합소자와 관련된 실생활 속 예시에 대해 모둠별로 조사를 하고 자료의 수집, 분석 및 해석, 의사소통과 같은 탐구기능 학습 -양자 물리학적 연구를 바탕으로 한 발명품들(광다이오드)의 전기적 특성을 측정해보는 활동을 통해 탐구를 수행하는 능력 향상 -현상을 해석하여 양자물리의 기본원리를 다시 파악할 수 있고 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증 등을 학습 -현상을 배움으로써 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가를 학습 -선스펙트럼을 학습함으로써 자료를 분석 및 해석하는 방법, 모형을 다루는 방법을 배울 수 있음.				
	선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표	전혀 동의하지 않음	약간 동의하지 않음	약간 동의함	매우 동의함
	양자물리 관련 기초이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학 역량*을 함양한다.				
	* 과학적 소양 평가틀(OECD, 2017)에서 '과학역량'은 현상에 대한 과학적 설명, 과학탐구의 평가 및 설계, 자료 및 증거의 과학적 해석으로 구성되어 아래와 같이 범주1의 교육목표를 진술하였습니다.				
	기타 의견				

그림 2. 2차 델파이 조사의 교육목표 진술에 대한 타당도 조사 문항 예시

2-2. 물리학Ⅰ 양자물리 교육의 필요성을 고려했을 때 문항 2-1에서 진술된 6개의 양자물리 교육목표의 상대적 중요도를 표시해주시길 바랍니다.

No	교육목표	전혀 중요하지 않음	약간 중요하지 않음	보통	약간 중요함	매우 중요함
1	양자물리 관련 기초이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학역량을 함양한다.					
2	미시세계에서의 자연현상을 이해하기 위해 필요한 양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습한다.					
3	양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습함으로써 과학적 방법과 과학지식의 특징을 이해한다.					
4	양자물리 이론의 적용 및 일상생활 속 응용사례에 대한 학습을 통해 물리학의 필요성 및 중요성을 인식한다.					
5	양자물리 관련 현상 및 발전과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미를 느끼고 관찰과 호기심의 중요성을 안다.					
6	첨단과학기술 속 양자물리 원리의 중요성을 인식하고 진로를 탐색하며 미래를 준비하는 태도를 함양한다.					

그림 3. 2차 델파이 조사의 교육목표 중요도 조사 문항 예시

표 9. 델파이 2차 조사 문항 내용과 응답 형식

문항 번호	문항의 의도	설문 내용	응답 형식
1	교육의 필요성에 대한 합의 도출	▪ 1차 설문결과를 보시고 판단하신 물리학Ⅰ(물리학Ⅱ) 양자물리 교육의 필요성에 대한 본인의 의견을 최종적으로 작성해주시길 바랍니다.	자유 서술식
2-1	1차 설문결과를 토대로 연구자가 재진술한 교육목표에 대한 타당도 조사	▪ 선생님들께서 주신 물리학Ⅰ 양자물리 교육목표에 대한 의견을 6개로 범주화하여 정리하였습니다. 정리한 진술문에 대한 동의 정도를 표시하여 주시고 다른 의견이 있으신 경우에는 적어주시기 바랍니다. ▪ 선생님들께서 주신 물리학Ⅱ 양자물리 교육목표에 대한 의견을 7개로 범주화하여 정리하였습니다. 정리한 진술문에 대한 동의 정도를 표시하여 주시고 다른 의견이 있으신 경우에는 적어주시기 바랍니다.	선택 후 자유 서술식 응답
2-2	교육의 필요성을 고려한 교육목표의 중요도	▪ 물리학Ⅰ 양자물리 교육의 필요성을 고려했을 때 문항 2-1에서 진술된 6개의 양자물리 교육목표의 상대적 중요도를 표시해주시길 바랍니다. ▪ 물리학Ⅱ 양자물리 교육의 필요성을 고려했을 때 문항 2-1에서 진술된 7개의 양자물리 교육목표의 상대적 중요도를 표시해주시길 바랍니다.	5점 리커트 척도 및 자유 서술식 응답

3차 설문지는 1차와 2차 델파이 조사 결과 요약과 양자물리 교육내용요소에 대한 합의를 도출하기 위한 질문으로 구성하였다. 먼저, 델파이 2차 조사에서 도출된 교육의 필요성과 교육목표를 제시하였으며, 1차 설문에서 조사한 교육과정 내용 및 운영에서의 어려움, 학생이 흥미를 느끼는 내용 및 요인, 학생이 학습의 어려움을 느끼는 내용 및 요인을 정리한 결과를 제시하였다.

본 3차 설문의 문항은 1차 응답결과를 같이 제시하여 물리학Ⅰ과 물리학Ⅱ에서 양자물리 주제별로 포함되어야 한다고 생각하는 내용요소를 체크할 수 있도록 문항을 구성하였으며 문항예시는 그림 4와 같다.

또한, 1차와 2차 델파이 조사에서 전문가들의 답변 중 내용요소의 수준과 범위에 대한 의견들이 있어 선택한 각 내용요소의 수준과 범위를 묻는 개방형 문항을 구성하였다.

전체 3차 델파이 설문지 문항의 의도와 설문 내용, 응답 형식을 표로 정리하면 표 10과 같고, 실제로 사용한 3차 델파이 설문지는 부록에 수록하였다.

2차 델파이 조사 결과인 물리학Ⅰ 양자물리 교육의 필요성 및 교육목표와 1차 델파이 조사 결과인 양자물리 관련 교육과정 내용 및 운영에서의 어려움과 학생들의 흥미 및 어려움 요인을 고려하여 물리학Ⅰ에서 **양자물리의 각 주제별로 포함되어야 한다고 생각하는 내용요소**에 체크(√)해주시길 바랍니다.

1. 양자물리의 기본원리

NO.	내용요소	흥미 요인* (응답자수)	어려움 요인** (응답자수)	양자물리 교육에 필요한 내용요소	
				1차 응답 (명)***	**포함 여부에 대한 의견**
1	빛의 입자성	쉬운내용(1)	•	1	
2	빛의 이중성	양자물리 내용의 특징(1) 맥락설명(1)	양자물리 내용의 특징(1)	2	
3	물질의 파동성	인지욕구(1)	양자물리 내용의 특징(2)	1	
4	물질의 이중성	인지욕구(1)	선행지식 부족(1)	2	
5	입자-파동 이중성	양자물리 내용의 특징(2)	양자물리 내용의 특징(2)	7	
6	불확정성 원리	양자물리 내용의 특징(4)	양자물리 내용의 특징(2)	1	
7	확률적 해석	양자물리 내용의 특징(1)	•	1	
8	파울리의 배타원리	•	•	•	
9	상보성 원리	•	•	•	
10	양자 얽힘	•	•	•	

*, ** 학생의 흥미 및 학습의 어려움의 세부요인은 선생님들의 답변을 토대로 분류하였으며 이에 대한 설명은 각각 4p, 5p에 제시되어 있습니다.

*** 1차 조사 중 응답해주신 양자물리 교육에 필요한 내용요소를 정리하였습니다.

그림 4. 3차 델파이 조사의 교육내용요소 조사 문항 예시

표 10. 델파이 3차 조사 문항 내용과 응답 형식

문항 번호	문항의 의도	설문 내용	응답 형식
1~6	1차, 2차 조사 결과를 고려한 양자물리 교육 내용요소 탐색	▪ 2차 델파이 조사 결과인 물리학Ⅰ(물리학Ⅱ) 양자물리 교육의 필요성 및 교육목표와 1차 델파이 조사 결과인 양자물리 관련 교육과정 내용 및 운영에서의 어려움과 학생들의 흥미 및 어려움 요인을 고려하여 물리학Ⅰ(물리학Ⅱ)에서 양자물리의 각 주제별(양자물리의 기본원리, 현상, 응용사례, 원자이론, 파동함수, 양자물리의 철학적 측면)로 포함되어야 한다고 생각하는 내용요소에 체크해 주시길 바랍니다.	체크 리스트
	내용요소의 수준과 범위	▪ 위의 응답해주신 내용요소의 수준과 범위를 개략적으로 작성해주시길 바랍니다.	자유 서술식

3.3. 자료 수집 및 분석

본 연구의 델파이 조사는 3차에 걸쳐서 9월~12월 사이에 진행되었다. 1차 델파이 조사는 응답해야 할 문항 수와 학교일정을 고려하여 약 1달 동안 진행되었으며, 2차와 3차 델파이 조사는 약 7일간 진행되었다. 1차는 2021년 9월 11일~10월 8일, 2차는 2021년 11월 19일~11월 25일, 3차는 2021년 12월 7일~12월 13일 동안 진행되었다. 1차와 2차 델파이 조사는 구글 설문지로 진행되었으며 3차 델파이 설문지는 수집된 전화번호를 통해 배부하고 응답을 회수하였다.

1~3차 설문지 분석 결과는 연구실 구성원과의 회의를 통해 타당성 및 적절성을 확보하고자 하였다. 먼저 연구자가 1차로 분석을 완료한 결과를 바탕으로 회의를 통해 적절성에 대해 논의하였다. 피드백을 바탕으로 수정한 분석결과는 연구실 구성원과의 회의를 통해 추가적인 피드백을 반영하여 분석을 하였다.

1~3차에 걸쳐 진행된 조사의 각 문항의 성격이 다르다. 1차 델파이 설문지는 개방형 질문으로 되어 있어 질적방법으로 분석하였으며 2차, 3차 설문지는 직전 델파이 결과를 반영한 폐쇄형 질문과 개방형 질문으로 구성되어 있어 폐쇄형 질문은 통계처리 후 양적 분석을 하였으며 개방형 질문은 질적방법으로 분석하였다.

3.3.1. 1차 델파이 설문지 분석

1차 설문지는 질적 방법 중 근거이론 방법(Creswell, 2015)을 따라 1차 개방형 질문의 결과를 분석한다. 근거이론에 따르면 코딩은 개방코딩(open coding), 축코딩(axis coding), 선택코딩(selective coding)의 3단계 범주화 과정으로 이루어질 수 있으며 개방코딩 단계(Open Coding)에서는 지속적으로 텍스트를 검토하고 텍스트의 특징에 따라 범주화한다. 범주가 일차적으로 개발되면, 축코딩 단계(Axial coding)에서 연구자는 개방코딩 목록에서 통일될 수 있는 중심현상으로서 하나의 주제를 생성한

다. 마지막으로 선택코딩(Selective Coding)단계에서는 축코딩의 자료들의 특징을 더 자세히 드러내는 주제를 선정한다(Creswell, 2015).

이에 본 연구에서는 3단계 코딩을 간소화하여 2단계인 1차, 2차 코딩 단계를 거쳐 응답을 분석하였다. 1차 코딩에서는 패널들의 응답들을 반복해서 보고 공통된 내용을 범주화했다. 2차 코딩에서는 1차 코딩된 자료들을 분석하여 각 요소의 특징을 드러내는 세부주제를 선정하였다.

1차 및 2차 코딩을 진행할 때 각 범주와 세부주제는 문항의 의도에 맞는 선행연구의 분석틀과 비교하여 수정하여 응답을 분석하였다. 교사가 인식한 학생의 흥미 요인과 학습의 어려움 요인은 선행연구에서 사용된 분석틀(강지선, 2015; 변태진, 2019; 위수민 외, 2008; 유경진 외, 2010; 이미경 & 정은영, 2004; 이수아 외, 2007)을 토대로 분석하였다. 또한, 교육과정 내용 및 운영에서의 어려움 요인은 교육내용 적정성 분석틀(주형미 외, 2020)을, 교육의 필요성과 교육의 목표는 PISA 2015 과학적 소양 분석틀(OECD, 2017; 송미영, 2013)을 토대로 범주와 세부주제를 분석하였다.

3.3.2. 2차 델파이 설문지 분석

2차 델파이 설문지는 크게 교육의 필요성, 교육의 목표 진술에 대한 타당도, 교육목표 중요도를 묻는 문항으로 이루어져있다.

교육의 필요성은 개방형 질문으로 앞서 1차 델파이 설문지를 분석한 것과 같이 질적분석을 한다. 교육의 목표 진술에 대한 타당도는 4점 리커트 척도의 폐쇄형 질문이며, 교육목표 중요도는 5점 리커트 척도의 폐쇄형 질문으로 통계처리하여 분석한다. 통계처리는 각각의 항목별 평균, 표준편차, 사분위수 범위, 내용 타당도 비율(Content Validity Ratio, CVR), 수렴도, 합의도, 변이계수(안정도)를 분석한다.

1) 내용 타당도 비율(CVR)

$$CVR = \frac{NE - \frac{NE}{2}}{\frac{N}{2}}$$

내용 타당도 비율을 구하는 식은 위와 같다. NE는 타당하다고 응답한 개수[⑥]이고, N은 총 응답 수이다. 내용 타당도 비율은 Lawshe (1975)가 제시한 내용타당도 비율 최소값을 통해 분석한다. Lawshe (1975)은 패널 수에 따른 내용 타당도 비율(CVR)의 최소값을 제시하고 있으며, 이 최소값을 넘으면 타당하다고 판단된다. 표 11에 제시된 것처럼, 응답자 수가 더 적을수록 더 높은 CVR값이 요구된다. 본 연구의 연구참여자는 14명으로 CVR의 최소값은 0.51이다.

표 11. 응답자 수에 따른 내용 타당도 비율(CVR) 최소값(Lawshe, 1975)

응답자수	CVR 최소값
10	0.62
11	0.59
12	0.56
13	0.54
14	0.51
15	0.49
20	0.42
25	0.37
30	0.33
35	0.31
40	0.29

⑥ 5점 리커트 척도의 경우 리커트 척도 4점과 5점이 타당하다고 응답한 경우, 4점 리커트 척도의 경우 리커트 척도 3점과 4점이 타당하다고 응답한 경우에 해당한다.

2) 수렴도와 합의도

$$\text{수렴도} = \frac{Q_1 - Q_3}{2} \quad \text{합의도} = 1 - \frac{Q_3 - Q_1}{Md}$$

델파이 패널들이 제시한 의견의 타당도는 패널들의 의견 합의도와 수렴도를 검증하여 분석할 수 있다(엄지 & 이건남, 2014). 수렴도와 합의도를 구하는 식은 위와 같으며, Md는 중앙값을 의미하며 Q_1과 Q_3는 각각 제1사분위수와 3사분위수를 뜻한다.

수렴도는 의견이 한점에 모두 수렴됐을 때 0의 값을 가지며 의견의 편차가 커져 Q_1과 Q_3 값의 차이가 커짐에 따라 수렴도 값이 커지는 특성이 있다. 또한, 합의도는 Q_1과 Q_3 가 일치하여 합의됐을 때 1의 값을 가지며 의견의 편차가 커짐에 따라 합의도가 감소한다(엄지 & 이건남, 2014).

따라서 수렴도는 0에 가까울수록 타당도가 높아지며 합의도는 1에 가까울수록 타당도가 높아지며 선행연구(엄지 & 이건남, 2014; 이명원 외, 2021)에 따라 수렴도의 수치가 수치가 0.5이하일 때, 합의도의 수치가 0.75이상일 때 유의한 수치로 판단하였다.

3) 변이계수(안정도)

$$\text{변이계수} = \frac{\text{표준편차}}{\text{산술평균}}$$

변이계수를 구하는 식은 위와 같으며, Dajani 외(1979)는 델파이 조사에서 전문가들의 합의에 대한 판단으로 변동계수가 0보다 크고 0.5이하인 경우 합의가 잘 이루어진 경우로 보았다. 또한, 0.5보다 크고 0.8이하인 경우에는 만족할 만한 합의 정도가 아니므로 가능한 추가 조사가 필요하고, 0.8이상이라면 반드시 추가 조사를 해야한다고 보고하였다. 본 연구에서 2차 조사 결과 모든 항목에서의 변동계수가 0.5이하로 합의를 이룬 것으

로 판단(최규리, 2012)하여 델파이 조사를 종료하였다.

2차 델파이에서 교육목표의 중요도를 내용타당도 비율(CVR), 수렴도, 합의도, 변이계수 4가지 수치 모두 유의미한 값을 가질 때, 그 항목을 양자물리 교육의 목표로 선택하였다.

3.4.3. 3차 델파이 설문지 분석

3차 델파이 설문지는 양자물리 교육내용요소와 내용요소의 수준과 범위를 묻는 문항으로 이루어져 있다. 양자물리 교육내용요소의 포함여부를 묻는 문항은 체크리스트 문항으로 통계처리를 하였다. 각 연구마다 유의미한 내용의 선정 기준이 달라 1차 델파이 조사 결과를 고려했을 때 전문가 패널의 50%를 초과하는 경우 유의미한 내용요소로 추출해도 된다고 판단하였다. 또한, 내용요소의 수준과 범위는 개방형 질문으로 앞서 1차 델파이 설문지를 분석한 것과 같이 질적분석을 하였다.

제 4 장 연구결과 및 논의

4.1. 현장경험에서 나타난 양자물리 교육에 대한 교사의 인식

1차 설문에서 양자물리 교육을 지도하면서 교사가 겪은 교수학습 측면에서의 어려움에 대한 응답은 학생들이 학습하면서 겪은 어려움으로 기술되어 있었기에 학생의 학습의 어려움 요인으로 통합하여 분석하였다. 따라서 양자물리 교육에 대한 교사의 인식은 학습자의 흥미 및 학습의 어려움 요인과 교육과정에서 나타난 교사의 어려움 요인을 추출하고자 하였다.

4.1.1. 교사가 인식한 양자물리에 대한 학생의 흥미 및 학습의 어려움 요인

교사가 인식한 양자물리에 대한 학생의 흥미요인은 크게 학생, 과학교과, 교수학습으로 분류되었으며 각각의 세부요인에 대한 설명은 표 12에 제시하였다.

학생과 관련된 세부요인은 3가지로 '진로, 인지욕구, 선행지식'으로 분류할 수 있었다. 즉, 연구참여자들은 양자물리 내용요소가 학생의 진로와 관련된 경우, 평소 호기심을 가지고 있던 내용을 학습하거나 복잡한 원리를 탐구함으로써 인지욕구를 충족시키는 경우, 다른 교과에서 배운 내용·기존에 배운 물리내용·다양한 서적 및 영상에서 접한 내용 등 학생의 선행지식과 연관된 경우에 학생들이 흥미를 느끼는 것으로 인식하였다.

물리교과와 관련된 세부요인은 6가지로 '처음 접하는 내용, 양자물리 내용의 특징, 실생활 관련 내용, 과학자, 쉬운내용, 효용성을 느낀 내용'으로 분류할 수 있었다. 즉, 연구참여자들은 양자물리 내용요소가 학생들이 처음 접하는 내용인 경우, 기존 물질과 관련된 사고관과 다른 경우, 친숙한 응용사례의 원리와 관련된 경우, 과학자의 성과와 관련된 경우, 다른 내용에 비해 난이도가 쉬운 경우, 물리학의 효용성을 느낄 수 있거나 물리학이

기술발전이나 다른 분야의 학문과 관련된 경우에 학생들이 흥미를 느끼는 것으로 인식하였다.

교수학습과 관련된 세부요인은 3가지로 '매체활용, 직접관찰, 맥락설명'으로 분류할 수 있었다. 즉, 연구참여자들은 양자물리 내용을 가르칠 때 다양한 매체를 활용한 경우, 양자물리 내용과 관련된 현상을 직접 관찰할 수 있는 경우, 교육과정을 재구성하거나 과학사를 활용해 양자물리 내용의 맥락을 설명한 경우에 학생들이 흥미를 느끼는 것으로 인식하였다.

표 12. 교사가 인식한 양자물리에 대한 학생의 흥미 요인 및 세부요인

요인	세부요인	세부요인에 대한 설명
학생	진로	▪ 진로와 관련된 내용에 흥미를 가짐
	인지욕구	▪ 평소 호기심을 가지고 있던 내용을 배운다는 것에 흥미를 가짐 ▪ 복잡한 원리를 탐구함으로써 흥미를 느낌
	선행지식	▪ 다른 교과에서 배운 내용의 원리를 설명할 수 있는 경우 흥미를 느낌 ▪ 기존 물리 지식을 적용해 설명할 수 있는 경우 흥미를 느낌 ▪ 평소 다양한 서적 및 영상을 통해 가지고 있어 양자물리 관련 주제에 흥미를 느낌.
과학교과	처음 접하는 내용	▪ 처음 접하는 내용에 새로움을 느끼고 흥미를 가짐
	양자물리 내용의 특징	▪ 기존 물질과 관련된 사고관 또는 상식과 달라 흥미를 느낌
	실생활 관련 내용	▪ 일상생활에서 접할 수 있는 기술에 친숙함을 느끼고 응용사례의 원리와 관련된 기본원리 및 현상에 흥미를 느낌.
	과학자	▪ 내용과 관련된 과학자의 성과에 흥미를 느낌
	쉬운 내용	▪ 다른 내용에 비해 난이도가 쉬워 흥미를 느낌
	효용성을 느낀 내용	▪ 물리학이 기술발전에 미치는 영향 및 효용성을 느끼고 흥미를 느낌 ▪ 물리학이 다른 분야에 깊이 있는 설명을 제공함을 느끼고 흥미를 느낌
교수학습	매체활용	▪ 다양한 매체(시뮬레이션, 영상 등)를 활용할 경우 학생들이 흥미를 느낌
	직접관찰	▪ 직접 물체를 관찰한 경우 학생들이 흥미를 느낌
	맥락설명	▪ 교육과정을 재구성하거나 과학사를 활용해 맥락이 제공될 경우 학생들이 흥미를 느낌

교사가 인식한 학생의 양자물리 학습의 어려움 요인은 크게 4가지 측면으로 학생, 과학교과, 교수학습, 교사의 전문성으로 분류되었으며 세부요인에 대한 설명은 표 13에 제시하였다.

학생과 관련된 세부요인은 2가지로 '선행지식 충돌, 선행지식 부족'으로 분류할 수 있었다. 즉, 연구참여자들은 양자물리 내용요소가 다른 교과에서 배운 내용과 달라 선행지식과 충돌이 일어나는 경우, 선행되어야 하는 내용의 학습이 부재 되어있거나 선행지식에 대한 이해가 부족한 경우에 학생들이 양자물리 관련 학습의 어려움을 느끼는 것으로 인식하였다.

물리교과와 관련된 세부요인은 5가지로 '처음 접하는 내용, 양자물리 내용의 특징, 응용사례의 복잡한 원리, 난이도가 높은 내용, 복잡한 문제상황'으로 분류할 수 있었다. 즉, 연구참여자들은 양자물리 내용요소가 학생들이 처음 접하는 내용인 경우, 개념이 추상적이거나 복잡한 수식으로 표현되는 내용인 경우, 응용사례의 원리가 복잡한 경우, 고등학교 수준으로 설명이 어려운 경우, 복잡한 문제상황이 제시된 경우에 학생들이 양자물리 관련 학습의 어려움을 느끼는 것으로 인식하였다.

교수학습과 관련된 세부요인은 3가지로 '매체부족, 관련활동 불가능, 지식전달 위주의 설명'으로 분류할 수 있었다. 즉, 연구참여자들은 추상적인 개념을 설명할 수 있는 매체가 부족하여 적절한 교수학습 자료를 제시하지 못한 경우, 고등학교 수준에서 실험이 불가능해 직접 관찰 및 탐구해 볼 수 없는 경우, 의미 또는 맥락이 제공되지 않고 지식 전달 위주로 수업이 진행되는 경우, 학생들이 양자물리 관련 학습의 어려움을 느끼는 것으로 인식하였다.

교사의 전문성과 관련된 세부요인은 1가지로 '내용지식 부족'으로 분류할 수 있었다. 즉, 연구참여자들은 교사 자신의 불충분한 지식 때문에 학생들에게 명확한 설명이 제공되지 않을 때 학생들이 양자물리 관련 학습의 어려움을 느끼는 것으로 인식하였다.

표 13. 교사가 인식한 학생의 양자물리 학습의 어려움 요인 및 세부요인

요인	세부요인	세부요인에 대한 설명
학생	선행지식 충돌	▪ 다른 교과에서 배운 내용과 다를 경우 학습의 어려움을 느낌
	선행지식 부족	▪ 선행되어야 하는 내용 학습의 부재로 학습의 어려움을 느낌 ▪ 선행되어야 하는 교과내용에 대한 이해 부족으로 학습의 어려움을 느낌
과학 교과	처음 접하는 내용	▪ 처음 접하는 내용이 생소해 어려움을 느낌
	양자물리 내용의 특징	▪ 개념이 추상적인 경우 학생들이 어려움을 느낌 ▪ 개념, 이론, 법칙 등이 복잡한 수식으로 표현된 경우 어려움을 느낌 ▪ 기존 물질의 세계관과 달라 잘 받아들여지지 않는 경우 어려움을 느낌
	응용사례의 복잡한 원리	▪ 많은 응용사례와 각각의 복잡한 원리를 이해하는데 어려움을 느낌
	난이도가 높은 내용	▪ 고등학교 수준으로 원리를 설명하기에 난이도가 높아 학생들이 어려움을 느낌.
	복잡한 문제상황	▪ 복잡한 문제상황이 제시된 경우 어려움을 느낌
교수 학습	매체부족	▪ 추상적인 개념을 설명하기 위한 교수학습자료가 부족해 학생들이 학습의 어려움을 느낌.
	관련 활동 불가능	▪ 고등학교 수준에서 실험이 불가능해 직접 관찰할 수 없어 어려움을 느낌
	지식전달 위주의 설명	▪ 이론 및 개념이 나오게 된 맥락이 부족할 경우 학습의 어려움을 느낌 ▪ 본질적인 의미나 원리가 제시되어 있지 않은 경우 어려움을 느낌
교사 전문성	내용지식부족	▪ 교사 자신의 불충분한 개념으로 학생들에게 명확한 설명을 할 수 없어 학생들이 학습의 어려움을 느낌

학생들이 흥미를 느끼는 양자물리 내용요소 및 흥미요인과 학생들이 어려움을 느끼는 양자물리 내용요소 및 어려움 요인이 무엇인지 알아보고자 하였다. 이에 양자물리의 내용요소별 학생의 흥미 및 학습의 어려움 요인을 분석하였으며 결과는 표 14와 같다.

(1) 양자물리의 기본원리

연구참여자들은 학생들이 양자물리의 기본원리의 내용요소 중 '빛의 이중성, 입자-파동 이중성, 불확정성 원리, 확률론적 예측'을 학습할 때 기존의 물질과 관련된 사고관과 다른 양자물리 내용이 가지는 특징 때문에 흥미를 느끼는 것으로 인식하였다. 또한, 평소에 양자물리 내용에 호기심을 가지고 있던 학생의 경우 물질의 파동성과 물질의 이중성을 학습할 때 흥미를 느낀다고 응답하였다.

하지만, 연구참여자들은 '빛의 입자성, 입자-파동 이중성, 불확정성 원리'의 경우 양자물리 내용이 가지는 특징 때문에 흥미를 느끼면서도 전반적으로 학습의 어려움을 겪는 것으로 인식하였다. 즉, 기존물질의 세계관과 달라 잘 받아들여지지 않거나 양자물리 내용이 추상적이여서 학습의 어려움을 느끼는 것으로 인식하였다. 이는 기존의 양자물리내용에 관한 학생 오개념과 이해를 조사한 선행연구에서 나타난 결과(Krijtenburg-Lewerissa *et al.*, 2017)와 같다.

(2) 현상

연구참여자들은 학생들이 양자물리 관련 현상의 내용요소 중 '광전효과, 물질파, 전자 회절, 양자터널 효과, 흑체복사'에 흥미를 느끼는 것으로 인식하였다. 광전효과의 경우, 학생들이 아인슈타인의 성과에 흥미를 느끼기도 하며 처음 접하는 내용에 새로움을 느껴 흥미를 가진다고 응답하였다. 또한, 광전효과와 관련해 일상생활에서 접할 수 있는 기술을 제시할 경우 학생들이 흥미를 느낀다고 응답하였다. 양자터널 현상의 경우, 학생들이 가지고 있던 기존물질과 관련된 사고관 또는 상식과 달라 흥미를 느끼는 것으로 인식하였다. 흑체복사의 경우, 선행지식과 관련이 있어서 흥미를

느끼거나, 다른 교과 지식과 연결되어 물리학의 효용성을 느낄 수 있어서 학생들이 흥미를 느끼는 것으로 인식하였다.

한편, 연구참여자들은 학생들이 '물질파, 컴프턴 효과'를 학습할 때 내용이 추상적이거나 기존의 물질관과 달라 이해하기 어려워 학습의 어려움을 겪는 것으로 인식하였다. 또한, 데이비슨-저머 실험의 경우 관련 선행지식이 부족하여 학생들이 학습의 어려움을 겪는 것으로 인식하였다.

(3) 응용사례

연구참여자들은 '다이오드, LED, 신소재, 전자현미경'을 학습할 때 직접 관찰하거나 매체를 활용해 보여주는 등 적절한 교수학습을 제공할 경우 학생들이 흥미를 느끼는 것으로 인식하였다. 또한, '정보저장매체, 신소재, CCD, 전자현미경, 레이저'의 경우, 일상생활에서 접할 수 있는 기술이기 때문에 학생들이 친숙함을 느끼고 응용사례의 원리와 관련된 기본원리 및 현상에 흥미를 느끼는 것으로 인식하였다.

한편, 연구참여자들은 '다이오드, 트랜지스터, CCD, 레이저'의 경우, 교사의 내용지식이 부족하여 학생들이 학습의 어려움을 느낀다고 인식하였다. 특히, 트랜지스터의 경우 학생들이 흥미를 느끼기보다는 선행지식이 부족해서, 이해하기에 어렵고 원리가 복잡해서, 추상적인 양자물리 내용 특징 때문에, 관련 활동이 불가능 해서 등 다양한 이유로 인해 학습의 어려움을 느끼는 것으로 나타났다.

(4) 원자이론

연구참여자들은 학생들이 자성체를 학습할 때, 매체를 활용해 관련 내용을 보여준 경우, 직접 관찰할 수 있도록 수업을 구성한 경우에 흥미를 느끼는 것으로 인식하였다. 또한, 보어 원자 모델과 현대 원자 모델은 다른 교과에서 배운 선행지식과 연결된 경우 학생이 흥미를 느낀 것으로 응답하였다.

하지만, 연구참여자들이 원자이론의 내용요소 학습과 관련해서 흥미보다는 주로 학생들이 학습의 어려움을 겪고 있다고 인식하고 있는 것으로

해석할 수 있었다. 그 중, '에너지 준위와 에너지띠 이론, 자성체, 전자의 스핀 및 궤도 운동'을 학습할 때, 관련 내용이 너무 추상적이여서, 교사의 내용지식이 부족해서, 이론 및 개념이 나오게 된 맥락이 부족하고 본질적인 의미나 원리가 제시되어 있지 않아 지식전달 위주의 설명으로만 수업이 이루어져서 학생들이 학습의 어려움을 겪는 것으로 인식하였다.

(5) 파동함수 또는 수학적 표현

연구참여자들은 양자물리 관련 내용요소 중 '슈뢰딩거 방정식, 파동함수'를 다른 교과에서 접해보거나 기존 물질과 관련된 사고관 또는 상식과 달라 학생들이 흥미를 느끼기도 하지만, 개념, 이론, 법칙 등이 복잡한 수식으로 표현되어 있어 학습의 어려움을 겪는 것으로 인식하였다. 이는 양자물리 관련 학생의 흥미와 어려움을 조사한 선행연구 결과(Johansson, 2018)과 일치한다.

(6) 양자물리의 철학적 측면

양자물리의 철학적 측면과 관련된 내용요소는 2009개정 및 2015개정 교육과정에 명시적으로 제시되어 있지 않지만, 연구참여자가 수업을 진행하면서 과학자들의 논쟁사례로 슈뢰딩거의 고양이 사례를 제시하고 설명한 경우, 기존의 사고관과 다르다는 점과 양자물리 이론의 맥락을 이해할 수 있어 흥미를 느꼈다고 응답하였다.

연구참여자들은 기존 물질과 관련된 사고관이나 상식과 달라서 흥미를 느끼지만 기존의 물질관과 달라 잘 받아들이지 못하거나, 내용이 추상적이여서, 복잡한 수식으로 표현되어 있어서, 학생들이 양자물리 내용을 이해하는데 어려움을 겪는다고 인식하고 있는 것은 선행연구에서 논의되었던 결과(Krijtenburg-Lewerissa *et al.*, 2019; Johansson, 2018)와 일치한다. 학생들이 일상생활에서 접할 수 있는 응용사례의 원리에 흥미를 느끼지만 응용사례의 복잡한 원리를 자세하게 다룰 경우 학습의 어려움을 느낀다고 인식하고 있는 것은 중등학교에서 적절한 양자물리 내용을 탐색

한 선행연구에서 논의되었던 결과(Krijtenburg-Lewerissa *et al.*, 2019)와 일치한다. 따라서 추상적이고 기존의 물질관과 다른 양자물리 내용을 효과적으로 가르칠 수 있는 교수학습 방법이 요구되며 복잡한 수식을 학생들에게 가르칠 필요가 있는지에 대한 논의가 필요한 것으로 보인다. 또한, 학생들이 흥미를 가지는 응용사례를 제공하되 적절한 학습 수준이 무엇인지에 대한 논의가 필요한 것으로 보인다.

표 14. 양자물리의 내용요소에 대한 학생의 흥미 및 학습의 어려움 요인(전체응답자 N=14명)

주제	내용요소	흥미 요인 (n=응답자수)	어려운 요인 (n=응답자수)
양자물리의 기본원리	빛의 입자성	쉬운내용(1)	·
	빛의 이중성	양자물리 내용 특징(1) 맥락설명(1)	양자물리 내용 특징(1)
	물질의 파동성	인지욕구(1)	양자물리 내용 특징(2)
	물질의 이중성	인지욕구(1)	선행지식 부족(1)
	입자-파동 이중성	양자물리 내용 특징(2)	양자물리 내용 특징(2)
	불확정성 원리	양자물리 내용 특징(4)	양자물리 내용 특징(2)
	확률론적 예측	양자물리 내용 특징(1)	·
현상	광전효과	처음 접하는 내용(1) 과학자(1) 맥락제공(1) 쉬운 내용(1) 실생활 관련 내용(1)	어려운 내용(1)
	물질파	양자물리 내용 특징(1)	양자물리 내용 특징(1)
	컴프턴 산란	·	양자물리 내용 특징(1)
	데이비슨-저머 실험	·	선행지식 부족(1)
	전자 회절	인지욕구(1)	·
	양자터널 효과	양자물리 내용 특징(7)	·
	흑체복사	선행지식(1) 효용성을 느낄 수 있는 내용(1)	·

주제	내용요소	흥미 요인 (n=응답자수)	어려운 요인 (n=응답자수)
응용사례	다이오드	직접 관찰(1)	교사 내용지식 부족(1) 응용사례의 복잡한 원리(1)
	LED	매체 활용(1)	·
	트랜지스터	·	양자물리 내용 특징(2) 선행지식 부족(1) 처음 접하는 내용(1) 어려운 내용(1) 관련 활동 불가능(1) 교사 내용지식 부족(1) 응용사례의 복잡한 원리(1)
	정보저장매체	실생활 관련 내용 (1) 효용성을 느낄 수 있는 내용(1)	·
	신소재	진로(1) 실생활 관련 내용 (2) 매체 활용(1)	·
	CCD	진로(1) 실생활 관련 내용 (2)	교사 내용지식 부족(1)
	전자현미경	양자물리 내용 특징(1) 실생활 관련 내용 (1) 과학자(1) 매체 활용(1) 직접 관찰(1)	선행지식 부족(1) 양자물리 내용 특징(2)
	레이저	실생활 관련 내용 (1)	선행지식 부족(1) 양자물리 내용 특징(1) 교사 내용지식 부족(1) 관련 활동 불가능(1)

주제	내용요소	흥미 요인 (n=응답자수)	어려운 요인 (n=응답자수)
원자이론	에너지 준위	·	양자물리 내용 특징(1) 지식전달 위주 설명(1)
	선스펙트럼	·	·
	에너지띠 이론	효용성을 느낄 수 있는 내용(1)	양자물리 내용 특징(3) 매체부족(1) 처음 접하는 내용(1) 교사 내용지식 부족(1)
	고체의 전기전도성	·	·
	자성체	인지욕구(1) 처음 접하는 내용(1) 매체활용(2) 직접관찰(2)	양자물리 내용 특징(2) 어려운 내용(2) 교사 내용지식 부족(1) 지식전달 위주 설명(2)
	전자의 스핀, 궤도운동	·	선행지식 충돌(1) 처음 접하는 내용(1) 양자물리 내용 특징(4) 매체부족(1) 교사 내용지식 부족(1) 지식전달 위주 설명(1)
	보어 원자 모델	선행지식(1)	·
	현대 원자 모델	선행지식(1)	·
파동함수 또는 수학적표현	슈뢰딩거 방정식	선행지식(1) 양자물리 내용 특징(1)	양자물리 내용 특징(3)
	파동함수	선행지식(1) 양자물리 내용 특징(1)	양자물리 내용 특징(2)
	입자가 발견될 확률	·	양자물리 내용 특징(1)
철학적 측면	과학자들의 논쟁사례	양자물리 내용 특징(1) 맥락설명(1)	·

4.1.2. 교사가 인식한 양자물리 관련 교육과정 내용 및 운영에서의 어려움

연구참여자들은 양자물리 관련 내용을 지도하면서 교육과정 내용 측면에서 교육내용 적정성 분석틀(주형미 외, 2020)에 제시된 교육내용 선정, 교육내용 조직, 교육내용의 양, 교육내용 수준 영역에서 어려움을 겪은 것으로 나타났다. 또한, 교육과정을 운영하는 데 있어 교육내용 평가와 교과 운영 영역에서 어려움을 겪은 것으로 나타나 내용 적정성 분석틀(주형미 외, 2020)을 수정하여 분석했으며 세부내용 및 응답자수는 표 15와 같다.

(1) 2009개정 교육과정 물리 I 의 양자물리

2009개정 교육과정 물리 I 의 양자물리 관련 교육과정 내용 및 운영과 관련해서 연구참여자들은 교육내용 선정, 교육내용 조직, 교육내용 양, 교육내용 수준, 교육내용 평가 측면에서 어려움을 겪은 것으로 나타났다.

교육내용 선정과 관련해서는 교과 및 학문적 요구와 맞는 내용이 아닌 기술에 치중된 교육내용으로 이루어져 있어 양자물리 교육에 어려움이 있는 것으로 나타났다(1명).

교육내용 조직과 관련해 연구참여자들이 인식한 어려움은 세부요인 중 '교과 내 내용 조직'으로 양자물리 내용의 조직이 적절하지 않아 어려움을 겪은 것으로 나타났다(4명).

교육내용의 양과 관련해 연구참여자들이 인식한 어려움은 세부요인 중 '수업시수, 교과목표 달성'에서 나타났다. 즉, 수업시수 내에서 학생이 성취하기에 교육내용의 양이 적절하지 않아 어려움을 겪거나(4명), 교과 목표를 달성하기에 적합하지 않은 분량으로 교육내용의 양이 구성되어 있어 어려움을 겪은 것(1명)으로 나타났다.

교육내용의 수준과 관련해 연구참여자들이 인식한 어려움은 세부요인 중 '수업 시수, 교과목표 달성'에서 나타났다. 즉, 교육내용의 수준이 수업 시수 내에 성취하기에 적합하지 않거나(1명), 불명확한 성취기준으로 교육내용 수준을 정하기 어려워서(3명) 양자물리 교육 운영에 어려움을 겪

는 것으로 나타났다.

교육내용 평가와 관련해서는 불명확한 성취기준으로 교육내용 수준을 정하기 어려워 지도하는데 어려움을 겪거나 평가방법이 주로 암기된 지식이나 공식을 이용한 문제풀이 위주로만 이루어질 수밖에 없어 평가의 어려움을 겪은 것으로 나타났다(3명).

(2) 2009개정 교육과정 물리Ⅱ의 양자물리

2009개정 교육과정 물리Ⅱ의 양자물리 관련 교육과정 내용 및 운영과 관련해서 연구참여자들은 교육내용 조직, 교육내용 양, 교육내용 수준, 교육내용 평가, 교과운영 측면에서 어려움을 겪은 것으로 나타났다.

교육내용 조직과 관련해 연구참여자들이 인식한 어려움은 세부요인 중 '교과 내 내용 조직, 교과 간 내용 조직'에서 나타났다. 연구참여자들은 2009개정의 물리Ⅰ과 동일하게 양자물리 내용조직이 적절하지 않아서 양자물리 교육에 어려움이 있다고 응답하였다. 또한, 교과 간의 연계 및 위계가 맞지 않게 교육과정이 구성되어 있어 양자물리 교육에 어려움을 겪었다고 응답한 경우도 있었다(1명).

교육내용의 양과 관련해 연구참여자들이 인식한 어려움은 세부요인 중 '수업시수'에서 나타났다. 즉, 수업시수 내에 성취하기에 적절하지 않아 어려움을 겪은 것으로 나타났다(4명).

교육내용 수준과 관련해 연구참여자들이 인식한 어려움은 세부요인 중 '학생 발달 수준, 수업시수, 교과목표 달성 정도'에서 나타났다. 즉, 연구참여자들이 양자물리 관련 교육내용의 수준이 학생 발달 수준에 적합하지 않아서(4명), 교육내용의 수준이 수업 시수 내에 성취하기에 적합하지 않아서(1명), 불명확한 성취기준으로 양자물리 교육내용 수준을 정하기 어려워서(3명) 양자물리 교육에 어려움을 겪은 것으로 나타났다.

교육내용 평가와 관련해서는 한정된 평가방법으로 인해 양자물리 교육에 어려움을 겪었다는 응답이 있었다(1명).

특히, 교과운영과 관련해 연구참여자들은 고등학교 3학년 학생을 대상으로 양자물리 교육을 진행하기 때문에 수능과 입시 등 학교 현장의 현실

적인 문제로 양자물리 교육에 어려움을 겪은 것으로 나타났다(5명).

(3) 2015개정 교육과정 물리학Ⅰ의 양자물리

2015개정 교육과정 물리학Ⅰ의 양자물리 관련 교육과정 내용 및 운영과 관련해서 연구참여자들은 교육내용 선정, 교육내용 조직, 교육내용 수준, 교육내용 평가 측면에서 어려움을 겪은 것으로 나타났다.

교육내용 선정과 관련해서는 교과 및 학문적 요구와 맞는 내용이 아닌 기술에 치중된 교육내용으로 이루어져 있어 양자물리 교육에 어려움이 있는 것으로 나타났다(2명).

교육내용 조직과 관련해 연구참여자들이 인식한 어려움은 세부요인 중 '교과 내 내용조직(7명)'에서 나타났다. 즉, 양자물리 내용이 교과특성 및 체계를 고려하지 않게 구성되어 있거나 교육내용이 비약되거나 단절된 채로 구성되어 있는 점, 교육내용의 연결성이 부족한 점 등 적절하지 않은 교과 내 내용 조직으로 인해 양자물리 교육에 어려움을 겪은 것으로 응답하였다.

교육내용 수준과 관련해 연구참여자들이 인식한 어려움은 세부요인 중 '교과목표 달성정도'에서 나타났다. 즉, 불명확한 성취기준으로 양자물리 교육내용의 수준을 정하기 어려워 양자물리 교육에 어려움을 겪은 것으로 응답하였다(3명).

교육내용 평가와 관련해서는 평가방법이 주로 암기된 지식이나 공식을 이용한 문제풀이 위주로만 이루어질 수밖에 없어 평가의 어려움을 겪은 것으로 나타났다(2명).

2009개정 교육과정의 양자물리 교육에서의 어려움 요인 중, 교육내용 조직에서의 교과 간 내용조직, 교육내용 양의 수업시수 및 교과목표 달성, 교육내용 수준의 학생 발달 수준, 수업시수와 관련된 어려움이 2015 개정 교육과정에서는 나타나지 않았다. 즉, 연구참여자들이 2015 개정 교육과정 물리학Ⅰ의 양자물리 교육내용은 교과 간 내용 조직 측면에서 적절하며, 수업시수 내에 성취하기에 교육내용의 양과 수준이 적절하다고 인식

하고 있는 것으로 해석할 수 있다. 또한, 2015 개정 교육과정 물리학 I 의 양자물리 교육내용은 교과목표를 달성하기에 적합한 교육내용의 양이며 학생 발달 수준에 적합한 교육내용 수준으로 구성되어 있다고 인식하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

한편, 전체적으로 양자물리 교육과 관련해 교육내용 조직의 교과 내 내용조직 측면, 교육내용 수준의 교과목표 달성 측면, 교육내용 평가의 한정된 평가방법 측면에서 어려움을 겪고 있는 것으로 나타났다. 따라서 양자물리 교육과정을 구성할 때 교과특성 및 체계를 고려하고 교육내용의 연결성을 고려한 교과 내 내용조직이 필요하며, 교육내용 수준을 정할 수 있도록 성취기준으로 명확하게 작성하는 것이 필요하며 다양하게 평가할 수 있는 평가방법으로 탐색하는 것이 필요하다.

표 15. 교사가 인식한 양자물리 관련 교육과정 내용 및 운영에서의 어려움 요인 (전체 응답자 수 N=14명)

요인	세부요인	설명	09 물리Ⅰ	09 물리Ⅱ	15 물리학Ⅰ
교육내용 선정	교과 및 학문적 요구	교과에서 필수적이고 핵심적인 내용이 아닌 기술에 치중된 교육내용으로 이루어져 있음.	1	·	2
교육내용 조직	교과 내 내용 조직	교과특성 및 체계를 고려하지 않은 구성 교육내용이 비약되거나 단절된 채로 구성됨 교육내용의 연결성 부족	4	3	7
	교과 간 내용 조직	교과 간의 연계 및 위계가 맞지 않게 교육내용이 조직되어 있음.	·	1	·
교육내용 양	수업시수	수업 시수 내에서 학생이 성취하기에 교육내용의 양이 많음	4	4	·
	교과목표 달성	교과 목표를 달성하기에 적합하지 않은 분량으로 교육내용의 양 구성	1	·	·
교육내용 수준	학생 발달 수준	교육내용의 수준이 학생 발달 수준에 적합하지 않음	·	4	·
	수업 시수	교육내용의 수준이 수업 시수 내에 성취하기에 적합하지 않음	1	1	·
	교과목표 달성	불명확한 성취기준으로 교육내용 수준을 정하기 어려움.	3	3	3
교육내용 평가	한정된 평가방법	교육내용-교수학습-평가 일체화가 어려움 암기된 지식 또는 공식을 이용한 문제풀이 위주의 평가	3	1	2
교과운영	현실적인 제약	학교 현장의 현실적인 문제로 교과 운영이 어려움	·	5	·

4.2. 물리학 I 에서의 양자물리 교육내용

1차, 2차, 3차 델파이 조사에 14명의 교사가 모두 참여하였다. 1차, 2차 조사를 통해 물리학 I 에서의 양자물리 교육의 필요성과 교육목표를, 1차 조사와 3차 조사를 통해 물리학 I 에서의 교육내용요소에 대한 합의를 도출하였다.

4.2.1. 교육의 필요성

델파이 1차 조사에서 연구참여자 총 14명 중 11명이 물리학 I 에서 양자물리 교육이 필요하다고 응답하였으며 3명은 양자물리 내용을 이해하기 어렵기 때문에 물리학 I 에서 양자물리 교육이 필요하지 않다고 응답하였다.1차 응답결과에서 연구참여자가 생각하는 물리학 I 에서 양자물리 교육의 필요성은 크게 개인적 맥락(10명)과 사회적 맥락(1명)으로 분류할 수 있었으며 응답예시는 표 16에 제시하였다.

개인적 맥락에서의 필요성은 2가지의 하위요소로 분류할 수 있었다. 개인의 의사결정에 필요한 양자물리 기본 내용지식이 필요하기 때문에 물리학 I 에서 양자물리 교육이 필요하다는 의견(7명)과 현대사회에서 요구되는 양자물리의 인식론적 지식 및 태도가 필요하기 때문에 물리학 I 에서 양자물리 교육이 필요하다는 의견(3명)으로 나눌 수 있었다.

사회적 맥락에서는 최근 과학기술이 양자물리학을 바탕으로 발전하고 있기 때문에 과학기술 발전을 위해서 필요하다는 의견이 있었다(1명).

표 16. 물리학 I 에서 양자물리 교육의 필요성에 대한 1차 델파이 응답결과(전체 응답자 수 N=11명)

맥락	필요성	응답예시(응답자수)	응답자수
개인	개인적 맥락의 의사결정에 필요한 양자물리 기본내용 지식 필요	▪ 현재 우리가 사용하는 기기와 기술이 양자물리와 관련된 것이 많으므로 이를 다루기 위해 정성적인 부분을 배우고 기본배경 지식 정도를 가지고 있어야 함(4) ▪ 고등학교에서 배우는 내용은 현재의 사회가 성취한 수준을 따라가야 함. 양자물리는 실제 생활에서 적용하는 수준에 도달했으므로 미래 사회를 살아가는 학생들에게 기본적인 소양이 되어야 함(2) ▪ 양자물리학의 연구결과를 상용화한 많은 기술들이 일상에 사용되고 있고 학생들의 삶에 영향을 미치므로 시민으로서의 소양 함양을 달성하기 위해 가르칠 필요가 있고 실제 학생들의 삶에도 도움이 될 것(1)	7
	현대사회에서 요구되는 양자물리의 인식론적 지식 및 태도 필요	▪ 과학이라고 하는 것이 불변하는 것이 아니라 연구를 통해 변화할 수 있다는 것을 가장 쉽게 보여주고 이해시킬 수 있는 부분(1) ▪ 일상생활에서부터 진로와 관련된 분야에서 양자역학적 원리에 어떻게 필요한지를 배우면, 물리학의 가치를 더욱 깊이 이해하고 학습(1) ▪ 물리학1은 학문의 기초를 접하는 곳으로 양자역학의 세계관은 현대 사회를 바라보는 중요한 시각을 제공(1)	3
사회	과학기술의 발전 추구	▪ 과학기술 발전을 위해서는 양자물리 학습이 필수적(1)	1

델파이 1차 조사 후, 물리학Ⅰ 양자물리 교육의 필요성의 다양한 의견에 대한 합의를 도출하기 위해 델파이 2차 조사를 실시하였다. 설문지에 1차 응답결과(표 16)를 제시하고 이를 참고로 하여 양자물리 교육의 필요성을 재진술하게 하였다. 델파이 2차 조사 결과에 따르면 연구참여자들은 개인적 맥락과 사회적 맥락에서 양자물리 교육이 필요하다고 보았으며 중복응답을 허용한 응답결과를 표 17에 제시하였다.

표 17. 물리학Ⅰ에서 양자물리 교육의 필요성 델파이 2차 응답결과(전체 응답자 수 N=14명)

맥락	필요성	응답자수
개인	▪ 미래 사회의 구성원으로서 현대 사회가 성취한 학문 및 기술에 대한 이해 필요	11
	▪ 자연을 이해하는 안목 확장 및 태도 함양 필요	7
	▪ 진로선택을 위해 필요	3
사회	▪ 과학발전을 위한 인재양성 필요	3
	전체 응답 수*	24

* 중복응답 포함

물리학Ⅰ 양자물리 교육에서 개인적 맥락의 필요성을 3가지의 하위요소로 분류할 수 있었다. 첫번째 하위요소로는 미래 사회의 구성원으로서 현대 사회가 성취한 학문과 기술에 대해서는 이해하고 있어야 한다는 의견이 가장 많았다(11명). 두번째로, 자연을 이해하는 안목을 확장하고 개인이 세상을 이해하는 안목과 태도를 길러주기 위해서 필요하다는 의견이 많았다(7명). 이는 연구참여자들이 물리학Ⅰ이 민주사회의 시민으로서 갖추어야 할 필요한 소양 또는 과학과 핵심역량을 함양하기 위한 과목(교육부, 2017)이라는 점을 인식하였기 때문인 것으로 해석된다. 세번째로, 1차 조사와 달리 개인적 맥락에서 진로선택을 위해 양자물리 교육이 필요하다는 의견(3명)이 있었다. 이는 연구참여자들이 실질적으로 물리학Ⅰ을 배운 학생들이 대부분 물리학Ⅱ을 선택하므로 물리학Ⅰ을 수강하는 학생

들을 예비 이공계 학생으로 생각한 것이기 때문인 것으로 해석된다.

물리학Ⅰ 양자물리 교육에서 사회적 맥락의 필요성으로 과학발전을 위한 인재양성이 필요하다는 의견(3명)이 있었다. 이는 연구참여자들이 양자물리 교육이 과학발전에 필요한 인재양성에 도움이 될 것이라고 생각한 것으로 해석된다.

연구참여자는 물리학Ⅰ에서 양자물리 교육이 개인적 맥락에서는 미래 사회의 구성원으로서 가지고 있어야 할 지식을 제공하고 세상을 이해하는 안목과 태도 함양 및 진로선택에 필요하며 사회적 맥락에서는 인재양성에 필요하다고 생각하고 있는 것으로 나타났다.

4.2.2. 교육목표

1차 조사 결과 물리학Ⅰ에서의 양자물리 교육목표는 다음과 같이 6개로 범주화 할 수 있었다.

범주1은 '입자-파동 이중성 또는 원자이론의 학습, 양자물리 관련 현상의 해석 및 응용사례를 조사와 원리 분석을 통해 문제인식, 자료의 수집, 분석 및 해석, 의사소통과 등과 같은 탐구기능을 배우고 사용할 수 있다.' 이다. (10명). 2015 개정 교육과정에서는 '기능'을 수업 후 학생들이 할 수 있거나 할 수 있기를 기대하는 능력으로 교과 고유의 탐구과정 및 사고기능으로 보고 있으나 연구참여자들의 응답에서는 '기능'을 분절적으로 달성해야 하는 것으로 보는 것이 아니라 지식 및 상황과 통합되어 학습할 수 있는 것으로 기술되어 있었다. 기능을 사용하는 상황은 크게 현상에 대해 과학적 설명을 하기 위해서, 과학자료나 주장을 분석하거나 평가하기 위해서, 과학적으로 탐구할 방법을 기술하기 위한 것으로 PISA 2015 과학평가틀(OECD, 2017; 송미영, 2013)에서 제시하고 있는 '과학역량'으로 해석할 수 있었다. 이에 본 연구자는 범주1의 목표를 '양자물리 관련 기초이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학역량을 함양할 수 있다.'로 재진술하였다.

범주2는 '입자-파동 이중성, 불연속적인 물리량, 현대의 원자모형 등 양자물리의 기본 및 이론을 학습해야 한다.'이다(11명). 즉, 미시세계의 자연현상을 이해하기 위해서 양자물리의 기본 및 이론을 학습해야 한다고 보고 있었다. 이에 본 연구자는 범주2의 목표를 '미시세계에서의 자연현상을 이해하기 위해 필요한 양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습한다.'로 재진술하였다.

범주3은 '양자물리 내용을 학습함으로써 과학지식의 가변성 또는 실험결과로 이론을 신뢰할 수 있다는 과학적 방법의 특징을 배울 수 있다.'이다(5명). 즉, 양자물리가 발전한 과정에서 기본 개념과 이론을 학습함으로써 과학적 방법과 과학지식의 특징을 이해해야 한다고 보고 있었다. 이에 본 연구자는 범주3의 목표를 '양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습함으로써 과학적 방법과 과학지식의 특징을 이해한다'로 재진술하였다.

범주4는 '양자물리의 연구결과가 실제로 사용되고 있는 사례를 통해 양자물리의 필요성과 중요성을 인식할 수 있다.'이다(7명). 이에 본 연구자는 범주4의 목표를 '양자물리 이론의 적용 및 일상생활 속 응용사례에 대한 학습을 통해 물리학의 필요성 및 중요성을 인식한다.'로 재진술하였다.

범주5는 호기심과 흥미와 관련된 것이다(2명). 즉, 양자물리 교육을 통해 과학탐구와 지식의 발견에 흥미를 느낄 수 있으며 관찰과 호기심의 중요성을 배울 수 있다고 기술되어 있었다. 이에 본 연구자는 범주5의 목표를 '양자물리 관련 현상 및 발전과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미를 느끼고 관찰과 호기심의 중요성을 안다.'로 재진술하였다.

범주6은 진로 탐색과 미래 준비와 관련된 것이다(1명). 이에 본 연구자는 범주6의 목표를 연구참여자가 진술한 의미가 드러나도록 '첨단과학기술 속 양자물리 원리의 중요성을 인식하고 진로를 탐색하며 미래를 준비하는 태도를 함양한다.'로 재진술하였다.

각 범주에 대한 응답예시는 표 18에 제시하였다.

표 18. 물리학 I 에서 양자물리 교육목표에 대한 1차 델파이 응답결과(전체 응답자 수 N=11명)

NO.	연구자가 진술한 교육목표 (n=응답수)	응답 예시
범주1	양자물리 관련 기초이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학 역량* 을 함양한다. (n=10)	▪ 입자-파동 이중성이 어떤 현상을 통해 관찰되며 어떤 해석을 기반으로 하는지, 이러한 이중성이 확률적, 통계적 해석으로 이어지는 과정을 이해함으로서 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가를 학습 ▪ 원자 이론을 학습하고 원자모형의 한계점을 살펴보고 모둠별로 토의하며 모형의 개발의 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 의사소통 등의 탐구기능을 수행, ▪ 반도체 소자를 포함한 회로 설계를 하며 탐구설계와 수행, 시뮬레이션 설계를 통한 수학적 사고와 컴퓨터 활용 등의 탐구과정 학습
범주2	미시세계에서의 자연현상을 이해하기 위해 필요한 양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습한다. (n=11)	▪ 빛과 물질의 이중성을 학습함으로써 빛과 물질을 바라보는 시각을 변화시키고 모든 양자물리학의 내용을 이해하는 데 있어 기본적인 시각이 됨. ▪ 불연속적인 물리량들이 등장하는 특성은 양자물리학의 가장 큰 특징이기 때문에 이를 강조하여 학습 ▪ 미시세계 이해를 위한 현대적 원자모형을 배움

범주3	양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습함으로써 과학적 방법과 과학지식의 특징을 이해한다. (n=5)	▪ 물질의 파동성을 배우면서 물질에 대해 완전히 새롭게 생각할 수 있고, 과학이란 것이 절대적이고 고정되어 있는 지식이라는 생각에 변화를 줄 수 있음. ▪ 선스펙트럼, 이중슬릿, 광전효과와 같은 쉽게 확인 가능하고 분명한 결과를 보여주는 실험을 배움으로써 실험결과로 이론을 신뢰하는 과학적 방법을 배울 수 있음. ▪ 양자 물리의 발전과정은 기존에 생각했던 입자에 대한 개념, 관측에 대한 개념들이 어떻게 바뀌었는지를 살펴봄을 통해 과학적 개념의 변화를 살펴볼 수 있음. 이는 현재 교과서의 물리학에서 이야기하는 내용들이 반례가 보인다면 변화할 수 있는 가변성을 가졌음을 학습할 수 있음.
범주4	양자물리 이론의 적용 및 일상생활 속 응용사례에 대한 학습을 통해 물리학의 필요성 및 중요성을 인식한다. (n=7)	▪ 응용사례를 학습함으로써 현실에서 양자물리가 어떻게 적용되고 있고 얼마나 중요한지를 이해하는 과정을 통해 양자 물리의 중요성과 배움의 필요성을 느낄 수 있음. ▪ 현재 어떻게 적용되는 지를 알게 되면서, 학생들은 뜬구름 잡는 것처럼만 보였던 양자 물리가 실제 삶에 관련되고 있음을 느끼게 됨. ▪ 광다이오드를 학습함으로써 실제 양자물리학적 연구를 바탕으로 한 발명품들이 일상생활에 사용되고 있음을 앎.

범주5	양자물리 관련 현상 및 발전 과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미를 느끼고 관찰과 호기심의 중요성을 안다. (n=2)	▪ 물리학이 실험에 근거한 이론을 정립하고 발전해가는 과정을 접하고 과학 탐구와 지식의 발견에 흥미를 느낄 수 있음. ▪ 물리학에서 현상에 대한 관찰과 호기심의 중요성 등을 배울 수 있음.
범주6	첨단과학기술 속 양자물리 원리의 중요성을 인식하고 진로를 탐색하며 미래를 준비하는 태도를 함양한다. (n=1)	▪ 첨단과학 기술과 관련하여 양자역학이 그것들의 기본이 되는 학문임을 알게 되고, 학교 교육과정을 통해 진로를 탐색하고 미래를 준비하는 태도와 기본 능력을 배양할 수 있음.

델파이 2차 조사에서는 1차 응답을 토대로 연구자가 재진술한 여섯개의 범주의 교육목표에 대해 동의하는지를 먼저 조사하였다. 동의한 응답자수와 동의정도에 대한 CVR값은 표 19와 같으며 CVR은 모두 0.51 이상으로 연구자가 재진술한 교육목표가 타당하다고 해석할 수 있었다(Lawshe, 1975).

표 19. 연구자가 진술한 교육목표 타당도에 대한 응답결과(전체응답자 N=14명)

NO.	교육목표	동의한 응답자수*	CVR
1	양자물리 관련 기초이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학 역량* 을 함양한다.	14명	1
2	미시세계에서의 자연현상을 이해하기 위해 필요한 양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습한다.	14명	1
3	양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습함으로써 과학적 방법과 과학지식의 특징을 이해한다.	13명	0.86
4	양자물리 이론의 적용 및 일상생활 속 응용사례에 대한 학습을 통해 물리학의 필요성 및 중요성을 인식한다.	13명	0.86
5	양자물리 관련 현상 및 발전과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미를 느끼고 관찰과 호기심의 중요성을 안다.	11명	0.57
6	첨단과학기술 속 양자물리 원리의 중요성을 인식하고 진로를 탐색하며 미래를 준비하는 태도를 함양한다.	13명	0.86

* 동의정도는 4점 리커트 척도로 '동의한다'와 '어느정도 동의한다'를 동의한 응답자수로 통계처리하였다.

6개 범주의 교육목표에 대한 동의여부 조사 후, 물리학 I 에서의 양자물리 교육목표로서 중요한 정도에 대한 의견을 조사하였으며 결과는 표 20과 같다. 6개의 범주 중에 내용타당도 비율(CVR), 수렴도, 합의도, 변이계수 4가지 수치 모두 유의미한 값을 가진 범주3, 범주4, 범주6을 양자물리 교육의 목표로 제안하였다(엄지&이건남, 2014; 이명원 외, 2021; Dajani et al., 1979; Lawshe, 1975).

▪ 양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습함으로써 과학적 방법과 과학지식의 특징을 이해한다.

▪ 양자물리 이론의 적용 및 일상생활 속 응용사례에 대한 학습을 통해 물리학의 필요성 및 중요성을 인식한다.

▪ 첨단과학기술 속 양자물리 원리의 중요성을 인식하고 진로를 탐색하며 미래를 준비하는 태도를 함양한다.

선정된 교육목표로부터 연구참여자들은 물리학 I 에서 양자물리 교육을 통해 양자물리의 기본 개념, 이론, 응용사례를 이해하는 것이 중점 목표가 아니라 이를 학습함으로써 과학에 대해 이해하고 과학의 가치를 인식하며 개인의 미래를 준비할 수 있기를 기대하는 것으로 해석할 수 있었다.

표 20. 물리학 I 에서 양자물리 교육목표 중요도에 대한 2차 델파이 응답결과(전체 응답자 수 N=14명)

NO	교육목표	CVR	평균	표준편차	수렴도	합의도	변이계수
1	양자물리 관련 기초이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학 역량을 함양한다.	0.57	4.21	0.77	0.63	0.69	0.18
2	미시세계에서의 자연현상을 이해하기 위해 필요한 양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습한다.	0.43	4.14	0.83	1.00	0.50	0.20
3	양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습함으로써 과학적 방법과 과학지식의 특징을 이해한다.	0.71	4.29	0.70	0.5	0.75	0.16
4	양자물리 이론의 적용 및 일상생활 속 응용사례에 대한 학습을 통해 물리학의 필요성 및 중요성을 인식한다.	0.86	4.57	0.62	0.5	0.80	0.14
5	양자물리 관련 현상 및 발전과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미를 느끼고 관찰과 호기심의 중요성을 안다.	0.14	3.79	0.94	1.00	0.50	0.25
6	첨단과학기술 속 양자물리 원리의 중요성을 인식하고 진로를 탐색하며 미래를 준비하는 태도를 함양한다.	0.71	4.07	0.96	0.5	0.75	0.24

4.2.3. 교육내용요소

1차 조사에서 6개의 주제로 분류된 양자물리 내용요소 분류틀(표 1)를 토대로 물리학 I 에서 다루어야 할 양자물리 내용요소를 조사하였다. 3차 델파이 조사에서는 양자물리 교육의 필요성과 교육목표를 고려한 교육내용요소를 선택하도록 하였으며 2009개정 교육과정 및 2015 개정 교육과정에 포함된 내용요소를 비교분석한 것과 1차 조사결과를 제공하였다. 조사 후, 2009개정 교육과정 및 2015 개정 교육과정의 내용요소, 1차 조사 및 3차 조사결과를 비교 분석하였으며 응답결과는 표 21과 같다.

(1) 양자물리의 기본원리

물리학 I 에서 다루어야 할 양자물리의 기본원리로 추출된 교육내용요소는 입자-파동이중성(14명), 빛의 이중성(12명), 물질의 이중성(11명), 빛의 입자성(10명), 물질의 파동성(10명)이다. 연구참여자들은 기본원리의 내용요소 중 입자-파동 이중성을 중심으로 학습이 구성되어야 한다고 생각하고 있었다. 2015 개정 교육과정에서 다루고 있는 수준과 범위는 유지하되 빛의 이중성과 물질의 이중성이 분절적으로 제시되는 것이 아니라 과학사적 흐름과 맥락을 제공하여 고전물리학의 한계와 물리학자들이 시도한 해석과 숙제로 남은 것, 양자물리학이 자연현상을 잘 설명하고 있음을 학습할 수 있도록 구성되어야 한다고 하였다. 또한, 빛의 이중성 또는 빛의 입자성과 물질의 이중성 또는 물질의 파동성을 학습한 후, 입자-파동 이중성으로 이어질 수 있도록 구성되어야 한다고 보았다.

(2) 현상

물리학 I 에서 다루어야 할 양자물리 관련 현상으로 추출된 교육내용요소는 광전효과(14명), 드브로이의 물질파(14명), 전자의 회절실험(10명), 불연속적 에너지 준위(9명), 선스펙트럼(9명), 이중슬릿 실험(8명)이다. 연구참여자들은 물리학 I 에서는 위의 현상을 통해 기본원리를 학습할 수 있도록 내용이 구성되어야 한다고 보고 있었다. 기본원리인 입자-파동 이

중성의 실험적 증거인 광전효과, 전자의 회절실험, 이중슬릿 실험을 다루고 에너지의 양자화를 설명할 수 있는 실험적 예시로 선스펙트럼을 다룰 수 있도록 내용이 구성되어야 한다고 보았다. 하지만, 기본원리를 이해하기 위한 실험적 증거로서 현상을 제시해야하지 정량적인 계산을 다루는 것은 지양해야 한다고 보았다.

(3) 응용사례

물리학 I 에서 다루어야 할 양자물리 관련 응용사례로 추출된 교육내용요소는 다이오드(12명), LED(11명), 태양전지(11명), 전자 현미경(9명)이다. 교사는 앞서 선택된 양자물리의 기본원리(입자-파동 이중성, 에너지의 양자화)의 기술적 활용을 보여줄 수 있으며 학생들이 이해하는데 어렵지 않은 응용사례를 다뤄야 한다고 보고 있었다. 즉, 응용사례와 해당원리를 연결할 수 있는 정성적 수준에서 다뤄야 한다고 하였다. 에너지의 양자화와 관련해서는 다이오드와 LED는 실생활에서 자주 볼 수 있고 학생들이 이해하는데 크게 어려움이 없기 때문에 현재 교육과정 수준으로 가르쳐져야 한다고 보았다. 전자현미경의 경우, 전자현미경의 원리나 종류를 다루는 것이 아니라 입자-파동 이중성의 기술적 활용을 보여줄 수 있는 예시로 다뤄야 한다고 보았다. 한편, 2015개정 교육과정에서는 태양전지가 포함되어 있지 않았지만, 태양전지 역시 중요한 응용사례이므로 분량이 된다면 2009개정 교육과정 수준으로 기전력이 발생하는 원리를 포함하면 좋겠다는 의견이 있었다.

(4) 원자이론

물리학 I 에서 다루어야 할 양자물리 관련 원자이론에서 추출된 교육내용요소는 에너지 준위(14명), 에너지띠이론(12명), 선스펙트럼(12명), 보어의 원자모형(10명)이다. 연구참여자들은 2009개정 및 2015 개정에서 제시된 수준과 범위로 다뤄야 한다고 보고 있었다. 단, 최종적으로 보어의 원자모형을 이해하기 위해서 다뤄져야 한다고 보고 있었으며 예시로 전자기단원에서 내용이 다뤄지는 것보다 원자 모형의 맥락에서 체계적으로

접근하는 것이 양자물리의 맥락을 이해시키는데 도움이 될 것이라는 의견이 있었다.

(5) 파동함수 또는 수학적 표현

물리학 I 에서 다루어야 할 양자물리의 파동함수 또는 수학적 표현에서 유의미하게 추출된 교육내용요소는 없었다. 연구참여자들은 파동함수 또는 수학적 표현은 물리학 I 에서 다루는 것이 적합하지 않다고 보고 있었다.

(6) 양자물리의 철학적 측면

물리학 I 에서 다루어야 할 양자물리의 철학적 측면에서도 유의미하게 추출된 교육내용요소는 없었다. 한편, 양자물리의 철학적 측면의 교육내용요소인 '양자물리 이론의 발전과정(6명)'은 앞선 기본원리와 현상을 가르칠 때 양자물리의 이론과정과 과학사적 상황을 함께 이뤄져야 하는 것으로 응답한 것을 보아 교육내용요소로 따로 제시되는 것보다는 교수학습 과정에서 제시되어야 하는 것으로 해석할 수 있었다.

전체적으로 연구참여자들은 물리학 I 에서는 과학사적 맥락에서 현상을 통해 기본 개념 및 이론을 학습하고 기본원리가 적용된 기술적 활용인 예시를 학습해야 한다고 생각하고 있는 것으로 나타났다. 즉, 입자-파동 이중성과 에너지의 양자화를 핵심개념으로 하여 관련된 실험 증거와 과학사적 맥락에서 학습하고 이를 통해 과학적 방법과 과학지식의 특징을 이해해야 한다고 생각하는 것으로 해석할 수 있었다. 또한, 입자-파동 이중성과 에너지의 양자화의 적용 및 응용사례인 태양전지, 전자현미경, 다이오드와 LED를 정성적 수준에서 소개하며 물리학의 필요성과 중요성을 인식해야 한다고 생각하는 것으로 해석된다. 물리학의 필요성과 중요성을 인식함으로써 진로를 탐색하고 미래를 준비하는 태도를 함양해야 한다고 생각하는 것으로 해석된다.

표 21. 물리학Ⅰ에서의 양자물리 교육내용요소에 대한 1차 및 3차 델파이 응답결과(1차 전체 응답자수=11명, 3차 전체 응답자수=14명)

주제	관련 내용요소	교육과정		델파이 조사 응답자수(n)	
		2009 개정	2015 개정	1차	3차
양자물리의 기본 원리	입자-파동 이중성	·	·	7	14
	빛의 이중성	·	◯b	2	12
	물질의 이중성	·	◯b	2	11
	빛의 입자성	◯B	·	1	10
	물질의 파동성	·	·	1	10
	불확정성 원리	·	·	1	2
	확률적 해석	·	·	1	2
	파울리의 배타원리	·	·	·	·
	상보성 원리	·	·	·	·
	양자 얽힘	·	·	·	·
현상	광전효과	◯B	·	4	14
	드브로이의 물질파	·	·	2	14
	전자의 회절 실험	·	·	2	10
	불연속적 에너지 준위	◯A	◯a	2	9
	선스펙트럼	◯A	◯a	2	9
	이중슬릿 실험	·	·	·	8
	이중성 관련 현상	·	·	2	5
	데이비슨-저머실험	·	·	1	4
	컴프턴 산란	·	·	1	3
	양자터널 효과	·	·	·	1
	원자핵의 붕괴	·	·	·	·
	흑체복사	·	·	·	2

주제	관련 내용요소	교육과정		델파이 조사 응답자수	
		2009 개정	2015 개정	1차	3차
응용사례	다이오드	◯A	◯a	2	12
	LED	◯A	·	4	11
	태양전지	◯c	·	2	11
	전자 현미경	·	◯b	1	9
	정보 저장매체(하드 디스크 등)	◯B	·	3	7
	전하결합소자(CCD)	·	◯b	1	6
	신소재(초전도체, 유전체 등)	◯A	·	1	4
	광센서	◯c	·	·	2
	트랜지스터	◯A	·	1	1
	레이저	·	·	·	1
	양자컴퓨터	·	·	·	1
	양자정보	·	·	·	·
원자 이론	에너지 준위	◯A	◯a	4	14
	선스펙트럼	◯A	◯a	2	12
	에너지띠 이론	◯A	◯a	3	12
	보어의 원자모형	·	·	1	10
	고체의 전기전도성			3	7
	현대적 원자모형	·	·	1	5
	원자모형의 발전과정	·	·	1	4
	자성체	◯A	◯a	2	4
	전자의 스핀, 궤도운동	◯A	·	2	4
	일차원 모델(포텐셜 우물)	·	·	·	·
	전자배열	·	·	1	·
	파울리의 배타원리	·	·	·	·
	원자의 주기율표	·	·	·	·
	양자수	·	·	·	·
	페르미온과 보존	·	·	·	·

주제	관련 내용요소	교육과정		델파이 조사 응답자수	
		2009 개정	2015 개정	1차	3차
파동함수	파동함수	·	·	·	3
	슈뢰딩거 방정식	·	·	·	2
	입자가 발견될 확률	·	·	·	2
	중첩원리	·	·	·	·
	일차원 모델(포텐셜 우물)	·	·	·	·
	시간변화	·	·	·	·
	확률계산	·	·	·	·
양자물리의 철학적 측면	양자물리 이론의 발전과정	·	·	1	6
	과학자들의 논쟁사례 (슈뢰딩거의 고양이)	·	·	·	2
	입자파동 이중성	·	·	·	2
	고전물리와 양자물리의 차이점	·	·	·	2
	확률론적인 해석	·	·	·	1
	인식론적인 해석	·	·	·	1
	코펜하겐 해석	·	·	·	1
	상보성 원리	·	·	·	·
	아인슈타인의 EPR역설	·	·	·	·
	사고실험	·	·	·	·
	양자얽힘	·	·	·	·

※ A ~C a ~ b: 양자물리 관련 내용요소가 포함된 해당 대단원

2009 개정 교육과정 물리 I : A 물질과 전자기장, B 정보와 통신, C 에너지

2015 개정 교육과정 물리 I : a 물질과 전자기장, b 파동과 정보통신

4.3. 물리학Ⅱ에서의 양자물리 교육내용

1차, 2차, 3차 델파이 조사에 14명의 교사가 모두 참여하였으며 물리학Ⅰ과 같은 절차를 따라 교육의 필요성, 교육목표, 교육내용요소에 대한 합의를 도출하였다.

4.3.1. 교육의 필요성

델파이 1차 조사에서 연구참여자 14명이 모두 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육이 필요하다고 응답하였다. 1차 응답결과에서 연구참여자들이 생각하는 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육의 필요성은 물리학Ⅰ과 달리 개인적 맥락(14명)에 필요하다는 의견만 나왔으며 2개의 하위요소로 분류할 수 있었다. 교사가 개인적인 맥락에서의 필요성은 진로와 관련된 심화된 내용지식이 필요하다는 의견(13명)과 최신 양자물리에 대한 인식론적 지식과 태도가 필요하다는 의견(1명)으로 나눌 수 있었다. 응답예시는 표 22에 제시하였다.

표 22. 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육의 필요성에 대한 1차 델파이 응답결과(전체 응답자 수 N=14명)

맥락	필요성	응답예시(응답자수)	응답자수
개인	진로와 관련된 심화된 내용지식 필요	▪ 이공계열 진로를 희망하는 학생들이기 때문에 양자물리 내용을 학습해야 함. (5) ▪ 진로 과목이므로 심화학습 필요(4) ▪ 심화지식과 응용사례를 학습함으로써 본인의 진로를 계획, 결정짓고 관련 지식을 찾는데 도움이 됨(2) ▪ 이공계에 진학할 학생이므로 학문으로서 정립된 물리학의 기초 내용들을 다루어야 함. (1) ▪ 창의적이고 과학적인 역량이 필요한 학생들과 예비공학도들 일상생활과 관련 있는 양자물리 학습 필요 (1) ▪ 교육과정에 나와 있는 것처럼 과학기술 분야의 진로를 선택할 때 전공 분야의 지식을 습득하기 위한 기초 역량, 기본적인 문제 해결 능력 습득 필요(1)	13
	최신 양자물리에 대한 인식론적 지식과 태도 필요	▪ 최신 내용인 양자물리를 학습함으로써 물리학에 대한 관심과 흥미를 높이고, 발전하는 학문의 영향을 체험하며 과학에 대한 지식과 태도를 발전(1)	1

1차 응답결과에서 연구참여자들이 생각하는 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육의 필요성은 물리학Ⅰ과 달리 개인적 맥락(14명)에 대한 의견만 나왔지만, 세부적으로 제시된 다양한 의견에 대한 합의를 도출하기 위해 델파이 2차 조사를 실시하였다. 설문지에 1차 응답결과(표 22)를 제시하고 이를 참고로 하여 양자물리 교육의 필요성을 재진술하게 하였다.

델파이 2차 조사 결과에 따르면 연구참여자들은 개인적 맥락에서 진로 및 진학을 위해 양자물리 교육이 필요하다고 보았으며 중복응답을 허용한 응답결과를 표 23에 제시하였다.

물리학 Ⅱ 양자물리 교육에서 개인적 맥락의 이공계열 진로 및 진학을 위한 필요성을 5가지의 하위요소로 분류할 수 있었다. 첫번째 하위요소로, 양자물리 교육이 이공계열 소양으로서 진로와 관련된 심화지식 학습이 필요하다는 의견이 있었다(7명). 두번째로, 기초역량 및 기본적인 문제 해결능력 함양을 위해 필요하다는 의견(3명)이 있었다. 세번째로, 이공계열 소양을 함양하기 위해서 필요하다는 의견(2명)이 있었다. 네번째로, 이공계열 학생으로서의 태도를 함양해야 한다는 의견(2명)과 다섯번째로, 이공계열 학생으로서 세상을 이해하는 안목을 확장해야 한다는 의견(1명)이 있었다.

연구참여자들은 물리학Ⅱ 과목이 학생의 진로와 관련해서 요구되는 역할이 있다고 보는 것으로 나타났다. 즉, 연구참여자는 물리학Ⅱ 이공계열 학생의 진로선택 및 소양 또는 역량 함양을 위한 역할을 해야하기 때문에 양자물리 교육이 필요하다고 생각하는 것으로 나타났다. 또한, 연구참여자들은 이공계열 학생으로서 심화지식의 학습이 필요하며 기초역량 및 기본적인 문제 해결능력과 이공계열 학생으로서의 태도가 필요하다고 생각하고 있는 것으로 나타났다.

표 23. 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육의 필요성 델파이 2차 응답결(전체 응답자 수 N=14명)

맥락	필요성	응답자수
개인	▪ 진로와 관련된 심화지식 학습 필요	7
	▪ 기초역량 및 기본적인 문제 해결능력 함양 필요	3
	▪ 이공계열 소양 함양	2
	▪ 이공계열 학생으로서의 태도 함양	2
	▪ 세상을 이해하는 안목 확장	1
	전체 응답수*	15

* 중복응답 포함

4.3.2. 교육목표

1차 조사 결과 물리학Ⅱ에서의 양자물리 교육목표는 다음과 같이 7개로 범주화 할 수 있었다. 각 범주에 대한 응답예시는 표 24에 제시하였다.

범주1은 물리학Ⅰ에서 도출된 범주1의 교육목표와 같이 '양자물리 관련 현상을 해석하거나 응용사례를 조사하고 원리를 과학역량(OECD, 2017; 송미영, 2013)을 함양할 수 있다.'이다(10명). 하지만, 물리학Ⅰ과 달리 물리학Ⅱ에서는 흑체복사, 양자물리의 확률론적인 해석, 이중슬릿 실험, 데이비슨-저머 실험, 트랜지스터, 정보 저장매체 등 다양한 원리, 현상, 예시를 학습함으로써 과학역량을 함양할 수 있는 것으로 기술되어 있었다. 이에 본 연구자는 범주1의 목표를 '양자물리 관련 다양한 이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학역량을 함양할 수 있다.'로 재진술하였다.

범주2는 현상의 정량적 이해와 관련된 것이다(4명). 정성적으로 설명하는 것을 넘어서 정량적 계산을 해야한다는 의견 등이 기술되어 있었다. 이에 본 연구자는 범주2의 목표를 '양자물리와 관련된 여러 현상을 정량적으로 이해한다.'로 재진술하였다.

범주3은 물리학Ⅰ에서 도출된 범주2의 교육목표와 같이 '양자물리의 기본 및 이론을 학습해야한다.'이다(4명). 양자물리의 확률론적인 해석을 학

습해야 한다는 의견, 에너지 준위와 물질의 파동성과 파동함수의 확률적 의미에 대한 학습으로 이어질 수 있다는 의견에서 물리학 I 보다는 자세하게 학습해야 한다는 것으로 해석할 수 있었다. 이에 본 연구자는 범주3의 목표를 '미시세계에서의 자연현상을 이해하기 위해 필요한 양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습한다.'로 재진술하였다.

범주4는 '레이저, 전자현미경, 반도체, 전자공학 분야 등 진로 및 전공과 관련된 첨단과학기술의 원리를 학습한다.'이다(9명). 이에 본 연구자는 범주4의 목표를 '진로 및 전공과 관련된 다양한 첨단과학기술의 원리를 학습한다.'로 재진술하였다.

범주5는 물리학의 이론 구조와 추론방법, 학문의 이해와 관련된 것이다(7명). 양자물리의 전반적인 내용에서 과학자들이 양자물리라는 거대한 이론의 퍼즐을 어떻게 맞춰나갔으며 그 과정에서 고민하고 발견한 내용을 학습하거나 물리학이 실험에 근거한 이론을 정립하고 발전해가는 과정을 학습해야 한다는 등의 의견이 기술되어 있었다. 즉, 물리학 연구에 대한 이해를 의미하는 것으로 해석할 수 있었다. 이에 본 연구자는 범주5의 목표를 '양자물리 발전과정을 학습함으로써 물리학 연구에 대해 이해한다.'로 재진술하였다.

범주6은 양자물리의 철학적 측면과 확률론적인 해석과 관련된 것이다(2명). 범주 3과 달리 '새로운 안목'을 강조하고 있다고 판단되어 따로 분류하였다. 이에 본 연구자는 범주6의 목표를 '양자물리의 해석적 특징을 학습함으로써 자연현상을 이해하는 새로운 안목을 기른다.'로 재진술하였다.

범주7은 물리학에 대한 흥미와 과학적 태도와 관련된 것이다(6명). 실험에 근거하여 이론을 정립하고 발전해가는 과정을 접하면서 과학탐구와 지식의 발견에 흥미를 느낄 수 있다, 과학에 대한 우호적인 태도 함양, 과학적 태도(비판성, 의심성, 호기심) 함양 등의 의견이 기술되어 있었다. 이에 본 연구자는 범주7의 목표를 '양자물리의 원리, 실험, 발전과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미와 호기심을 함양하고 과학적 태도를 기른다.'로 재진술하였다.

표 24. 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육목표에 대한 1차 델파이 응답결과(전체 응답자 수 N=14명)

NO.	연구자가 진술한 교육목표(n=응답수)	일부 응답 예시
1	양자물리 관련 다양한 이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학 역량을 함양한다. (n=11)	▪ 입자-파동 이중성, 양자물리의 확률론적인 해석, 사고 실험’을 배움으로써 증거에 기초한 토론과 논증, 과학적 의사소통 능력이 증진 ▪ 광전효과나 컴프턴 산란, 전자의 회절 실험, 데이비슨-저머 실험 등을 통해 양자역학적 현상을 이해하여 이를 실생활에 접목시키고, 어떻게 활용해 나갈 수 있을지 사고를 확장시키고 스스로 관련 분야의 지식을 습득하는 과정에서 자료 수집과 분석 능력을 키울 수 있을 것 ▪ 흑체복사는 학생들이 접할 수 있는 다양한 현상이 존재하므로 ‘문제인식’이라는 기능과 태도가 길러질 수 있음
2	양자물리와 관련된 여러 현상을 정량적으로 이해한다. (n=4)	▪ 정성적으로 설명하는 것을 넘어서 간단한 상황에서 파동함수를 적용하는 것을 통해 실제 현실의 계산은 이를 조금 더 복잡하게 다루는 것뿐이라는 것을 이해한다. 이를 통해 수학적 사고를 배우고 양자물리와 현실이 실제로 연결되어 있음을 체감 ▪ 다양한 과학적 현상을 수학적으로 분석하고 이를 통해 미래 상황을 예측하고 공학적 응용에 적용할 수 있는 능력을 학습

3	미시세계에서의 자연현상을 설명하기 위해 필요한 양자물리의 개념 및 이론을 보다 자세하게 학습한다. (n=4)	▪ 입자-파동 이중성, 양자물리의 확률론적인 해석, 사고 실험을 배움으로써 양자물리의 지식 습득 ▪ 현상을 배움으로써 고전물리학과 대비되는 양자역학의 기본 가정, 원리를 이해할 수 있음.
4	진로 및 전공과 관련된 다양한 첨단과학기술의 원리를 학습한다. (n=9)	▪ 다이오드, LED, 트랜지스터, 정보 저장매체를 배우면 전자의 에너지 준위 및 전자의 이동에 의해서 나타나는 여러 현상과 이를 적용한 현대사회의 여러 응용사례를 배움 ▪ 반도체, 전자공학 분야에서 전자의 터널링 현상이 미치는 영향을 배움으로써 양자터널 효과를 통해 효율적인 반도체 설계가 가능하다는 점을 학습할 수 있음 ▪ LED나 태양전지에서의 광자로 인한 실제 작동 과정이나 트랜지스터의 작동과정을 전위를 바탕으로 정확하게 이해하는 과정은 공학계열의 진로를 희망하는 학생들에게 필수적이라 생각한다. 또한 전자현미경이나 신소재와 같이 최근 많이 각광받고 있는 분야에 대한 내용 요소를 학습한다면 학생들 자신의 진로를 설정하는 데 있어 큰 도움

5	양자물리 발전과정을 학습함으로써 물리학 연구에 대해 이해한다. (n=7)	▪ 양자물리학의 기반이 된 실험과 이를 설명하는 원리들을 연결지어 학습하는 것이 필요함. 이를 통해 과학의 발전에 대해 과학이 자연현상 그 자체가 아니라 인간이 자연을 이해하기 위해 노력하는 과정에서 발달한 산물임을 알 수 있음. ▪ 과학자들이 양자 역학이라는 거대한 이론의 퍼즐을 어떻게 맞춰나갔으며 그 과정에 무엇을 고민하고 발견했는지 학습 ▪ 물리학이 실험에 근거한 이론을 정립하고 발전해가는 과정 학습
6	양자물리의 해석적 특징을 학습함으로써 자연현상을 이해하는 새로운 안목을 기른다. (n=2)	▪ 철학적 인식론적 해석과 확률론적인 해석을 배워야 함. 이를 통해 세상을 이해하는 새로운 안목을 키울 수 있다. ▪ 기존의 물리학과 양자물리학이 갖는 시각의 차이점 다루어 학생들이 양자물리가 갖는 철학적 측면을 이해하는 것도 중요
7	양자물리의 원리, 실험, 발전과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미와 호기심을 함양하고 과학적 태도를 기른다. (n=6)	▪ 물리학이 실험에 근거한 이론을 정립하고 발전해가는 과정을 접하고 과학 탐구와 지식의 발견에 흥미를 느낄 수 있음(2) ▪ 불연속적인 에너지 준위, 광전효과, 이중슬릿실험, 데이비슨-저머실험, 선스펙트럼을 학습하고 객관성을 기르고 과학에 대하여 우호적인 태도를 만들어 줌. ▪ 하이젠베르크의 불확정성 원리, 빛의 이중성, 물질의 이중성'을 배움으로써 과학적 태도(비판성, 의심성, 호기심)를 기름

델파이 2차 조사에서는 1차 응답을 토대로 연구자가 재진술한 일곱개의 범주의 교육목표에 대해 동의하는지를 먼저 조사하였다. 동의한 응답자수와 동의정도에 대한 CVR값은 표 25와 같으며 CVR은 모두 0.51이상으로 연구자가 재진술한 교육목표가 타당하다고 해석할 수 있었다(Lawshe, 1975). 범주1에서 '다양한 이론, 실험, 응용사례'가 아니라 '핵심 이론, 실험, 응용사례'를 나타낸다는 의견이 있어 '양자물리 관련 핵심 이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학 역량을 함양한다.'로 수정하였다.

표 25. 연구자가 진술한 교육목표 타당도에 대한 응답결과(전체 응답자수 N= 14명)

NO.	교육목표	동의한 응답자수*	CVR
1	양자물리 관련 다양한 이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학 역량을 함양한다.	13명	0.86
2	양자물리와 관련된 여러 현상을 정량적으로 이해한다.	12명	0.71
3	미시세계에서의 자연현상을 설명하기 위해 필요한 양자물리의 개념 및 이론을 보다 자세하게 학습한다.	14명	1
4	진로 및 전공과 관련된 다양한 첨단과학기술의 원리를 학습한다.	14명	1
5	양자물리 발전과정을 학습함으로써 물리학 연구에 대해 이해한다.	12명	0.71
6	양자물리의 해석적 특징을 학습함으로써 자연현상을 이해하는 새로운 안목을 기른다.	13명	0.86
7	양자물리의 원리, 실험, 발전과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미와 호기심을 함양하고 과학적 태도를 기른다.	13명	0.86

* 동의정도는 4점 리커트 척도로 '동의한다'와 '어느정도 동의한다'를 동의한 응답자수로 통계처리하였다.

7개 범주의 교육목표에 대한 동의여부 조사 후, 물리학Ⅱ에서의 양자물리 교육목표로서 중요한 정도에 대한 의견을 조사하였으며 결과는 표 26과 같다.

7개의 범주 중에 내용타당도 비율(CVR), 수렴도, 합의도, 변이계수 4가지 수치 모두 유의미한 값을 가진 범주1, 범주3, 범주4, 범주7을 양자물리 교육의 목표로 제안하였다(엄지&이건남, 2014; 이명원 외, 2021; Dajani et al., 1979; Lawshe, 1975). 다시 진술하면 다음과 같다.

- 양자물리 관련 핵심 이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학 역량을 함양한다.
- 미시세계에서의 자연현상을 설명하기 위해 필요한 양자물리의 개념 및 이론을 보다 자세하게 학습한다.
- 진로 및 전공과 관련된 다양한 첨단과학기술의 원리를 학습한다.
- 양자물리의 원리, 실험, 발전과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미를 느끼고 과학적 태도를 기른다.

선정된 교육목표로부터 연구참여자들은 물리학Ⅱ에서의 양자물리 교육을 통해 양자물리의 기본 개념, 이론, 응용사례를 이해하는 것을 중심으로 과학역량을 함양하고 물리학에 대한 흥미를 느끼고 과학적 태도를 함양할 수 있기를 기대하는 것으로 해석할 수 있었다.

표 26. 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육목표 중요도에 대한 2차 델파이 응답결과(전체 응답자 수 N=14명)

NO	교육목표	CVR	평균	표준편차	수렴도	합의도	변이계수
1	양자물리 관련 다양한 이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학역량을 함양한다.	0.86	4.43	0.62	0.50	0.78	0.14
2	양자물리와 관련된 여러 현상을 정량적으로 이해한다.	0.57	3.50	1.12	0.63	0.69	0.32
3	미시세계에서의 자연현상을 설명하기 위해 필요한 양자물리의 개념 및 이론을 보다 자세하게 학습한다.	1.00	4.43	0.49	0.50	0.75	0.11
4	진로 및 전공과 관련된 다양한 첨단과학기술의 원리를 학습한다.	0.86	4.50	0.63	0.50	0.80	0.14
5	양자물리 발전과정을 학습함으로써 물리학 연구에 대해 이해한다.	0.57	4.14	0.74	0.63	0.69	0.18
6	양자물리의 철학적 측면 및 확률론적인 해석을 학습함으로써 자연현상을 이해하는 새로운 안목을 기른다.	0.57	4.14	0.74	0.63	0.69	0.18
7	양자물리의 원리, 실험, 발전과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미를 느끼고 과학적 태도를 기른다.	0.86	4.36	0.61	0.50	0.75	0.14

4.3.3. 교육내용요소

1차 조사에서 6개의 주제로 분류된 양자물리 내용요소 분류틀(표 1)을 토대로 물리학Ⅱ에서 다루어야 할 양자물리 내용요소를 조사하였다. 3차 델파이 조사에서는 양자물리 교육의 필요성과 교육목표를 고려한 교육내용요소를 선택하도록 하였으며 2009개정 교육과정 및 2015 개정 교육과정에 포함된 내용요소를 비교분석한 것과 1차 조사결과를 제공하였다. 조사 후, 2009개정 교육과정 및 2015 개정 교육과정의 내용요소, 1차 조사 및 3차 조사결과를 비교 분석하였으며 응답결과는 표 27과 같다.

(1) 양자물리의 기본원리

물리학Ⅱ에서 다루어야 할 양자물리의 기본원리로 추출된 교육내용요소는 불확정성 원리(14명), 확률적 해석(12명), 입자-파동 이중성(12명)이다. 연구참여자들은 물리학Ⅱ에서는 입자-파동 이중성에 대한 심화학습이 이뤄져야 하며, 입자-파동 이중성에서 물질파에 대한 논의로부터 확률적 해석과 불확정성 원리로 넘어가는 구성으로 이뤄져야 한다고 보고 있었다. 확률적 해석 및 불확정성 원리의 경우 2015 개정 교육과정 수준이 적당하다고 보고 있었다. 다만, 불확정성 관계식을 제공할 때 의미를 해석하는 것을 중심으로 학습해야하며 정량적 계산은 다루면 안 된다고 보고 있었다.

(2) 현상

물리학Ⅱ에서 다루어야 할 양자물리 관련 현상으로 추출된 교육내용요소는 양자터널효과(12명), 전자의 회절 실험(10명), 컴프턴 산란(9명), 데이비슨-저머실험(9명), 이중슬릿 실험(8명)이다. 연구참여자들은 물리학Ⅱ에서도 물리학Ⅰ과 같이 현상을 통해 기본원리를 학습할 수 있도록 내용이 구성되어야 한다고 생각하고 있었다. 입자-파동 이중성과 관련된 현상으로 물리학Ⅰ에서 광전효과를 다뤘다면 물리학Ⅱ에서는 컴프턴 산란, 데이비슨-저머 실험을 추가로 다뤄야 하며, 불확정성 원리와 확률적

해석과 관련된 현상으로 양자터널 효과가 제시되어야 한다고 보았다.

한편, 입자-파동 이중성의 심화학습은 두 가지 측면으로 의견이 나뉘었다. 물리학Ⅰ에서 입자-파동 이중성을 다뤘으므로 관련 현상인 컴프턴 산란, 전자의 회절 실험, 데이비슨-저머 실험, 이중슬릿 실험과정과 정량적 계산을 중심으로 다뤄야 한다는 의견이 있었다. 또 다른 의견은 물리학Ⅰ에서는 입자-파동 이중성이 나오게 된 맥락을 설명하고 개념을 소개하는 수준이였다면, 물리학Ⅱ에서는 의미를 해석하는 것을 중심으로 다뤄져야 한다는 의견이 있었다. 그 외에 현재 확률과 통계 과목이 선택과목으로 변경되면서 이를 배우지 않고 물리학Ⅱ를 수강하는 학생을 고려해야 한다는 의견이 있었다.

(3) 응용사례

물리학Ⅱ에서 다루어야 할 양자물리 관련 응용사례로 추출된 교육내용 요소는 전자 현미경(8명), 트랜지스터(8명)이다. 연구참여자들은 진로와 관련된 첨단과학기술로 전자현미경과 반도체의 하나인 트랜지스터의 원리를 배워야 한다고 보았으나 각 내용의 수준에 대해서는 의견이 달랐다. 전자 현미경의 경우 물리학 Ⅰ과 비슷한 수준을 제시하고 트랜지스터 또한 정성적으로 설명해야 한다는 의견이 있는 한편, 트랜지스터의 경우 기본원리를 학습하고 정량적인 계산을 다뤄야 한다는 의견으로 나뉘었다. 응용사례에 대한 의견은 선행연구(Krijtenburg-Lewerissa *et al.*, 2019에서도 비슷하게 논의가 되었는데 내용학 전문가들도 응용사례를 다뤄야 한다는 의견과 학생들이 응용사례의 원리를 이해하는 것은 어렵기 때문에 제시하지 않거나 응용사례를 소개하는 정도로만 다뤄야 한다는 의견으로 나뉘었었다. 물리학Ⅰ에서는 물리학의 중요성과 필요성을 인식하기 위해 응용사례를 소개하는 것에는 대부분 동의하는 것으로 볼 수 있었으나 물리학Ⅱ에서 응용사례를 어느 수준에서 다루는 것이 좋은가에 대한 의견이 나뉘었기 때문에 이에 대한 추후 논의가 필요한 것으로 보인다.

(4) 원자이론

물리학Ⅱ에서 다루어야 할 양자물리 관련 원자이론으로 추출된 교육내용요소는 현대의 원자모형(10명)이다. 물리학Ⅱ에서는 앞서 양자물리의 기본원리로 제시된 입자-파동 이중성, 확률적 해석, 불확정성 원리로 현대원자모형을 해석하는 구성으로 이뤄져야 한다고 보고 있었다. 연구참여자들은 물리학Ⅰ에서 원자모형의 기초를 다뤘기 때문에 물리학Ⅱ에서는 현대원자모형을 해석하는 것을 중점적으로 다뤄져야 한다고 보고 있었으며 이는 2015개정 교육과정에 제시된 내용구성과 비슷한 것으로 해석되었다.

(5) 파동함수 또는 수학적 표현

물리학Ⅱ에서 다루어야 할 양자물리의 파동함수 또는 수학적 표현에서 추출된 교육내용요소는 입자가 발견될 확률(10명), 파동함수(9명), 슈뢰딩거 방정식(8명)이다. 연구참여자들은 2015개정 교육 과정에서는 제외되었지만, 2009개정 교육과정에서 다루어졌던 내용의 일부가 포함되어야 한다고 생각하는 것으로 해석되었다. 단, 각 내용요소는 입자-파동 이중성 이후의 과학사적 상황에서 확률적 해석을 하게 된 이유와 그 의미가 무엇인지를 중심으로 이뤄져야하지 정량적 계산이 이뤄져서는 안 된다고 보았다.

(6) 양자물리의 철학적 측면

물리학Ⅱ에서 다루어야 할 양자물리의 철학적 측면에서 추출된 교육내용요소는 확률론적인 해석(11명), 고전물리와 양자물리의 차이점(10명), 과학자들의 논쟁사례(8명), 인식론적인 해석(8명)이다. 확률론적인 해석은 앞선 불확정성 원리와 현대의 원자모형과 함께 다뤄져야 한다고 보았다. 연구참여자들은 고전물리의 세계관에서 양자물리의 세계관으로 넘어가는 과정의 학습이 필요하며 이는 고전물리와 양자물리의 차이점을 다루거나 과학사적으로 과학자들의 논쟁사례를 통해 학습할 수 있다고 보았다. 또한, 과학자들의 논쟁사례를 통해 철학적인 논쟁이 있었다는 것과 과학

을 넘어서 각 분야에 미친 영향을 소개할 수 있다는 의견도 있었다. 양자물리의 철학적 측면은 기존교육과정에서는 명시적으로 언급되지 않았으나 교사는 물리학Ⅱ에서는 양자물리의 철학적 측면을 다루는 것이 필요하다고 생각하는 것으로 해석할 수 있었다. 하지만, 위의 내용요소를 어떻게 세분화할 수 있는지에 대한 추가 논의가 필요하다는 의견이 있었다.

전제적으로 연구참여자는 물리학Ⅱ는 이공계열 학생이 배우는 과목으로서 물리학Ⅰ보다 심화지식을 다루고 이공계열 소양을 함양해야 한다고 생각하고 있었다. 미시세계에서의 자연현상을 설명하기 위해 입자-파동 이중성의 심화학습과 확률적 해석의 학습이 필요하다고 생각하는 것으로 해석된다. 또한, 연구참여자는 물리학Ⅱ에서는 물리학Ⅰ에서 제시된 교육내용요소보다 다양한 이론과 실험을 추가로 학습함으로써 과학 역량을 함양할 수 있으며 학습 과정 속에서 물리학에 대한 흥미를 느끼고 과학적 태도를 기를 수 있다고 기대하는 것으로 해석할 수 있었다. 하지만, 교육목표 범주6 제시된 '진로 및 전공과 관련된 다양한 첨단과학기술의 원리를 학습한다.'와 달리 응용사례에서 추출된 교육내용요소는 전자현미경과 트랜지스터뿐이였다. 또한 응용사례를 어느 수준에 대해 다루는 것이 좋은가에 대한 의견도 합의가 이뤄지지 않았다. 따라서 응용사례의 교육내용요소와 수준에 대한 추가 논의가 필요한 것으로 보인다.

표 27. 물리학Ⅱ에서의 양자물리 교육내용요소에 대한 1차 및 3차 델파이 응답결과(1차 및 3차 전체 응답자수 =14명)

주제	관련 내용요소	교육과정		델파이 조사 응답자수	
		2009 개정	2015 개정	1차	3차
양자물리의 기본 원리	불확정성 원리	○F	○d	4	14
	입자-파동 이중성	·	·	3	12
	확률적 해석	·	·	·	12
	상보성 원리	·	·	2	5
	빛의 이중성	·	·	·	4
	물질의 이중성	·	·	1	4
	빛의 입자성	○F	○d	1	3
	물질의 파동성	○F	○d	·	3
	파울리의 배타원리	·	·	·	1
	양자 얽힘	·	·	·	·
현상	양자터널 효과	○F	·	4	12
	컴프턴 산란	○F	·	2	10
	데이비슨-저머실험	○F	·	2	9
	전자의 회절 실험	·	○d	2	9
	이중슬릿 실험	·	·	1	8
	흑체복사	○F	·	1	7
	광전효과	○F	○d	3	6
	드브로이의 물질파	○F	○d	·	5
	불연속적 에너지 준위	○F	·	1	3
	선스펙트럼	○F	·	2	3
	이중성 관련 현상	·	·	·	2
	원자핵의 붕괴	○F	·	·	1

주제	관련 내용요소	교육과정		델파이 조사 응답자수	
		2009 개정	2015 개정	1차	3차
응용사례	트랜지스터	·	○c	4	8
	전자 현미경	○F	·	3	8
	다이오드	·	·	3	6
	LED	○F	·	5	6
	레이저	○E, F	·	4	6
	신소재(초전도체, 유전체 등)	·	·	1	4
	태양전지	·	·	3	3
	정보 저장매체(하드 디스크 등)	·	·	2	3
	양자컴퓨터	·	·	1	3
	양자정보	·	·	·	2
	전하결합소자(CCD)	·	·	1	2
	광센서	·	·	1	1
원자 이론	현대적 원자모형	○F	○d	3	10
	보어의 원자모형	·	○d	3	7
	에너지띠 이론	○F	·	·	5
	양자수	○F	·	1	5
	전자의 스핀, 궤도운동	○D	·	1	4
	파울리의 배타원리	○F	·	1	4
	에너지 준위	○F	·	3	3
	선스펙트럼	○F	·	3	3
	고체의 전기전도성	○F	·	1	3
	자성체	○D	·	1	3
	원자모형의 발전과정	·	·	·	3
	전자배열	·	·	·	1
	페르미온과 보존	○F	·	·	1
	일차원 모델(포텐셜 우물)	·	·	·	·
	원자의 주기율표	○F	·	·	·

주제	관련 내용요소	교육과정		델파이 조사 응답자수	
		2009 개정	2015 개정	1차	3차
파동함수 또는 수학적 표현	입자가 발견될 확률	○F	·	4	11
	파동함수	○F	·	2	10
	슈뢰딩거 방정식	○F	·	1	8
	일차원 모델(포텐셜 우물)	·	·	·	2
	중첩원리	·	·	·	·
	시간변화	·	·	·	·
	확률계산	·	·	·	·
양자물리의 철학적 측면	확률론적인 해석	·	·	4	12
	고전물리와 양자물리의 차이점	·	·	1	10
	인식론적인 해석	·	·	3	9
	과학자들의 논쟁사례 (슈뢰딩거의 고양이)	·	·	2	8
	코펜하겐 해석	·	·	1	7
	양자물리 이론의 발전과정	·	·	1	6
	상보성 원리	·	·	1	4
	입자파동 이중성	·	·	1	3
	아인슈타인의 EPR역설	·	·	1	3
	사고실험	·	·	·	1
	양자얽힘	·	·	·	1

※ D ~ F, c ~ d: 양자물리 관련 내용요소가 포함된 해당 대단원

2009 개정 교육과정 물리Ⅱ: D 전기와 자기, E 파동과 빛, F 미시세계와 양자현상

2015 개정 교육과정 물리학Ⅱ: c 전자기장, d 파동과 물질의 성질

제 5 장 결론 및 제언

5.1. 요약

고등학교에서 양자물리 교육이 점차 확대되며 고등학생의 개념적 이해를 목표로 한 교육 연구가 이루어졌으나 주로 교수학습 방법과 개념이해와 관련된 학생의 어려움에 대한 연구가 이뤄졌으며 '무엇'을 가르칠 것인가에 대한 연구는 적은 편이다. 따라서 본 연구에서는 양자물리 관련 교수학습 경험이 있는 물리교사들을 대상으로 고등학생에게 적절한 양자물리 교육내용을 델파이 방법을 이용해 탐색하고자 하였다. 이를 위해, 현장경험을 가진 물리교사의 양자물리 교육에 대한 인식을 살펴보고, 물리교사가 생각하는 물리학Ⅰ과 물리학Ⅱ에서의 양자물리 교육의 필요성, 교육목표, 교육내용요소에 대한 델파이 조사를 실시하여 분석하였다.

각 연구 문제에 관한 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 양자물리 교육에 대한 인식은 학생의 흥미 및 어려움 측면과 교육과정 내용 및 운영측면으로 나누어 분석하였다. 교사가 인식한 양자물리 관련 학생의 흥미요인은 '학생, 과학교과, 교수학습'과 관련된 요인으로 분류되었으며, 학습에서의 어려움은 '학생, 과학교과, 교수학습, 교사 전문성'과 관련된 요인으로 분류할 수 있었다. 연구참여자들은 학생들이 양자물리 내용이 가지는 특징 때문에 학생들이 흥미를 가지면서도 어려움을 느낀다고 인식하고 있었으며 일상생활에서 접할 수 있는 응용사례의 원리에 흥미를 느끼지만 응용사례의 복잡한 원리를 자세하게 다룰 경우 학습의 어려움을 느낀다고 인식하고 있는 것으로 나타났다. 한편, 연구참여자들이 인식한 양자물리 교육과정 내용 및 운영에서의 어려움 요인은 '교육내용 선정, 교육내용 조직, 교육내용의 양, 교육내용 수준, 교육내용 평가, 교과운영'과 관련된 요인으로 분류할 수 있었다. 전체적으로 양자물리 교육과 관련해 교육내용 조직의 교과 내 내용조직 측면, 교육내용 수준의 교과목표 달성 측면, 교육내용 평가의 한정된 평가방법 측면에서 어려움을 겪고 있는 것으로 나타났다.

둘째, 물리학Ⅰ에서 양자물리 교육의 필요성으로 미래 사회의 구성원으로서 현대 사회가 성취한 학문 및 기술에 대한 이해라는 응답을 하였다. 양자물리의 교육목표는 양자물리 교육을 통한 과학적 방법과 과학지식의 특징 이해, 물리학의 필요성 및 중요성 인식, 학생 개인의 미래 준비라는 응답을 하였다. 양자물리 내용요소로 핵심개념은 입자-파동 이중성, 불연속적 에너지 준위를, 현상은 광전효과, 드브로이의 물질파, 전자의 회절실험, 이중슬릿 실험을, 원자이론은 선스펙트럼, 에너지 띠, 보어의 원자모형을 과학사적 맥락에서 포함해야 한다고 응답하였다. 양자물리 내용요소로 응용사례는 다이오드, LED, 태양전지, 전자 현미경 등을 핵심 개념 및 원리와 연결할 수 있는 정성적인 수준에서 포함해야 한다고 응답하였다.

셋째, 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육의 필요성으로 이공계열 학생의 진로와 관련된 도움을, 교육목표로는 양자물리의 기본 개념 및 응용사례의 원리 이해, 과학역량의 함양, 물리학에 대한 흥미 및 과학적 태도의 함양이라고 응답하였다. 양자물리 내용요소로 핵심개념은 불확정성 원리, 입자-파동 이중성을, 현상은 양자터널 효과, 컴프턴 산란, 데이비슨-저머 실험, 전자의 회절 실험, 이중슬릿 실험을, 원자이론은 궤도모형을, 응용사례는 트랜지스터와 전자현미경이라고 응답하였다. 물리학Ⅱ에서는 물리학Ⅰ과 달리 파동함수와 양자물리의 철학적 측면을 내용요소에 포함해야한다고 응답하였다. 양자물리의 파동함수는 입자가 발견될 확률, 파동함수, 슈뢰딩거 방정식 등의 의미를, 양자물리의 철학적 측면은 확률론적인 해석, 고전물리와 양자물리의 차이점, 인식론적인 해석, 과학자들의 논쟁사례 등을 과학사적 맥락에서 다뤄야 한다고 응답하였다. 하지만, 물리학Ⅱ의 양자물리의 교육내용요소 중 핵심개념과 응용사례의 구체적인 학습 수준에 대해서는 합의가 도출되지 않았다.

5.2. 결론 및 제언

교수학습 경험을 토대로 연구참여자들이 인식한 양자물리에 대한 학생의 흥미와 어려움과 관련해, 학생들이 양자물리 교육내용을 학습할 때, 기존 물질과 관련된 사고관이나 상식과 달라서 흥미를 느끼지만 기존의 물질관과 달라 잘 받아들이지 못하거나, 내용이 추상적이여서, 복잡한 수식으로 표현되어 있어서, 양자물리 내용을 이해하는데 어려움을 겪는다고 인식하였다. 이는 선행연구에서 논의되었던 결과(Krijtenburg-Lewerissa *et al.*, 2019; Johansson, 2018)와 일치한다. 학생들이 일상생활에서 접할 수 있는 응용사례의 원리에 흥미를 느끼지만 응용사례의 복잡한 원리를 자세하게 다룰 경우 학습의 어려움을 느낀다고 인식하고 있었으며, 이는 중등학교에서 적절한 양자물리 내용을 탐색한 선행연구에서 논의되었던 결과(Krijtenburg-Lewerissa *et al.*, 2019)와 일치한다. 따라서 추상적이고 기존의 물질관과 다른 양자물리 내용을 효과적으로 가르칠 수 있는 교수학습 방법이 요구되며 복잡한 수식을 학생들에게 가르칠 필요가 있는지에 대한 논의가 필요한 것으로 보인다. 또한, 학생들이 흥미를 가지는 응용사례를 제공하되 적절한 학습 수준이 무엇인지에 대한 논의가 필요한 것으로 보인다.

양자물리 관련 교육과정 내용 및 운영측면에서 연구참여자들이 인식한 어려움의 경우, 2009개정 교육과정의 양자물리 교육에서 나타난 '교육내용 조직에서의 교과 간 내용조직, 교육내용 양의 수업시수 및 교과목표 달성, 교육내용 수준의 학생 발달 수준, 수업시수'와 관련된 어려움이 2015 개정 교육과정에서는 나타나지 않았다. 즉, 연구참여자들이 2015 개정 교육과정 물리학 I 의 양자물리 교육내용은 교과 간 내용 조직 측면에서 적절하며, 수업시수 내에 성취하기에 교육내용의 양과 수준이 적절하다고 인식하고 있는 것으로 해석할 수 있다. 또한, 2015 개정 교육과정 물리학 I 의 양자물리 교육내용은 교과목표를 달성하기에 적합한 교육내용의 양이며 학생 발달 수준에 적합한 교육내용 수준으로 구성되어 있다고 인식하고 있는 것으로 해석할 수 있다. 한편, 전체적으로 양자물리 교육과 관련해 교육내용 조직의 교과 내 내용조직 측면, 교육내용 수준의 교과목표 달성

측면, 교육내용 평가의 한정된 평가방법 측면에서 어려움을 겪고 있는 것으로 나타났다. 따라서 양자물리 교육과정을 구성할 때 교과특성 및 체계를 고려하고 교육내용의 연결성을 고려한 교과 내 내용조직이 필요하며, 교육내용 수준을 정할 수 있도록 성취기준으로 명확하게 작성하는 것이 필요하며 다양하게 평가할 수 있는 평가방법으로 탐색하는 것이 필요하다.

연구참여자들은 물리학Ⅰ에서는 과학사적 맥락에서 현상을 통해 기본개념 및 이론을 학습하고 기본원리가 적용된 기술적 활용인 예시를 학습해야 한다고 생각하고 있는 것으로 나타났다. 즉, 입자-파동 이중성과 에너지의 양자화를 핵심개념으로 하여 관련된 실험 증거와 과학사적 맥락에서 학습하고 이를 통해 과학적 방법과 과학지식의 특징을 이해해야 한다고 생각하는 것으로 나타났다. 또한, 입자-파동 이중성과 에너지의 양자화의 적용 및 응용사례인 태양전지, 전자현미경, 다이오드와 LED를 정성적 수준에서 소개하며 물리학의 필요성과 중요성을 인식해야 한다고 생각하는 것으로 나타났으며, 물리학의 필요성과 중요성을 인식함으로써 진로를 탐색하고 미래를 준비하는 태도를 함양해야 한다고 생각하는 것으로 나타났다. 한편, 응용사례의 경우 현행교육과정 달리 자세한 원리보다는 기본원리와 기술적 활용이 연결되는 정도의 정성적 수준으로 가르쳐져야 한다고 생각하고 있는 것으로 나타났다. 따라서, 연구참여자들이 제시한 물리학Ⅰ에서 양자물리 내용요소 중 핵심개념과 관련된 현상을 과학사적 맥락에 따라 학습할 수 있도록 내용을 조직하고 교수학습 자료를 구성하는 것이 필요하며 응용사례의 정성적 수준에 대한 논의가 필요하다.

연구참여자들은 물리학Ⅱ는 이공계열 학생이 배우는 과목으로서 물리학Ⅰ보다 심화지식을 다루고 이공계열 소양을 함양해야 한다고 생각하고 있었다. 미시세계에서의 자연현상을 설명하기 위해 입자-파동 이중성의 심화학습과 확률적 해석의 학습이 필요하다고 생각하는 것으로 나타났으며, 물리학Ⅱ에서는 물리학Ⅰ에서 제시된 교육내용요소보다 다양한 이론과 실험을 추가로 학습함으로써 과학 역량을 함양하고 학습 과정 속에서 물리학에 대한 흥미를 느끼고 과학적 태도를 기를 수 있다고 기대하는 것으로 나타났다. 하지만, 교육목표 범주6에 제시된 '진로 및 전공과 관련된

다양한 첨단과학기술의 원리를 학습한다.'와 달리 응용사례에서 추출된 교육내용요소는 전자현미경과 트랜지스터뿐이였다. 또한, 핵심개념과 응용사례의 구체적인 학습 수준에 대한 합의가 도출되지 않았다. 따라서 핵심개념과 응용사례의 교육내용요소와 학습수준에 대한 추가 논의가 필요한 것으로 보인다.

본 연구는 교사 14명만을 대상으로 양자물리 관련 내용요소를 탐색하였다. 따라서 교육과정 개발과 관련 있는 교과교육학, 교육학, 교과학문 등의 다양한 전문가 의견이 반영되지 않았다는 한계를 가진다. 이에 교육과정과 관련 있는 다양한 전문가 집단들을 대상으로 물리학 전체를 중심으로 한 후속 연구가 요구된다. 그럼에도 현장에서 양자물리 교육을 지도했던 경험을 토대로 학생의 흥미와 학습의 어려움의 요인과 교육과정 운영에서 나타나는 어려움을 조사하고, 고등학생에게 적절한 양자물리 교육내용을 탐색하였다는 점에서 의의가 있다고 생각한다. 이제 고등학교에서의 양자물리 교육이 포함된 만큼 고등학생에 적합한 양자물리 교육내용에 관한 연구가 계속 이루어지기를 기대한다.

참고문헌

강남화. (2015). 2015 교육과정 개정에서 물리 교과의 개정 방향. 물리학과 첨단기술, JUNE 2015.

강남화. (2019). 한국 물리교육과정의 변천과 시사점. 물리학과 첨단기술, 28(10), 31-35.

강지선. (2015). 물리학습에서 학생들이 겪는 어려움에 대한 메타분석.

고재희. (2010). (역사적 접근의) 교육과정 이해와 개발. 파주 : 교육과학사.

교육과학기술부. (2009). 교육과학기술부 고시 제 2009-41호에 따른 고교 과학과 교육과정 해설서.

교육과학기술부. (2011). 교육과학기술부 고시 제 2011-361호에 따른 2009개정 교육과정.

교육부. (2015). 교육부 고시 제2-15-74호에 따른 2015 개정 교육과정.

교육부. (2017). 2015 개정 교육과정 총론 해설 : 고등학교. (11-1342000-000227-01). 교육부

김대현. (2017). 교육과정의 이해 (2판. Ed.). 서울 : 학지사.

김대현. (2020). 교육과정 및 교육평가 (5판. ed.). 서울 : 학지사.

박병윤. (2012). 고등학교 물리에서 양자물리의 교육방향. 물리학과 첨단기술, 21(3), 8-11.

박현주. (2005). 교육과정 개발의 모형과 실제. 서울 : 교육과학사.

변태진. (2019). 고등학생들의 과학 학습 동기 분석: 과학교육 목표 탐색을 위해. 중등교육연구, 67(3), 411-437.

송미영, 임해미, 최혁준, 박혜영, & 손수경. (2013). OECD 국제 학업성취도 평가 연구: PISA 2015 예비검사 시행 기반 구축 (RRE 2013-6-2). 한국교육과정평가원.

엄지, & 이건남. (2014). 델파이 방법을 활용한 초등학교 교사의 진로교육 역량 도출. 실과교육연구, 20(1), 29-54.

위수민, 곽정실, 김현정, & 조현준. (2008). 초등학교 과학과 지질 단원 교수-학습 활동에서 교사와 학생이 겪는 어려움. 초등과학교육, 27(4), 420-436.

유경진, 천재순, & 정진수. (2010). 중학생의 생명현상 관찰활동에서 과학적 흥미 발생 요인 분석. 한국과학교육학회지, 30(5), 594-608.

이경섭. (1991). 敎育課程 類型別 硏究. 서울: 敎育科學社.

이명원, 신현정, 가석현, &김찬종. (2021). 델파이 방법을 활용한 기후변화 대응 실천역량 탐색.환경교육,34(3),288-305.

이미경, & 정은영. (2004). 학교 과학 교육에서 과학에 대한 태도에 영향을 미치는 요인 조사. 한국과학교육학회지, 24(5), 946-958.

이수아, 전영석, 홍준의, 신영준, 최정훈, & 이인호. (2007). 초등 교사들이 과학 수업에서 겪는 어려움 분석. 초등과학교육, 26(1), 97-107.

이종성. (2001). 델파이 방법(연구방법 21). 교육과학사.

임성민. (2020). 양자 현상에 대한 고등학생들의 개념 이해 분포. New Physics: Sae Mulli, 70(5), 443-453.

정민영, & 최호명. (2012). 불확정성 원리에 대한 고등학교 교재의 내용 분석. New Physics: Sae Mulli, 62(12), 1270-1280

조헌국. (2018). 2015 개정 교육과정 고등학교 물리 교과서에서 나타나는 양자역학에 관한 설명 분석. New Physics: Sae Mulli, 68(8), 869-879

조현준, 양일호, 김영신, 정진우, & 허명. (2006). 학교과학교육에서 실험 활동의 목적: 전문가 커뮤니티를 통한 델파이 연구. 한국과학 교육학회지, 26(2), 177-190.

주형미, 김종윤, 배화순, 변희현, 유금복, 서지영, 장근주, 박소영, & 배주경, (2020). 2015 개정 교육과정에 따른 초, 중학교 교과 교육내용의 적정성 분석: 수학, 과학(RRC 2020-6-2). 한국교육과정평가원.

최규리. (2012). 창의 · 인성 중심의 과학영재교육 방안 마련을 위한 델파이 조사. 영재교육연구, 22(2), 387-410.

Bouchée, T., Thurlings, M., de Putter-Smits, L., & Pepin, B. (2021). Investigating teachers' and students' experiences of quantum physics lessons: opportunities and challenges. *Research in Science & Technological Education*, 1-23.

Creswell, J. W. (2015). *질적 연구방법론: 다섯 가지 접근*/John W. Creswell 저 조흥식. 서울: 학지사.

Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management science*, 9(3), 458-467.

Dajani, J. S., Sincoff, M. Z., & Talley, W. K. (1979). Stability and agreement criteria for the termination of Delphi studies. *Technological forecasting and social change*, 13(1), 83-90.

Delbecq, A. L., Van de Ven, A. H., & Gustafson, D. H. (1975). *Group techniques for program planning: A guide to nominal group and Delphi processes*. Scott, Foresman.

Green, R. A. (2014). The Delphi Technique in Educational Research. *SAGE Open*, 4(2), 215824401452977.

Hass, G., & Parkay, F. W. (1993). *Curriculum Planning: A New Approach*. Allyn and Bacon.

Hsu, C.-C., & Sandford, B. A. (2007). The Delphi technique: making sense of consensus. *Practical Assessment, research, and evaluation*, 12(1), 10.

Hunkins, F. P., & Hammill, P. A. (1994). Beyond Tyler and Taba: Reconceptualizing the curriculum process. *Peabody Journal of Education*, 69(3), 4-18.

Hunkins, F. P., & Ornstein, A. C. (2016). *Curriculum: Foundations, principles, and issues.* Pearson Education.

Johansson, A. (2018). Undergraduate quantum mechanics: lost opportunities for engaging motivated students? *European journal of physics*, 39(2), 025705.

Johansson, A., Andersson, S., Salminen-Karlsson, M., & Elmgren, M. (2018). "Shut up and calculate" : the available discursive positions in quantum physics courses. *Cultural Studies of Science Education*, 13(1), 205-226.

Johnston, I. D., Crawford, K., & Fletcher, P. R. (1998). Student difficulties in learning quantum mechanics. *International Journal of Science Education*, 20(4), 427-446.

Kalkanis, G., Hadzidaki, P., & Stavrou, D. (2003). An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concepts. *Science Education*, 87(2), 257-280.

Kaplan, L. M. (1971). *The use of the Delphi method in organizational communication: A case study* (Doctoral dissertation, Ohio State University).

Karakostas, V., & Hadzidaki, P. (2005). Realism vs. Constructivism in Contemporary Physics: The Impact of the Debate on the Understanding of Quantum Theory and its Instructional Process. *Science & Education*, 14(7-8), 607-629.

Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A., & Van Joolingen, W. R. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1).

Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A., & Van Joolingen, W. R. (2019). Key topics for quantum mechanics at secondary schools: a Delphi study into expert opinions. *International Journal of Science Education,* 41(3), 349-366.

Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel psychology*, 28(4), 563-575.

Macdonald, J. B. (1975). The person in the curriculum. *The Urban review*, 8(3), 191-201.

Michelini, M., Ragazzon, R., Santi, L., & Stefanel, A. (2000). Proposal for quantum physics in secondary school. *Physics Education*, 36, 406-410.

OECD. (2017). PISA 2015 Assessment and Analytical Framework.

Oh, K. H. (1974). *Forecasting through hierarchical Delphi*. (Doctoral dissertation, The Ohio State University).

Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information & Management*, 42(1), 15-29.

Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What "ideas-about-science" should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.

Posner, G. J. (1998). Models of curriculum planning. *The curriculum: Problems, politics and possibilities*, 2, 79-100.

Pospiech, G. (2008). Teaching quantum theory-between the photo-electric effect and quantum information. *Proceedings of the GIREP08 conference.*

Rowe, G., & Wright, G. (2001). Expert Opinions in Forecasting: The Role of the Delphi Technique. In *Principles of forecasting* (pp. 125-144). Springer, Boston, MA.

Rowe, G., Wright, G., & Bolger, F. (1991). Delphi: A reevaluation of research and theory. *Technological Forecasting and Social Change*, 39(3), 235-251.

Sakhnini, S., & Blonder, R. (2015). Essential Concepts of Nanoscale Science and Technology for High School Students Based on a Delphi Study by the Expert Community. *International Journal of Science Education*, 37(11), 1699-1738.

Schubert, W. H. (1986). *Curriculum: Perspective, paradigm, and possibility.* Prentice Hall.

Stadermann, H. K. E., Van Den Berg, E., & Goedhart, M. J. (2019). Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1).

Taba, H. (1962). *Curriculum development: Theory and practice.*

Tyler, R. W. (1949). *Basic principles of curriculum and instruction.* University of Chicago press.

부록

[1차 델파이 설문지 및 참고자료]

고등학교 양자물리 관련 교육목표 및 내용 요소 탐색 델파이 설문지

안녕하십니까?

저는 서울대학교 사범대학 물리교육과에서 석사과정 중인 김진하입니다.

양자물리 학습의 필요성이 강조되면서 2009 개정 교육과정에 양자물리와 관련된 내용이 포함되었습니다. 하지만 현장에서는 많은 내용과 높은 난이도로 인해 겪는 어려움을 토로하였습니다. 반면에, 2015 개정 교육과정에서는 현대 물리 요소가 대폭 축소되며 양자 현상 또는 양자물리의 기초원리만을 단편적으로 다루게 되어 있어 양자역학에 대한 올바른 개념이해와 교육목표를 달성하기가 어려울 수 있다고 보는 시각도 있습니다.

이에 2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정의 양자물리 관련 내용을 모두 지도하였던 선생님들께 고등학교 양자물리 관련 교육목표 및 적절한 내용 요소를 중심으로 교육과정의 개선 방향에 대한 의견을 여쭙고자 합니다.

바쁘신 와중에도 적극적으로 협조해 주셔서 대단히 감사합니다.

서울대학교 사범대학 물리교육과
석사과정 김진하
연락처: 010-4228-4811, jinvely@snu.ac.kr

※ 참고자료로 선행연구 결과를 토대로 정리한 '양자물리 주제 및 관련 내용요소 분류표'과 '2009 개정 교육과정 및 2015 개정 교육과정'의 양자물리 관련 내용 요소와 관련된 해설을 첨부하였습니다.

*서술형 응답이 있어 모바일 환경보다는 PC환경에서 응답하는 것을 권장드립니다.

고등학교 양자물리 관련 교육목표 및 내용요소 탐색을 위한

1차 설문지

● 본 설문 조사는 **고등학생들이 양자물리 관련 내용을 학습해야 하는 목표와 내용요소를 탐색**하기 위한 1차 설문지입니다. 1차 설문지는 개방형 질문으로 이뤄져 있습니다. 사전 조사를 통해 연구자가 정리한 내용을 참고하여 평소 여러분의 생각을 기술해주시길 바랍니다.

1. 기본사항에 대한 질문입니다.

1-1. 귀하의 성함은 무엇입니까?

_____

1-2. 귀하의 총 교육경력은 어떻게 됩니까?(2021.08.기준)

_____

1-3. 선생님께서 2009 개정 교육과정의 물리 Ⅰ·Ⅱ과 2015 개정 교육과정의 물리학Ⅰ을 지도했었던 년도를 모두 기술해주시길 바랍니다.

예 : 2009개정 교육과정 물리Ⅰ(2016년, 2017년) 등

_____

1-4. 귀하의 최종 학력은 어떻게 됩니까?

① 대학교 졸업
② 대학원 석사 재학
③ 대학원 석사 졸업
④ 대학원 박사 재학
⑤ 대학원 박사 졸업

2. 양자물리 관련 내용을 지도했었던 경험

2009 개정 교육과정의 물리 Ⅰ·Ⅱ과 2015 개정 교육과정의 물리학Ⅰ의 양자물리 관련 내용을 가르칠 때 경험했던 선생님의 생각을 조사하고자 합니다.

2-1. 선생님이 학생들을 지도하면서 **(1) 학생들이 흥미와 호기심을 가진 내용 (2) 학생들이 학습할 때 겪었던 어려움 (3) 어떤 방법 또는 내용을 제공했을 때 학생들의 이해를 도울 수 있었는지를** 자세히 기술해주시길 바랍니다. (해당하는 내용만 작성해주시면 됩니다.)

(예시) (해당 교육과정 및 과목명)을 가르칠 때 학생들이 흥미와 호기심을 가진 내용은 (학생들은 흥미와 호기심을 가진 내용 및 이유)이었다. 학생들이 학습할 때 어려워했던 내용은 (학생들이 학습할 때 어려워했던 내용 및 이유)였다. 그 중, (어려웠지만 학생들이 이해를 한 내용)은 (학생들의 이해를 돕기 위해 활용한 방법 또는 제공한 내용)을 사용했을 때 학생들의 이해에 도움이 되었다.

2-2. 선생님이 **학생들을 지도하면서 겪었던 어려움**을 **(1) 교수학습 측면 (2) 교육과정 측면**에서 자세히 기술해주시길 바랍니다. (해당하는 부분만 작성해주시면 됩니다.)

(예시) (해당 교육과정 및 과목명)을 가르칠 때 학생들을 지도하면서 겪었던 어려웠던 점은 (교수학습 측면에서의 어려움 및 이유)이었다. 또한, (교육과정 측면에서의 어려움 및 이유)이었다.

3. 바람직한 물리학Ⅰ 중 양자물리 관련 교육목표 및 내용요소

물리학Ⅰ은 민주사회의 시민으로서 갖추어야 할 필요한 소양 또는 과학과 핵심역량을 함양하기 위한 과목입니다. **고등학교 물리학Ⅰ에서 학생들이 양자물리 관련 내용을 학습하는 것이 필요하다고 생각하시나요?**

① 예 (　　)　　② 아니요(　　)

3-1 . '예'라고 선택하신 경우, **고등학교 물리학Ⅰ에서** 학생들이 양자물리 관련 내용을 학습하는 것이 **필요하다고 생각한 이유**를 자세히 기술해주시길 바랍니다.

3-2. 위의 3-1에 서술해주신 내용을 고려했을때, **물리학 I** 에서 양자물리의 **어떤 측면을 중점적으로 가르쳐야 한다고 생각**하는지 선택한 후, 선택한 각 측면을 가르치기 위해 물리학 I 에서 **필요하다고 생각하는 내용요소와 내용요소를 통해 학생이 학습할 수 있는 '지식, 기능, 태도'를** 자세히 기술해주시길 바랍니다(중복선택 가능).

* 기능의 예시 : 문제인식, 탐구 설계와 수행, 자료의 수집·분석 및 해석, 수학적 사고와 컴퓨터 활용, 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가, 의사소통 (2015 개정 과학과 교육과정)

① 양자물리의 기본 원리
② 현상
③ 응용 사례
④ 원자 이론
⑤ 파동함수
⑥ 양자물리의 철학적 측면

(예시) : 3-1에 작성한 필요성을 고려했을 때, 물리학 I 을 수강하는 학생들은 (선택항목 ① - ⑥ 중 작성)을 학습해야 한다. 학생들이 (선택항목 ① - ⑥ 중 작성)을 학습하기 위해서는 (내용요소)를 배워야 한다. (내용요소에 대한 자세한 설명)를 배움으로써 학생들은 (지식에 대한 측면) 또는 (기능에 대한 측면) 또는 (태도에 대한 측면)을 학습할 수 있다.

3-3. '아니요'라고 선택하신 경우, 고등학교 학생들이 물리학 I 에서 양자물리 관련 내용을 학습하는 것이 **필요하지 않다고 생각한 이유**를 자세히 기술해주시길 바랍니다.

4. 바람직한 물리학 Ⅱ 중 양자물리 관련 교육목표 및 내용요소

물리학Ⅱ은 자연과학이나 공학 분야에 진출하기 위한 학생들을 위한 과목입니다. **고등학교 물리학Ⅱ에서 학생들이 양자물리 관련 내용을 학습하는 것이 필요하다고 생각하시나요?**

① 예 (　　)　　② 아니요(　　)

4-1. '예'라고 선택하신 경우, **고등학교 물리학Ⅱ에서** 학생들이 양자물리 관련 내용을 학습하는 것이 **필요하다고 생각한 이유**를 자세히 기술해주시길 바랍니다.

4-2. 위의 4-1에 서술해주신 내용을 고려했을때, **물리학Ⅱ**에서 양자물리의 **어떤 측면을 중점적으로 가르쳐야 한다고 생각**하는지 선택한 후, 선택한 각 측면을 가르치기 위해 **물리학Ⅱ**에서 **필요하다고 생각하는 내용요소와 내용요소를 통해 학생이 학습할 수 있는 '지식, 기능, 태도'를** 자세히 기술해주시길 바랍니다(중복선택 가능).

* 기능의 예시 : 문제인식, 탐구 설계와 수행, 자료의 수집·분석 및 해석, 수학적 사고와 컴퓨터 활용, 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가, 의사소통 (2015 개정 과학과 교육과정)

① 양자물리학의 기본 원리
② 현상
③ 응용 사례
④ 원자 이론
⑤ 파동함수
⑥ 양자물리학의 철학적 측면

(예시) : 4-1에 작성한 필요성을 고려했을 때, 물리학 Ⅱ을 수강하는 학생들은 (선택항목 ① ~ ⑥ 중 작성)을 학습해야 한다. 학생들이 (선택항목 ① ~ ⑥ 중 작성)을 학습하기 위해서는 (내용요소)를 배워야 한다. (내용요소에 대한 자세한 설명)를 배움으로써 학생들은 (지식에 대한 측면) 또는 (기능에 대한 측면) 또는 (태도에 대한 측면)을 학습할 수 있다.

4-3. '아니오'라고 선택하신 경우, 고등학교 학생들이 **물리학Ⅱ에서** 양자물리 관련 내용을 학습하는 것이 **필요하지 않다고 생각한 이유**를 자세히 기술해주시길 바랍니다.

5. 고등학교 양자물리 관련 내용 요소를 선정할 때 주의할 점이나 기타 의견이 있으신 분들은 아래에 기술하여 주시기 바랍니다.

델파이 1차 설문지 참고자료

Ⅰ. 양자물리 주제 및 관련 내용요소 분류틀 ····· 1
Ⅱ. 국내 교육과정에 포함된 양자물리 주제 및 관련 내용요소 ····· 2
Ⅲ. 교육과정에 제시된 과목의 성격 및 양자물리학 관련 단원에 대한 해설
(1) 2009 교육과정 물리Ⅰ ····· 3
(2) 2009 교육과정 물리Ⅱ ····· 5
(3) 2015 교육과정 물리학Ⅰ ····· 7
(4) 2015 교육과정 물리학Ⅱ ····· 8

Ⅰ. 양자물리 주제 및 관련 내용요소 분류틀

주제	관련 내용요소	
양자물리의 기본원리 (Fundamental QP principles)	입자-파동 이중성 빛의 입자성 물질의 파동성 상보성 원리	하이젠베르크의 불확정성 원리 확률적 또는 통계적 예측 파울리의 배타원리 양자 얽힘
현상 (Phenomena)	흑체복사 불연속적인 에너지 준위 선스펙트럼 컴프턴 산란 광전효과 이중슬릿 실험	물질파 전자의 회절 실험 데이비슨-저머 실험 양자터널 효과 원자핵의 붕괴
응용사례(Applications)	다이오드 LED 트랜지스터 정보 저장매체 전하결합소자(CCD) 태양전지	광센서 전자 현미경 레이저 양자정보 양자컴퓨터
원자 이론 (Atomic theory)	불연속적인 에너지 준위 선스펙트럼 에너지띠 이론 고체의 전기전도성 보어 원자 모델 원자 궤도 모델(현대적 원자모형) 일차원 모델 또는 포텐셜 우물	파울리의 배타원리 원자의 주기율표 양자수 자성체 전자의 스핀, 궤도운동 페르미온과 보존
파동함수 또는 수학적 표현 (Wave function or other mathematical representations)	슈뢰딩거 방정식 중첩원리 시간변화 (시간에 따라 계의 상태가 바뀌는 과정)	일차원 모델 또는 포텐셜 우물 확률계산 보른의 해석
양자물리의 철학적 측면 (Philosophical aspects of QP)	입자-파동 이중성 상보성 양자 얽힘(Entanglement) 양자물리의 발전과정	양자물리의 철학적 인식론적인 해석 양자물리의 확률론적인 해석 사고 실험 슈뢰딩거의 고양이

※ 국내 교육과정, Stadermann et al. (2019), Krijtenburg-Lewerissa, Pol, Brinkman, and Van Joolingen (2019)에 제시된 양자물리학 주제와 관련 내용요소를 수정한 분류틀입니다. 양자물리 관련 내용요소가 모두 포함된 것은 아닙니다. 각 주제에 분류된 내용요소는 다른 주제에도 중복되어 포함되어 있을 수 있습니다.

Ⅱ. 국내 교육과정에 포함된 양자물리 주제 및 관련 내용요소

	교육과정 및 과목명 / 양자물리 관련 내용요소	2009 교육과정		2015 교육과정	
		물리Ⅰ	물리Ⅱ	물리학Ⅰ	물리학Ⅱ
양자물리의 기본 원리	빛의 입자성	○^{B}	○^{F}	·	○^{d}
	빛의 이중성	·	·	○^{b}	·
	물질의 파동성	·	○^{F}	·	○^{d}
	물질의 이중성	·	·	○^{b}	·
	불확정성 원리	·	○^{F}	·	○^{d}
현상	흑체복사(플랑크의 양자설)	·	○^{F}	·	·
	광전효과	○^{B}	○^{F}	·	○^{d}
	드브로이의 물질파	·	○^{F}	·	○^{d}
	컴프턴 산란	·	○^{F}	·	·
	전자의 회절 실험	·	·	·	○^{d}
	데이비슨-저머 실험	·	○^{F}	·	·
	양자터널 효과	·	○^{F}	·	·
	원자핵의 붕괴	·	○^{F}	·	·
응용사례	다이오드	○^{A}	·	○^{a}	·
	LED	○^{A}	○^{F}	·	
	트랜지스터	○^{A}	·	·	○^{c}
	전하결합소자(CCD)	·	·	○^{b}	·
	태양전지	○^{C}	·	·	·
	광센서	○^{C}	·	·	·
	전자 현미경	·	○^{F}	○^{b}	·
	레이저	·	○^{E,F}	·	·
	정보 저장매체(하드 디스크 등)	○^{B}	·	·	·
	신소재(초전도체, 유전체, 액정 등)	○^{A}	·	·	·
원자 이론	에너지 준위	○^{A}	○^{F}	○^{a}	·
	선스펙트럼	○^{A}	○^{F}	○^{a}	·
	에너지띠 이론, 고체의 전기전도성	○^{A}	○^{F}	○^{a}	·
	보어의 원자모형	·	·	·	○^{d}
	현대적 원자모형	·	○^{F}	·	○^{d}
	파울리의 배타원리	·	○^{F}	·	·
	원자의 주기율표	·	○^{F}	·	·
	양자수	·	○^{F}	·	·
	자성체	○^{A}	○^{D}	○^{a}	·
	전자의 스핀, 궤도운동	○^{A}	○^{D}	·	·
파동함수	슈뢰딩거 방정식	·	○^{F}	·	·
	파동함수	·	○^{F}	·	·
	입자가 발견될 확률	·	○^{F}	·	·
양자물리의 철학적 측면	·	·	·	·	·
※ A-F, a-d : 양자물리 관련 내용요소가 포함된 해당 대단원		A 물질과 전자기장 B 정보와 통신 C 에너지	D 전기와 자기 E 파동과 빛 F 미시세계와 양자현상	a 물질과 전자기장 b 파동과 정보 통신	c 전자기장 d 파동과 물질의 성질

※위에 제시된 양자물리 관련 내용 요소는 'Ⅰ. 양자물리 주제 및 관련 내용요소 분류틀'을 토대로 과학과 2009 교육과정 및 2015 교육과정에 제시된 내용체계, 성취기준, 해설 내용을 분석하여 추출한 것입니다.

Ⅲ. 교육과정에 제시된 과목의 성격 및 양자물리학 관련 단원에 대한 해설

(1) 2009 교육과정 물리Ⅰ

학생들이 **물리 1을 학습하는 이유는 과학적 사고를 활용할 수 있는 능력과 창의적 사고능력이 민주주의 사회의 시민으로서 갖추어야 할 소양이기 때문**이다. 미래의 사회와 직업, 학문의 세계는 점점 더 융합되는 특징을 가지게 될 것이며 물리학의 응용은 점점 더 확대되고 있다. 따라서 물리 I은 오히려 미래에 **과학기술 계열이 아닌 분야의 직업에 종사할 학생들에게 더욱 필요한 과목**이라고 할 수 있다. 물리 I에서는 실생활 관련 주제를 이해하고 문제해결을 위해 필요한 물리 개념과 이론들을 중심으로 단원을 구성하였다. 이번 교육과정에서는 최소한의 현대 물리 내용을 도입함으로써, 학생들이 완전한 이해에 도달하지는 못하더라도 정성적인 이해는 가능하도록 하고 있다.

(2) 물질과 전자기장

이 단원은 물질과 전자기장에 대한 이해를 목적으로 하며, 전자기 현상의 원인으로서 전하와 전하 주위에 발생하는 전기력선, 전류 주위에 발생하는 자기력선, 자기선속의 시간 변화에 의한 유도 전류 발생 등의 내용을 포함한다. 전자기장에 대한 이해를 통하여 물질의 구조와 성질의 이해를 위한 기초 개념을 제공한다. 물질의 구조와 성질은 원자들이 가지고 있는 에너지 준위와 에너지띠로 적절하게 설명할 수 있음을 이해한다. 에너지띠의 모양 차이로 인하여 물질들의 다양한 전도성 차이, 자기장과의 상호작용 차이 등을 다루고 신소재의 특성을 이해할 수 있는 기초 개념을 제공한다.

(가) 전자기장

④ 자성(강자성, 반자성 등)이 전자의 스핀이나 궤도운동에 의해 생김을 이해한다.

가는 유리 막대, 가는 종이막대, 구리 막대 등 다양한 소재들이 강한 자석에 의해 끌리거나 밀리는 현상을 관찰하게 하고, 자석에 반응하는 성질에 따라 물질의 속성을 강자성, 상자성, 반자성으로 나눌 수 있음을 알게 한다. 전류고리 주변의 자기장에 대한 이해를 바탕으로 물질을 구성하는 원자들이 각각 하나의 자석처럼 작용한다는 것을 이해시키기 위해 스핀의 개념을 알게 한다.

(나) 물질의 구조와 성질

① 원자는 양자화 된 에너지 준위를 가지고 있음을 알고, 들뜬 원자에서 빛의 방출이 불연속적 스펙트럼의 형태로 나타나게 됨을 이해한다.

원자에서 에너지가 방출될 때 빛의 형태로 나타남을 알게 하고, 이때 빛의 에너지는 진동수에 비례함을 알게 한다. 보어의 원자모형을 통하여 원자는 양자화된 에너지 준위를 가지게 됨을 정성적으로 이해하고, 이를 바탕으로 간단한 분광기와 방전관에 대한 스펙트럼 관찰을 통하여 들뜬 원자에서 방출되는 빛의 불연속적 스펙트럼을 이해하게 한다.

② 에너지띠 이론을 정성적으로 이해하고, 전도성을 기준으로 도체, 반도체, 절연체 등의 차이를 안다.

고체는 원자들이 많이 모여 있기 때문에 에너지 준위들이 겹쳐져 에너지가 띠와 같은 형태를 가지게 됨을 정성적으로 알게 한다. 이러한 에너지띠 구조의 차이로 인하여 전자의 이동성이 달라지므로 물질에 따라서 다른 전기전도성을 나타냄을 알게 한다. 이를 기준으로 물체를 도체, 부도체, 반도체 등으로 구분할 수 있음을 이해하게 한다.

③ 불순물 첨가를 통한 PN접합의 원리와 반도체 소자인 다이오드, LED, 트랜지스터 등의 작동원리를 이해한다.

순수한 반도체에 불순물을 첨가하면 반도체의 전기적 성질이 달라지는 도핑의 원리와 P, N형 반도체를 정성적으로 이해하게 한다. PN 접합에서 외부 전압의 방향에 따라 전류가 흐르는 원리를 에너지 띠 및 전자의 운동을 통해 정성적으로 알게 하고, 이를 바탕으로 반도체 소자인 다이오드, LED, 트랜지스터 등의 작동원리를 이해한다.

④ 초전도체, 유전체, 액정 등 다양한 신소재의 기본 성질을 이해한다.

앞에서 학습한 고체에 대한 이해를 바탕으로 초전도체, 유전체, 액정 등 여러 신소재의 기본 성질을 정성적으로 이해하게 하고, 이러한 장치들이 정보 산업이나 핵융합등 다양한 산업에 활용됨을 알게 한다.

(3) 정보와 통신

자연계에 존재하는 많은 정보들이 역학적 파동이나 전자기파 등을 통하여 어떻게 방출되고 전달되며 또한 수신되는지를 이해함으로써 자연에 대한 정보를 획득하고 우리에게 필요한 정보를 어떻게 상호 교환할 수 있는가 하는 문제들을 다룬다.

(가) 소리와 빛

① 광전효과를 이해하고, 여러 가지 광센서의 구조와 원리를 안다.

관찰을 통하여 광전효과를 알게 하고, 이에 대한 아인슈타인의 해석과 빛의 입자성에 대해 알게 한다. 이를 바탕으로 빛을 흡수하여 에너지가 증가함으로 전류가 생기는 여러 가지 광센서와 태양전지의 작동 원리를 정성적으로 이해하게 한다. 식물에 의한 광합성 과정도 이와 유사함을 알게 한다.

(나) 정보의 전달과 저장

⑥ 정보 저장매체의 구조와 원리를 이해한다.

물체의 자기적 성질을 이용한 비디오 테이프나 하드 디스크, 마그네틱 카드 등의 정보 저장 방법과 플래시 메모리, 광저장장치 등 다양한 정보 저장매체의 구조와 원리를 이해하게 한다.

(4) 에너지

자연현상의 모든 변화를 지배하는 기본 개념인 에너지에 대한 이해를 통하여 변화의 본성과 방향을 이해하고, 특히 에너지 자원의 획득과 활용, 환경 문제에 대한 대응에 필요한 이해 능을 도울 수 있게 한다.

(가) 에너지의 발생

⑤ 반도체 소자로부터 태양 전지의 원리를 정성적으로 이해한다.

반도체의 특성과 반도체 소자에 대한 개념을 바탕으로 태양전지의 원리를 정성적으로 이해하게 한다. 태양전지를 활용하는 여러 아이디어를 소개하고 태양에너지를 이용하려는 세계 여러 나라의 노력을 알게 한다.

(2) 2009 교육과정 물리Ⅱ

물리 Ⅱ는 물리학 개념들을 바탕으로 연구와 개발이 이루어지는 자연과학이나 공학 분야에 진출하기 위한 학생들을 위한 과목이다. 물리 Ⅰ과 달리 물리학의 기본 개념과 이론들을 체계적으로 학습함으로써 학생들이 물리학 이론의 구조와 추론 방법을 알게 하고, 이를 바탕으로 **상위의 물리 개념을 학습하는데 도움을 얻을 수 있도록 구성한다.** 필요한 개념들이 모두 계통적으로 제시될 수 있게 구성하였으며 개념들이 지나치게 오래된 예시나 설명이 아닌 **현대의 첨단 과학기술의 내용과 연계되어 다루어질 수 있도록 하고 있다.** 이러한 과정에서 최신의 물리학 연구 결과들을 이해할 수 있게 함으로써 물리학이 첨단 과학과 산업기술의 발전에 기여하는 바를 알고, 이를 통하여 물리학 학습의 가치와 미래의 진로에 대한 확신과 자신감을 가질 수 있게 한다.

(2) 전기와 자기

전기와 자기 영역에서는 전기장, 전위 등 전자기학의 기본 개념과 축전기의 의미, 용량을 이해하게 하고, 전류에 의해 자기장이 생기는 것을 알고 이를 바탕으로 암페어 법칙과 패러데이 법칙 등을 이해하며, 이를 여러 가지 실생활과 관련된 곳에 적용할 수 있게 한다.

(나) 전류와 자기장

⑤ 원형전류에 의한 자기쌍극자 모형을 이해하고, 이를 통해 자석의 원리를 설명할 수 있다.

원형 전류고리 주변의 자기력선 방향으로부터 자기 쌍극자 개념을 도입하고 자기모멘트에 대해 알게 한다. 이를 자성체 속의 전자의 궤도 운동이나 스핀과 연관시켜 자성체를 이해하기 위한 기초가 되게 한다. 이 원리를 응용하여 전동기의 회전에 대한 원리를 이해하게 하며, 자기쌍극자 개념을 통해 강자성체와 상자성체, 반자성체 등의 기본 원리를 정성적으로 이해할 수 있게 한다.

(3) 파동과 빛

파동과 빛 영역에서는 탄성파를 통한 파동의 발생을 이해하게 하며, 이를 토대로 진폭, 파장, 진동수, 파동속도 등 파동의 기술에 대해 알게 한다. 이를 바탕으로 정상파, 빛의 파동적 성질 등을 이해하게 하며, 도플러 효과와 그 응용에 대해서도 알게 한다. 또한, 편광과 레이저의 간단한 원리도 알게 하여 현대적인 광학 개념을 이해할 수 있게 한다.

(나) 빛의 이용

③ 레이저의 원리와 종류를 이해한다.

원자나 분자의 에너지 대역이 양자화 상태로 존재함을 알게 하고, 이를 바탕으로 들뜬 상태의 전자가 바닥상태로 전이하면서 에너지를 방출하는 과정과 그 빛의 진동수는 방출되는 에너지의 크기에 비례함을 알게 한다. 이 원리를 이용하여 레이저의 간단한 구조를 이해하고 그 종류와 응용을 알게 한다.

(4) 미시세계와 양자현상

흑체 복사와 광전 효과 등 물질의 이중성 개념을 탄생시킨 중요한 현상들을 다양한 탐구활동을 통하여 이해하게 하고, 이를 바탕으로 이중성의 의미와 가치에 대하여 학생들이 알게 한다. 이러한 배경에서 양자역학이 탄생하게 된 과정을 소개하고, 양자역학의 기본개념들을 정성적으로 알게 한다.

(가) 물질의 이중성

① 흑체복사에 대한 빈의 법칙, 슈테판-볼츠만 법칙 등에 대해 알고 플랑크의 양자설을 이해한다.

여러 가지 사례를 통하여 흑체의 정의와 흑체복사가 일어나는 물리적인 상황을 알게 한다. 플랑크의 양자 가설이 도입되기까지의 과학사를 알게 하고, 양자 가설의 물리적인 의미를 이해하게 한다.

② 광전효과와 컴프턴 산란을 통하여 빛의 입자성을 이해한다.

광전효과의 실험 결과를 정량적으로 알게 하고, 이를 통하여 빛이 광자이론으로 설명될 수 있음을 이해하게 한다. 광전효과를 응용한 실제 장치들의 작동원리를 알게하고, 컴프턴 산란 실험의 의미에 대해서 정성적으로 이해하게 한다.

③ 드브로이의 물질파 이론과 데이비슨-저머 실험을 통하여 입자의 파동성을 이해한다.

드브로이의 물질파 이론으로 보어의 원자모형에서 제안했던 가정이 설명될 수 있는지를 이해하게 한다. 데이비슨-저머의 전자 산란실험의 의미를 이해하게 하고 이를 통하여 전자의 파동성을 설명할 수 있음을 알게 한다.

④ 전자의 속도에 따른 물질파의 파장을 구하고, 전자현미경의 분해성능을 이해한다.

입자의 운동량과 파장의 관계식을 정량적으로 적용할 수 있게 하고, 이때 빛의 입자성과 전자의 파동성의 대칭성을 이해하게 한다. 이 관계를 적용하여 전자의 파동성을 이용한 전자현미경 등의 원리에 대해 알게 한다.

(나) 양자물리

① 불확정성의 원리에 따르면 미시세계의 현상은 고전역학으로 설명할 수 없음을 이해한다.

과학적 관찰이 관찰자와 관찰 대상간의 상호작용임을 이해하고, 관찰이나 측정에 의해 관찰대상이 변화될 수밖에 없다는 것을 이해하도록 한다. 이를 통하여 미시세계에서 측정의 어려움에 대해 이해하고 위치와 운동량, 에너지와 시간의 측정에 대한 하이젠베르크의 불확정성의 원리를 알게 한다.

② 슈뢰딩거 방정식을 알고, 그 해인 파동함수와 에너지 준위의 의미를 정성적으로 이해한다.

슈뢰딩거 방정식이 뉴턴의 운동방정식, 맥스웰의 파동방정식과 어떤 차이가 있는지를 정성적으로 설명하고, 슈뢰딩거 방정식과 드브로이의 물질파 이론과의 연관성을 알게 한다. 슈뢰딩거 방정식의 해를 통해 파동함수로부터 입자가 발견될 확률, 에너지 준위가 주어졌을 때 방출되거나 흡수되는 빛의 에너지 등을 정량적으로 구할 수 있음을 알게 하고, 이를 통하여 도체와 반도체와 같은 물질의 성질을 설명할 수 있다는 사실을 알게 한다.

③ 원자에서 전자의 파동함수에 따른 확률 분포를 이해한다.

원자의 에너지 준위와 이에 해당하는 양자수, 전자의 확률분포를 이해하고 파울리의 배타원리를 알게 한다. 이로부터 원자의 주기율표가 설명될 수 있음을 이해하게 한다. 원자나 분자, 결정의 에너지 준위를 이용하여 레이저, LED 등의 작동원리를 알게 한다.

④ 양자터널 효과와 STM에 대해 정성적으로 이해한다.

양자터널 효과에 대해 정성적으로 설명하고 그 예로 원자핵에서 알파입자가 방출되는 현상 등이 있다는 것을 알게 한다. 이러한 현상이 확률적으로 일어나는 것임을 이해하고, 양자터널 현상을 이용한 첨단장치인 STM의 원리에 대해 알게 한다.

(3) 2015 교육과정 물리학Ⅰ

물리학Ⅰ은 초등학교 과학부터 고등학교 '통합과학'까지 물리 영역에서 다룬 기초개념을 바탕으로 자연현상을 체계적으로 이해하기 위한 과목이다. 각 단원의 내용은 첨단 과학기술과 실생활 관련 주제를 중심으로 물리학의 기본 개념들을 이해하고 적용할 수 있도록 구성되었으며 단원의 내용을 학습하는 과정을 통하여 **21세기를 살아가는데 필요한 과학과 핵심역량을 함양하도록 하고 있다.**

(2) 물질과 전자기장

첨단 과학 및 그 응용 분야의 주요 주제인 물질의 전자기적 성질을 학습하게 한다. 이를 위하여 원자의 안정성을 유지하게 하는 전기력을 다룬다. 고체의 전기적 성질을 원자들이 가지고 있는 불연속적인 에너지 준위와 에너지띠로 정성적으로 다루고, 이를 통해 고체 물질을 구분하고 다양한 물리적 성질을 비교할 수 있는 탐구 활동을 수행하도록 한다. 전류와 자기장이 서로 독립적인 것이 아니라 상호 작용을 통해 서로 영향을 주고 받음을 알게 하고, 전류가 흐르는 도선 주위의 자기장에 대한 이해를 바탕으로 자성체를 이해하도록 한다. 이를 기초로 전류에 의한 자기 작용과 전자기 유도 현상이 일상생활에서 적용되는 다양한 예를 찾아 그 원리를 설명하도록 한다.

[12물리Ⅰ02-02] 원자 내의 전자는 불연속적 에너지 준위를 가지고 있음을 스펙트럼 관찰을 통하여 설명할 수 있다.
[12물리Ⅰ02-03] 고체의 에너지띠 이론으로 도체, 반도체, 절연체 등의 차이를 구분하고, 여러 가지 고체의 전기 전도성을 비교하는 탐구를 수행할 수 있다.
[12물리Ⅰ02-04] 종류가 다른 원소를 이용하여 반도체 소자를 만들 수 있음을 다이오드를 이용하여 설명할 수 있다.
[12물리Ⅰ02-06] 자성체의 종류를 알고 자성체가 활용되는 예를 찾을 수 있다.
자성체의 종류로는 상자성체, 반자성체, 강자성체를 다룬다.

(3) 파동과 정보통신

현대 사회의 정보통신 과정이 대체로 파동을 통하여 정보를 전달하고 기록한다는 것을 학습하도록 한다. 정보의 전달 형태인 파동은 자연계의 신호가 시공간에서 일정한 규칙에 따라 변화하면서 전달되는 과정이므로, 이를 위하여 파동의 여러 속성과 성질을 이해하도록 한다. 특히 20세기 이후에 등장한 현대 물리학의 주요 개념인 물질의 이중성을 알게 함으로써, 정보통신에 활용되는 사례를 이해하도록 한다.

[12물리Ⅰ03-05] 빛의 이중성을 알고, 영상정보가 기록되는 원리를 설명할 수 있다.
영상 정보 기록 장치 예로 전하 결합소자(CCD)를 이용한다.
[12물리Ⅰ03-06] 물질의 이중성을 알고, 전자 현미경의 원리를 설명할 수 있다.

[2차 델파이 설문지]

고등학교 양자물리 교육의 필요성, 교육목표, 교육내용 탐색을 위한 2차 설문지

안녕하십니까?
바쁘신 와중에 귀중한 시간 내어 1차 델파이 설문조사에 응하여 주셔서 감사드립니다.

지난 조사의 응답 내용 중 교육의 필요성과 교육목표에 대한 전문가들의 합의를 도출하기 위해서 2차 설문을 하고자 합니다.

주신 의견은 다른 전문가의 의견과 함께 통계적으로 정리되며, 그 결과와 함께 3차 델파이 조사 설문지로 보내드릴 것입니다.

바쁘신 와중에도 적극적으로 협조해 주셔서 대단히 감사합니다.

서울대학교 사범대학 물리교육과
석사과정 김진하
연락처: 010-4228-4811, jinvely@snu.ac.kr

*서술형 응답이 있어 모바일 환경보다는 PC환경에서 응답하는 것을 권장드립니다.

Ⅰ. 바람직한 물리학Ⅰ 양자물리 교육의 필요성 및 교육목표

1. 1차 설문결과를 바탕으로 한 물리학Ⅰ 양자물리 교육의 필요성

응답자 14명 중 11명이 물리학Ⅰ에서 양자물리 교육이 필요하다고 응답하였습니다. 응답해주신 '필요성'에 대한 의견을 과학적 소양 평가틀[1]의 맥락차원에서 아래 표와 같이 정리하였습니다.

맥락	필요성	응답예시(응답자수)	응답자수
개인	개인적 맥락의 의사결정에 필요한 양자물리 기본내용 지식 필요	– 현재 우리가 사용하는 기기와 기술이 양자물리와 관련된 것이 많으므로 이를 다루기 위해 정성적인 부분을 배우고 기본배경 지식 정도를 가지고 있어야 함(4) – 고등학교에서 배우는 내용은 현재의 사회가 성취한 수준을 따라가야 함. 양자물리는 실제 생활에서 적용하는 수준에 도달했으므로 미래 사회를 살아가는 학생들에게 기본적인 소양이 되어야 함(2) – 양자물리학의 연구결과를 상용화한 많은 기술들이 일상에 사용되고 있고 학생들의 삶에 영향을 미치므로 시민으로서의 소양 함양을 달성하기 위해 가르칠 필요가 있고 실제 학생들의 삶에도 도움이 될 것(1)	7
	현대사회에서 요구되는 양자물리의 인식론적 지식* 및 태도 필요	– 과학이라고 하는 것이 불변하는 것이 아니라 연구를 통해 변화할 수 있다는 것을 가장 쉽게 보여주고 이해시킬 수 있는 부분(1) – 일상생활에서부터 진로와 관련된 분야에서 양자역학적 원리에 어떻게 필요한지를 배우면, 물리학의 가치를 더욱 깊이 이해하고 학습(1) – 물리학1은 학문의 기초를 접하는 곳으로 양자역학의 세계관은 현대 사회를 바라보는 중요한 시각을 제공(1)	3
사회	과학기술의 발전 추구	– 과학기술 발전을 위해서는 양자물리 학습이 필수적(1)	1

*인식론적 지식은 '과학의 구성 및 과학의 정의된 특징, 과학에 의해 생산된 지식을 정당화하는 데 있어서의 이 구성들의 역할과 특징'을 의미합니다.

1차 설문결과를 보시고 판단하신 물리학Ⅰ 양자물리 교육의 필요성에 대한 본인의 의견을 최종적으로 작성해주시길 바랍니다.

1) OECD(2017) PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving, PISA, OECD Publishing, Paris.

2. 1차 설문결과를 바탕으로 한 물리학 Ⅰ 양자물리 교육목표

2-1. 선생님들께서 주신 물리학Ⅰ 양자물리 교육목표에 대한 의견을 6개로 범주화하여 정리하였습니다. 정리한 진술문에 대한 동의 정도를 표시하여 주시고 다른 의견이 있으신 경우에는 적어주시기 바랍니다.

No	선생님들의 의견
1	-미시적 자연현상을 설명하는 모형의 개발과 모형을 사용할 수 있음 - 입자-파동 이중성이 어떤 현상을 통해 관찰되며 어떤 해석을 기반으로 하는지, 이러한 이중성이 확률적, 통계적 해석으로 이어지는 과정을 이해함으로서 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가를 학습 -미시세계와 거시세계의 현실을 배움으로서 문제인식 기능을 배움 -입자 파동 이중성을 배움으로써 증거에 기초한 토론과 논증을 학습 - 원자 이론을 학습하고 원자모형의 한계점을 살펴보고 모둠별로 토의하며 모형의 개발의 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 의사소통 등의 탐구기능을 수행, 반도체 소자를 포함한 회로 설계를 하며 탐구설계와 수행, 시뮬레이션 설계를 통한 수학적 사고와 컴퓨터 활용 등의 탐구과정 학습 - 전하결합소자와 관련된 실생활 속 예시에 대해 모둠별로 조사를 하고 자료의 수집, 분석 및 해석, 의사소통과 같은 탐구기능 학습 - 양자 물리학적 연구를 바탕으로 한 발명품들(광다이오드)의 전기적 특성을 측정해보는 활동을 통해 탐구를 수행하는 능력 향상 - 현상을 해석하여 양자물리의 기본원리를 다시 파악할 수 있고 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증 능을 학습 - 현상을 배움으로써 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가를 학습 - 선스펙트럼을 학습함으로써 자료를 분석 및 해석하는 방법, 모형을 다루는 방법을 배울 수 있음.

선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표	전혀 동의하지 않음	약간 동의하지 않음	약간 동의함	매우 동의함
양자물리 관련 기초이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학 역량*을 함양한다.				

* 과학적 소양 평가틀(OECD, 2017)에서 '과학역량'은 현상에 대한 과학적 설명, 과학탐구의 평가 및 설계, 자료 및 증거의 과학적 해석으로 구성되어 아래와 같이 범주1의 교육목표를 진술하였습니다.

기타 의견	

No	선생님들의 의견
2	- 빛과 물질의 이중성과 불확정성 원리를 학습 - 빛이 상황에 따라 입자와 파동의 성질을 모두 보일 수 있다는 점을 학습 - 물질의 이중성을 학습함으로써 물질의 파동성을 이해하고 물질파 이론에서 시작된 슈뢰딩거방정식의 해인 파동함수가 새로운 물리적 의미를 가진다는 것을 배워야 함. - 입자-파동 이중성, 빛의 입자성, 물질의 파동성을 배움으로써 파동과 입자에 대한 개념적인 이해가 높아지고 관련 지식을 습득 - 빛과 물질의 이중성을 학습함으로써 빛과 물질을 바라보는 시각을 변화시키고 모든 양자물리학의 내용을 이해하는 데 있어 기본적인 시각이 됨. - 물질의 파동성을 배우면서 물질의 기존 속성에 대해 완전히 새롭게 생각 - 불연속적인 에너지 준위, 입자-파동 이중성을 배움으로써 미시적 자연현상을 이해할 수 있음. - 미시세계 이해를 위한 현대적 원자모형을 배움 - 파울리 베타원리, 불연속적인 에너지 준위, 선스펙트럼, 에너지띠이론, 고체의 전기 전도성과 보어의 원자 모델, 전자의 스핀, 궤도 운동, 자성체의 경우 원자에 대한 기본적인 이해를 가지는데 필수 - 불연속적인 물리량들이 등장하는 특성은 양자물리학의 가장 큰 특징이기 때문에 이를 강조하여 학습

선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표	전혀 동의하지 않음	약간 동의하지 않음	약간 동의함	매우 동의함
미시세계에서의 자연현상을 이해하기 위해 필요한 양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습한다.				

기타 의견	

<table>
<tr><th>No</th><th colspan="5">선생님들의 의견</th></tr>
<tr><td rowspan="4">3</td><td colspan="5">– 물질의 파동성을 배우면서 물질에 대해 완전히 새롭게 생각할 수 있고, 과학이란 것이 절대적이고 고정되어 있는 지식이라는 생각에 변화를 줄 수 있음.
– 선스펙트럼, 이중슬릿, 광전효과와 같은 쉽게 확인 가능하고 분명한 결과를 보여주는 실험을 배움으로써 실험결과로 이론을 신뢰하는 과학적 방법을 배울 수 있음
– 양자물리의 현상을 학습함으로써 과학자들이 양자 역학이라는 거대한 이론의 퍼즐을 어떻게 맞춰나갔으며 그 과정에 무엇을 고민하고 발견했는지 학습할 수 있음.
– 양자 물리의 발전과정은 기존에 생각했던 입자에 대한 개념, 관측에 대한 개념들이 어떻게 바뀌었는지를 살펴봄을 통해 과학적 개념의 변화를 살펴볼 수 있음. 이는 현재 교과서의 물리학에서 이야기하는 내용들이 반례가 보인다면 변화할 수 있는 가변성을 가졌음을 학습할 수 있음.
– 물질의 파동성을 증명하기 위한 실험 설계 과정을 보면서 앞으로의 실험 탐구의 설계와 수행 과정에 대해서도 학습할 수 있음.</td></tr>
<tr><td>선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표</td><td>전혀 동의하지 않음</td><td>약간 동의하지 않음</td><td>약간 동의함</td><td>매우 동의함</td></tr>
<tr><td>양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습함으로써 과학적 방법과 과학지식의 특징을 이해한다.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>기타 의견</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">4</td><td colspan="5">– 응용사례를 학습함으로써 현실에서 양자물리가 어떻게 적용되는고 있고 얼마나 중요한지를 이해하는 과정을 통해 양자 물리의 중요성과 배움의 필요성을 느낄 수 있음.
– 일상생활에서 자주 사용되는 하드디스크와 같은 정보저장매체가 양자역학을 통해 제대로 설명될 수 있음을 깨닫고 물리학의 효용성을 느낄 수 있음. 또한, 전화접합소자와 같이 일상생활 속 다양한 전자기기에 포함된 소자에서 물리학이 중요한 역할을 함을 깨달음 수 있음.
– 응용사례를 학습함으로써 생활속에 깊이 사용되는 양자물리를 현실감 있게 받아들이고 세상을 이해하는 안목을 키울 수 있다.
– 현재 어떻게 적용되는 지를 알게 되면서, 학생들은 뜬구름 잡는 것처럼만 보였던 양자 물리가 실제 삶에 관련되고 있음을 느끼게 됨.
– 광다이오드를 학습함으로써 실제 양자물리학적 연구를 바탕으로 한 발명품들이 일상생활에 사용되고 있음을 앎.
– 파울리 베타원리, 불연속적인 에너지 준위, 선스펙트럼, 에너지띠이론, 고체의 전기전도성과 보어의 원자 모델, 전자의 스핀, 궤도 운동, 자성체의 경우 화학 및 다른 공학적 이해에도 필수
– 에너지 띠를 바탕으로 반도체의 특성을 배우고 반도체공학의 근간에 양자물리가 있음을 알게 됨으로써 물리학의 필요성을 재차 깨달을 수 있음</td></tr>
<tr><td>선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표</td><td>전혀 동의하지 않음</td><td>약간 동의하지 않음</td><td>약간 동의함</td><td>매우 동의함</td></tr>
<tr><td>양자물리 이론의 적용 및 일상생활 속 응용사례에 대한 학습을 통해 물리학의 필요성 및 중요성을 인식한다.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>기타 의견</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">5</td><td colspan="5">선생님들의 의견
–물리학이 실험에 근거한 이론을 정립하고 발전해가는 과정을 접하고 과학 탐구와 지식의 발견에 흥미를 느낄 수 있음.
– 물리학에서 현상에 대한 관찰과 호기심의 중요성 등을 배울 수 있음.</td></tr>
<tr><td>선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표</td><td>전혀 동의하지 않음</td><td>약간 동의하지 않음</td><td>약간 동의함</td><td>매우 동의함</td></tr>
<tr><td>양자물리 관련 현상 및 발전과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미를 느끼고 관찰과 호기심의 중요성을 안다.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>기타 의견</td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

No	선생님들의 의견				
6	- 첨단과학 기술과 관련하여 양자역학이 그것들의 기본이 되는 학문임을 알게 되고, 학교 교육과정을 통해 진로를 탐색하고 미래를 준비하는 태도와 기본 능력을 배양할 수 있음.				
	선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표	전혀 동의하지 않음	약간 동의하지 않음	약간 동의함	매우 동의함
	첨단과학기술 속 양자물리 원리의 중요성을 인식하고 진로를 탐색하며 미래를 준비하는 태도를 함양한다.				
	기타 의견				

2-2. 물리학Ⅰ 양자물리 교육의 필요성을 고려했을 때 문항 2-1에서 진술된 6개의 양자물리 교육목표의 상대적 중요도를 표시해주시길 바랍니다.

No	교육목표	전혀 중요하지 않음	약간 중요하지 않음	보통	약간 중요함	매우 중요함
1	양자물리 관련 기초이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학역량을 함양한다.					
2	미시세계에서의 자연현상을 이해하기 위해 필요한 양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습한다.					
3	양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습함으로써 과학적 방법과 과학지식의 특징을 이해한다.					
4	양자물리 이론의 적용 및 일상생활 속 응용사례에 대한 학습을 통해 물리학의 필요성 및 중요성을 인식한다.					
5	양자물리 관련 현상 및 발전과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미를 느끼고 관찰과 호기심의 중요성을 안다.					
6	첨단과학기술 속 양자물리 원리의 중요성을 인식하고 진로를 탐색하며 미래를 준비하는 태도를 함양한다.					

2-3. 교육목표에 대한 기타 의견이 있으신 분들은 기술하여 주시기 바랍니다.

Ⅱ. 바람직한 물리학Ⅱ 양자물리 교육의 필요성 및 교육목표

1. 1차 설문결과를 바탕으로 한 물리학Ⅱ 양자물리 교육의 필요성

응답자 14명 중 14명이 물리학Ⅱ에서 양자물리 교육이 필요하다고 응답하였습니다. 응답해주신 '필요성'에 대한 의견을 과학적 소양 평가틀[2]의 맥락차원에서 아래 표와 같이 정리하였습니다.

맥락	필요성	응답예시(응답자수)	응답자수
개인	진로와 관련된 심화된 내용지식 필요	-이공계열 진로를 희망하는 학생들이기 때문에 양자물리 내용을 학습해야 함. (5) -진로 과목이므로 심화학습 필요(4) - 심화지식과 응용사례를 학습함으로써 본인의 진로를 계획, 결정짓고 관련 지식을 찾는데 도움이 됨(2) - 이공계에 진학할 학생이므로 학문으로서 정립된 물리학의 기초 내용들을 다루어야 함. (1) - 창의적이고 과학적인 역량이 필요한 학생들과 예비공학도들 일상생활과 관련 있는 양자물리 학습 필요 (1) - 교육과정에 나와 있는 것처럼 과학기술 분야의 진로를 선택할 때 전공 분야의 지식을 습득하기 위한 기초 역량, 기본적인 문제 해결 능력 습득 필요(1)	13
	최신 양자물리에 대한 인식론적 지식과 태도 필요	- 최신 내용인 양자물리를 학습함으로써 물리학에 대한 관심과 흥미를 높이고, 발전하는 학문의 영향을 체험하며 과학에 대한 지식과 태도를 발전(1)	1

*인식론적 지식은 '과학의 구성 및 과학의 정의된 특징, 과학에 의해 생산된 지식을 정당화하는 데 있어서의 이 구성들의 역할과 특징'을 의미합니다.

1차 설문결과를 보시고 판단하신 물리학Ⅱ 양자물리 교육의 필요성에 대한 본인의 의견을 최종적으로 작성해 주시길 바랍니다.

2) OECD(2017) PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving, PISA, OECD Publishing, Paris.

Ⅱ. 물리학 Ⅱ 양자물리 교육목표

2-1. 선생님들께서 주신 물리학Ⅱ 양자물리 교육목표에 대한 의견을 6개로 범주화하여 정리하였습니다. 정리한 진술문에 대한 동의 정도를 표시하여 주시고 다른 의견이 있으신 경우에는 적어주시기 바랍니다.

<table>
<tr><th>No</th><th colspan="5">선생님들의 의견</th></tr>
<tr><td rowspan="5">1</td><td colspan="5">- 입자-파동 이중성이 어떤 현상을 통해 관찰되며 어떤 해석을 기반으로 하는지, 이러한 이중성이 확률적, 통계적 해석으로 이어지는 과정을 이해함으로서 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가를 학습
- 선스펙트럼과 흑체복사로부터 발생한 문제점을 해결하기 위한 과정에서 탄생하는 양자 개념이 물리학1에서 배운 광전효과와 보어의 원자모형에 적용되며 현대적 원자모형으로 이어지는 역사적 발달과정을 배움으로써 문제인식, 자료의 수집 분석 및 해석, 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 의사소통의 중요성을 학습할 수 있음.
- 입자-파동 이중성, 양자물리의 확률론적인 해석, 사고 실험'을 배움으로써 증거에 기초한 토론과 논증, 과학적 의사소통 능력이 증진
- 원자이론의 핵심을 배우고 모형의 개발과 사용에 대해서 이해
- 원자 이론을 학습함으로써 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가를 학습
- 레이저를 통해 첨단 과학기술에 대한 상식이나 교양을 쌓아 관련 신문기사나 논문 등을 읽어낼 수 있는 '의사소통'기능을 길러낼 수 있음
- 다이오드, LED, 트랜지스터, 정보 저장매체를 배우면 전자의 에너지 준위 및 전자의 이동에 의해서 나타나는 여러 현상과 이를 적용한 현대사회의 여러 응용사례를 배움으로써 모형의 개발과 사용을 학습
- 흑체복사는 학생들이 접할 수 있는 다양한 현상이 존재하므로 '문제인식'이라는 기능과 태도가 길러질 수 있음
- 광전효과나 컴프턴 산란, 전자의 회절 실험, 데이비슨-저머 실험 등을 통해 양자역학적 현상을 이해하여 이를 실생활에 접목시키고, 어떻게 활용해 나갈 수 있을지 사고를 확장 시키고 스스로 관련 분야의 지식을 습득하는 과정에서 자료 수집과 분석 능력을 키울 수 있을 것
- 물연속적인 에너지 준위, 광전효과, 이중슬릿실험, 데이비슨-저머실험, 선 스펙트럼을 학습함으로써 자료의 수집과 분석, 자료 해석, 결론 도출의 통합 기능을 증진
- 현상을 배움으로써 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가를 학습할 수 있음</td></tr>
<tr><td>선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표</td><td>전혀 동의하지 않음</td><td>약간 동의하지 않음</td><td>약간 동의함</td><td>매우 동의함</td></tr>
<tr><td>양자물리 관련 다양한 이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학 역량을 함양한다.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">* 과학적 소양 평가틀(OECD, 2017)에서 '과학역량'은 현상에 대한 과학적 설명, 과학탐구의 평가 및 설계, 자료 및 증거의 과학적 해석으로 구성되어 아래와 같이 범주1의 교육목표를 진술하였습니다.</td></tr>
<tr><td colspan="2">기타 의견</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="5">2</td><td colspan="5">선생님들의 의견</td></tr>
<tr><td colspan="5">- 정성적으로 설명하는 것을 넘어서 간단한 상황에서 파동함수를 적용하는 것을 통해 실제 현실의 계산은 이를 조금 더 복잡하게 다루는 것뿐이라는 것을 이해한다. 이를 통해 수학적 사고를 배우고 양자물리와 현실이 실제로 연결되어 있음을 체감
- 다양한 과학적 현상을 수학적으로 분석하고 이를 통해 미래 상황을 예측하고 공학적 응용에 적용할 수 있는 능력을 학습
- 삼각함수와 지수함수를 이용하여 파동함수를 표현하는 과정과 이 파동함수를 통해 알 수 있는 양자역학적 확률의 의미를 수학적으로 정확하게 이해해야지만 추후 양자물리를 이용한 전공 내용을 학습할 때 어려움 없이 진입할 수 있을 것
- 미시적 세계를 관측하기 위한 실험장비와 원리를 수학적 해석과 같이 배우며 구체적이고 해석적인 지식을 습득</td></tr>
<tr><td>선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표</td><td>전혀 동의하지 않음</td><td>약간 동의하지 않음</td><td>약간 동의함</td><td>매우 동의함</td></tr>
<tr><td>양자물리와 관련된 여러 현상을 정량적으로 이해한다.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">기타 의견</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>No</th><th colspan="5">선생님들의 의견</th></tr>
<tr><td rowspan="4">3</td><td colspan="5">- 양자물리학의 기본원리를 학습하기 위해 물질의 이중성을 배우고 이를 통해 전자현미경과 STM등에 대해 이해할 수 있는 지식을 얻을 수 있음
- 입자-파동 이중성, 양자물리의 확률론적인 해석, 사고 실험을 배움으로써 양자 물리의 지식 습득
- 현상을 배움으로써 고전물리학과 대비되는 양자역학의 기본 가정, 원리를 이해할 수 있음
- 원자이론을 학습하고 에너지 준위의 존재를 알면 물질의 파동성과 파동함수의 확률적 의미에 대한 학습으로 이어질 수 있음</td></tr>
<tr><td>선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표</td><td>전혀 동의하지 않음</td><td>약간 동의하지 않음</td><td>약간 동의함</td><td>매우 동의함</td></tr>
<tr><td>미시세계에서의 자연현상을 설명하기 위해 필요한 양자물리의 개념 및 이론을 보다 자세하게 학습한다.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>기타 의견</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">4</td><td colspan="5">선생님들의 의견</td></tr>
<tr><td colspan="5">- 불연속적인 에너지 준위, 선스펙트럼을 학습하고 전기전도성의 차이가 나는 이유를 이해
- 현대의 첨단 과학기술의 내용과 연계되어 학생이 이를 통해 미래의 진로에 대한 탐색이 필요하므로 응용사례 측면에서 가르쳐야 함.
- 레이저를 이용해 입자를 포집하는 기술 등을 이용해 세포나 DNA를 연구하는 등 다른 분야에도 물리학적 기술이 유용하게 쓰인다는 사실을 학습
- 전자 현미경, 레이저, 광섬서, 다이오드, 트랜지스터, LED, 정보 저장매체, 전하결합소자, 태양전지와 같은 응용 사례를 학습하기 위해서는 양자역학적 내용과 이를 적용했을 때 기존 기술에 비해 어떤점이 더 강점을 보이는지를 배워야 함. 이를 배움으로써 학생들은 과학 기술의 발전이 공학적으로 어떠한 긍정적 영향을 강점을 미치는지에 대해서도 학습할 수 있음
- 다이오드, LED, 트랜지스터, 정보 저장매체를 배우면 전자의 에너지 준위 및 전자의 이동에 의해서 나타나는 여러 현상과 이를 적용한 현대사회의 여러 응용사례를 배움
- 주변에서 볼 수 있는 레이저, LED, 전자현미경 등의 작동원리를 이해할 수 있는 능력이 생기고 창의적인 새로운 과학 기술로 발전하여 더 나은 생활속의 기기가 생산
- 반도체, 전자공학 분야에서 전자의 터널링 현상이 미치는 영향을 배움으로써 양자터널 효과를 통해 효율적인 반도체 설계가 가능하다는 점을 학습할 수 있음
- LED나 태양전지에서의 광자로 인한 실제 작동 과정이나 트랜지스터의 작동과정을 전위를 바탕으로 정확하게 이해하는 과정은 공학계열의 진로를 희망하는 학생들에게 필수적이라 생각한다. 또한 전자현미경이나 신소재와 같이 최근 많이 각광받고 있는 분야에 대한 내용 요소를 학습한다면 학생들 자신의 진로를 설정하는 데 있어 큰 도움
- 관련 분야로의 전공을 희망하고 있기 때문에 실제 사례의 원리를 학습</td></tr>
<tr><td>선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표</td><td>전혀 동의하지 않음</td><td>약간 동의하지 않음</td><td>약간 동의함</td><td>매우 동의함</td></tr>
<tr><td>진로 및 전공과 관련된 다양한 첨단과학기술의 원리를 학습한다.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>기타 의견</td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

No	선생님들의 의견				
5	– 양자역학의 전반적인 내용을 배워야 함. 뿐만 아니라 이에 대한 철학적 고민을 함께 함으로써 학문의 연구란 무엇인지에 대한 이해도를 높이고, 물리학의 이론 구조와 추론 방법에 대한 근본적인 학습이 가능 – 양자물리학의 기반이 된 실험과 이를 설명하는 원리들을 연결지어 학습하는 것이 필요함. 이를 통해 과학의 발전에 대해 과학이 자연현상 그 자체가 아니라 인간이 자연을 이해하기 위해 노력하는 과정에서 발달한 산물임을 알 수 있음. – 스펙트럼과 흑체복사로부터 발생한 문제점을 해결하기 위한 과정에서 탄생하는 양자 개념이 물리학1에서 배운 광전효과와 보어의 원자모형에 적용되며 현대적 원자모형으로 이어지는 역사적 발달과정을 배움으로써 양자물리의 발전이 패러다임에 미친 영향을 학습 – 양자물리의 철학적 측면을 학습함으로써 과학자의 특성을 배울 수 있음 – 과학자들이 양자 역학이라는 거대한 이론의 뼈줄을 어떻게 맞춰나갔으며 그 과정에 무엇을 고민하고 발견했는지 학습 – 여러 과학자들의 발견들이 하나씩 쌓여 구축된 양자 물리의 역사를 설명 – 물리학이 실험에 근거한 이론을 정립하고 발전해가는 과정 학습				
	선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표	전혀 동의하지 않음	약간 동의하지 않음	약간 동의함	매우 동의함
	양자물리 발전과정을 학습함으로써 물리학 연구에 대해 이해한다.				
	기타 의견				
6	선생님들의 의견				
	– 철학적 인식론적 해석과 확률론적인 해석을 배워야 함. 이를 통해 세상을 이해하는 새로운 안목을 키울 수 있다. – 기존의 물리학과 양자물리학이 갖는 시각의 차이점 다루어 학생들이 양자물리가 갖는 철학적 측면을 이해하는 것도 중요 – 불확정성 원리, 상보성 원리, 확률 통계적예측을 배움으로써 물리1의 양자관련 개념을 확장하고 미시세계를 이해하는 새로운 안목을 키울 수 있다.				
	선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표	전혀 동의하지 않음	약간 동의하지 않음	약간 동의함	매우 동의함
	양자물리의 해석적 특징을 학습함으로써 자연현상을 이해하는 새로운 안목을 기른다.				
	기타 의견				
7	선생님들의 의견				
	– 물리학이 실험에 근거한 이론을 정립하고 발전해가는 과정을 접하고 과학 탐구와 지식의 발전에 흥미를 느낄 수 있음(2) – 하이젠베르크의 불확정성 원리, 빛의 이중성, 물질의 이중성'을 배움으로써 과학적 태도(비판성, 의심성, 호기심)를 기름 – 양자물리의 철학적 측면을 학습함으로써 과학에 대한 호기심을 배움 – 물리학에서 현상에 대한 관찰과 호기심의 중요성 등을 배울 수 있을 것 – 불연속적인 에너지 준위, 광전효과, 이중슬릿실험, 데이비슨–저머실험, 선스펙트럼을 학습하고 객관성을 기르고 과학에 대하여 우호적인 태도를 만들어 줌.				
	선생님들의 의견을 바탕으로 진술한 교육목표	전혀 동의하지 않음	약간 동의하지 않음	약간 동의함	매우 동의함
	양자물리의 원리, 실험, 발전과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미를 느끼고 과학적 태도를 기른다.				
	기타 의견				

[3차 델파이 설문지]

고등학교 양자물리 교육의 필요성, 교육목표, 교육내용 탐색을 위한 3차 설문지

안녕하십니까?
바쁘신 와중에 귀중한 시간 내어 2차 델파이 설문조사에 응하여 주셔서 감사드립니다.

지난 조사의 응답 내용 중 교육의 필요성과 교육의 목표를 고려한 교육내용에 대한 전문가들의 합의를 도출하기 위해서 3차 설문을 하고자 합니다.

바쁘신 와중에도 적극적으로 협조해 주셔서 대단히 감사합니다.

서울대학교 사범대학 물리교육과
석사과정 김진하
연락처: 010-4228-4811, jinvely@snu.ac.kr

바람직한 물리학Ⅰ 양자물리 교육주제 및 교육내용

● 2차 델파이 조사 결과

1. 물리학 Ⅰ 양자물리 교육의 필요성

선생님들께서 주신 물리학Ⅰ 양자물리 교육의 필요성에 대한 의견을 개인적 맥락과 사회적 맥락 2개로 범주화하여 정리하였습니다.

A. 개인적 맥락에서의 필요성
- 미래사회의 구성원으로서 현대 사회가 성취한 학문 및 기술에 대한 이해 필요(N=11)
- 자연을 이해하는 안목 확장 및 태도 함양 필요(N=7)
- 진로선택을 위해 필요(N=3)

B. 사회적 맥락에서의 필요성
- 과학발전을 위한 인재양성 필요 (N=3)

2. 물리학 Ⅰ 양자물리 교육목표

2차 응답을 통계 처리한 결과 6개의 교육목표 중 다음의 3개가 유의미하게 일치하는 것으로 나타났습니다.

NO.	교육목표	평균
1	양자물리 이론의 적용 및 일상생활 속 응용사례에 대한 학습을 통해 물리학의 필요성 및 중요성을 인식한다.	4.57
2	양자물리의 기본 개념 및 이론을 학습함으로써 과학적 방법과 과학지식의 특징을 이해한다.	4.28
3	첨단과학기술 속 양자물리 원리의 중요성을 인식하고 진로를 탐색하며 미래를 준비하는 태도를 함양한다.	4.07

● 1차 델파이 조사 결과

지난 1차 델파이 조사 중 '물리학Ⅰ·Ⅱ에서 양자물리 관련 내용을 지도했던 경험'을 아래의 3가지 측면으로 정리했습니다.

① 교육과정 내용 및 운영에서의 어려움*

영역	세부영역	설명	09개정 물리Ⅰ	09개정 물리Ⅱ	15개정 물리Ⅰ
교육내용 선정	교과 및 학문적 요구	교과에서 필수적이고 핵심적인 내용이 아닌 기술에 치중된 교육내용으로 이루어져 있음	1	·	2
교육내용 조직	교과 내 내용 조직	교과특성 및 체계를 고려하지 않은 구성 교육내용이 비약되거나 단절된 채로 구성됨 교육내용의 연결성이 부족함	4	3	7
	교과 간 내용 조직	교과 간의 연계 및 위계가 맞지 않게 교육내용이 조직되어 있음	·	1	·
교육내용 양	수업시수	수업 시수 내에서 학생이 성취하기에 교육내용의 양이 많음	4	4	·
	교과목표 달성	교과 목표를 달성하기에 적합하지 않은 분량으로 교육내용의 양 구성	1	·	·
교육내용 수준	학생 발달 수준	교육내용의 수준이 학생 발달 수준에 적합하지 않음	·	4	·
	수업 시수	교육내용의 수준이 수업 시수 내에 성취하기에 적합하지 않음	1	1	·
	교과목표 달성	불명확한 성취기준으로 교육내용 수준을 정하기 어려움	3	3	3
교육내용 평가	한정된 평가방법	교육내용-교수학습-평가 일체화가 어려움 암기된 지식 또는 공식을 이용한 문제풀이 위주의 평가	3	1	2
교과운영	현실적인 제약	학교 현장의 현실적인 문제로 교과 운영이 어려움	·	5	·

* '한국교육과정 평가원(2020). 2015 개정 교육과정에 따른 초, 중학교 교과 교육내용의 적정성 분석: 수학, 과학'에 제시된 교육내용의 적정성 분석틀을 토대로 '교육내용 선정·조직·양·수준'을 분류하였으며 '교육내용 평가, 교과운영'은 선생님들의 담변에서 추출된 영역으로 분석틀에 포함하였습니다.

② 학생이 흥미를 느끼는 내용 및 요인*

요인	세부요인	세부요인에 대한 설명
학생	진로	• 진로와 관련된 내용에 흥미를 가짐
	인지욕구	• 평소 호기심을 가지고 있던 내용을 배운다는 것에 흥미를 가짐 • 복잡한 원리를 탐구함으로써 흥미를 느낌
	선행지식	• 다른 교과에서 배운 내용의 원리를 설명할 수 있는 경우 흥미를 느낌 • 기존 물리 지식을 적용해 설명할 수 있는 경우 흥미를 느낌 • 평소 다양한 서적 및 영상을 통해 가지고 있어 양자물리 관련 주제에 흥미를 느낌
과학교과	처음 접하는 내용	• 처음 접하는 내용에 새로움을 느끼고 흥미를 가짐
	양자물리 내용의 특징	• 기존 물질과 관련된 사고관 또는 상식과 달라 흥미를 느낌
	실생활 관련 내용	• 일상생활에서 접할 수 있는 기술에 친숙함을 느끼고 응용사례의 원리와 관련된 기본원리 및 현상에 흥미를 느낌.
	과학자	• 내용과 관련된 과학자의 성과에 흥미를 느낌
	쉬운 내용	• 다른 내용에 비해 난이도가 쉬워 흥미를 느낌
	효용성을 느낀 내용	• 물리학이 기술발전에 미치는 영향 및 효용성을 느끼고 흥미를 느낌 • 물리학이 다른 분야에 깊이 있는 설명을 제공함을 느끼고 흥미를 느낌
교수학습	매체활용	• 다양한 매체(시뮬레이션, 영상 등)를 활용할 경우 학생들이 흥미를 느낌
	직접관찰	• 직접 물체를 관찰한 경우 학생들이 흥미를 느낌
	맥락설명	• 교육과정을 재구성하거나 과학사를 활용해 맥락이 제공될 경우 학생들이 흥미를 느낌

* 학생이 내용과 관련해 흥미를 느끼는 세부요인은 선생님들의 답변을 토대로 분류하였습니다.

③ 학생이 학습의 어려움을 느끼는 내용 및 요인

요인	세부요인	세부요인에 대한 설명
학생	선행지식 충돌	• 다른 교과에서 배운 내용과 다를 경우 학습의 어려움을 느낌
	선행지식 부족	• 선행되어야 하는 내용 학습의 부재로 학습의 어려움을 느낌 • 선행되어야 하는 교과내용에 대한 이해 부족으로 학습의 어려움을 느낌
과학교과	처음 접하는 내용	• 처음 접하는 내용이 생소해 어려움을 느낌
	양자물리 내용의 특징	• 개념이 추상적인 경우 학생들이 어려움을 느낌 • 개념, 이론, 법칙 등이 복잡한 수식으로 표현된 경우 어려움을 느낌 • 기존 물질의 세계관과 달라 잘 받아들여지지 않는 경우 어려움을 느낌
	응용사례의 복잡한 원리	• 많은 응용사례와 각각의 복잡한 원리를 이해하는데 어려움을 느낌
	난이도가 높은 내용	• 고등학교 수준으로 원리를 설명하기에 난이도가 높아 학생들이 어려움을 느낌
	복잡한 문제상황	• 복잡한 문제상황이 제시된 경우 어려움을 느낌
교수학습	매체 부족	• 추상적인 개념을 설명하기 위한 교수학습자료가 부족해 학생들이 학습의 어려움을 느낌.
	관련 활동 불가능	• 고등학교 수준에서 실험이 불가능해 직접 관찰할 수 없어 어려움을 느낌
	지식전달 위주의 설명	• 이론 및 개념이 나오게 된 맥락이 부족할 경우 학습의 어려움을 느낌 • 본질적인 의미나 원리가 제시되어 있지 않은 경우 어려움을 느낌
교사 전문성	내용지식 부족	• 교사 자신의 불충분한 개념으로 학생들이 학습의 어려움을 느낌 • 학생들에게 명확한 설명을 할 수 없어 학생들이 학습의 어려움을 느낌

* 학생이 내용과 관련해 어려움을 느끼는 세부요인은 선생님들의 답변을 토대로 분류하였습니다.

● 물리학Ⅰ 양자물리 교육내용에 대한 3차 조사 ●

2차 델파이 조사 결과인 물리학Ⅰ 양자물리 교육의 필요성 및 교육목표와 1차 델파이 조사 결과인 양자물리 관련 교육과정 내용 및 운영에서의 어려움과 학생들의 흥미 및 어려움 요인을 고려하여 물리학Ⅰ에서 **양자물리의 각 주제별로 포함되어야 한다고 생각하는 내용요소**에 체크(√)해주시길 바랍니다.

1. 양자물리의 기본원리

NO.	내용요소	흥미 요인* (응답자수)	어려움 요인** (응답자수)	양자물리 교육에 필요한 내용요소	
				1차 응답 (명)***	**포함 여부에 대한 의견**
1	빛의 입자성	쉬운내용(1)	•	1	
2	빛의 이중성	양자물리 내용의 특징(1) 맥락설명(1)	양자물리 내용의 특징(1)	2	
3	물질의 파동성	인지욕구(1)	양자물리 내용의 특징(2)	1	
4	물질의 이중성	인지욕구(1)	선행지식 부족(1)	2	
5	입자-파동 이중성	양자물리 내용의 특징(2)	양자물리 내용의 특징(2)	7	
6	불확정성 원리	양자물리 내용의 특징(4)	양자물리 내용의 특징(2)	1	
7	확률적 해석	양자물리 내용의 특징(1)	•	1	
8	파울리의 배타원리	•	•	•	
9	상보성 원리	•	•	•	
10	양자 얽힘	•	•	•	

*, ** 학생의 흥미 및 학습의 어려움의 세부요인은 선생님들의 답변을 토대로 분류하였으며 이에 대한 설명은 각각 4p, 5p에 제시되어 있습니다.

*** 1차 조사 중 응답해주신 양자물리 교육에 필요한 내용요소를 정리하였습니다.

위의 응답해주신 '양자물리의 기본원리'의 **내용요소의 수준과 범위**를 개략적으로 작성해주시길 바랍니다.

2. 현상

NO.	내용요소	흥미 요인 (응답자수)	어려움 요인 (응답자수)	양자물리 교육에 필요한 내용요소	
				1차 응답 (명)	**포함 여부에 대한 의견**
1	광전효과	처음 접하는 내용(1) 과학자(1), 쉬운 내용(1) 실생활 관련 내용(1) 맥락제공(1)	어려운 내용(1)	4	
2	물질파	양자물리 내용의 특징(1)	양자물리 내용의 특징(1)	2	
3	컴프턴 산란	•	양자물리 내용의 특징(1)	1	
4	데이비슨-저머 실험	•	선행지식 부족(1)	1	
5	전자 회절	인지욕구(1)	•	2	
6	이중슬릿 실험	•	•	•	
7	이중성 관련 현상	•	•	2	
8	양자터널 효과	양자물리 내용의 특징(7)	•	•	
9	원자핵의 붕괴	•	•	•	
10	흑체복사	선행지식(1), 효용성을 느낄 수 있는 내용(1)	•	•	
11	불연속적 에너지 준위	•	•	2	
12	선스펙트럼	•	•	2	

위의 응답해주신 '현상'의 **내용요소의 수준과 범위**를 개략적으로 작성해주시길 바랍니다.

3. 응용사례

NO.	내용요소	흥미 요인 (응답자수)	어려움 요인 (응답자수)	양자물리 교육에 필요한 내용요소	
				1차 응답 (명)	**포함 여부에 대한 의견**
1	다이오드	직접 관찰(1)	응용사례의 복잡한 원리(1) 교사 내용지식 부족(1)	2	
2	LED	매체 활용(1)	•	4	
3	트랜지스터	•	선행지식 부족(1) 처음 접하는 내용(1) 어려운 내용(1) 양자물리 내용의 특징(2) 응용사례의 복잡한 원리(1) 관련 활동 불가능(1) 교사 내용지식 부족(1)	1	
4	정보저장매체	실생활 관련 내용 (1) 효용성을 느낄 수 있는 내용(1)	•	3	
5	신소재	진로(1), 실생활 관련 내용 (2) 매체 활용(1)	•	1	
6	CCD	진로(1), 실생활 관련 내용 (2)	교사 내용지식 부족(1)	1	
7	전자 현미경	양자물리 내용의 특징(1) 실생활 관련 내용 (1) 과학자(1), 매체 활용(1) 직접 관찰(1)	선행지식 부족(1) 양자물리 내용의 특징(2)	1	
8	레이저	실생활 관련 내용 (1)	선행지식 부족(1) 양자물리 내용의 특징(1) 교사 내용지식 부족(1) 관련 활동 불가능(1)	•	
9	태양전지	•	•	2	
10	광센서	•	•	•	
11	양자정보	•	•	•	
12	양자컴퓨터	•	•	•	

위의 응답해주신 '응용사례'의 **내용요소의 수준과 범위**를 개략적으로 작성해주시길 바랍니다.

4. 원자이론

NO.	내용요소	흥미 요인 (응답자수)	어려움 요인 (응답자수)	양자물리 교육에 필요한 내용요소	
				1차 응답 (명)	**포함 여부에 대한 의견**
1	에너지 준위	•	양자물리 내용의 특징(1) 지식 전달 위주의 설명(1)	4	
2	선스펙트럼	•	•	2	
3	에너지띠 이론	효용성을 느낄 수 있는 내용(1)	처음 접하는 내용(1) 양자물리 내용의 특징(3) 매체부족(1) 교사 내용지식 부족(1)	3	
4	고체의 전기전도성	•	•	3	
5	자성체	인지욕구(1) 처음 접하는 내용(1) 매체활용(2) 직접관찰(2)	양자물리 내용의 특징(2) 어려운 내용(2) 지식 전달 위주의 설명(2) 교사 내용지식 부족(1)	2	
6	전자의 스핀 및 궤도 운동	•	선행지식 충돌(1) 처음 접하는 내용(1) 양자물리 내용의 특징(4) 매체부족(1) 지식 전달 위주의 설명(1) 교사 내용지식 부족(1)	2	
7	보어 원자 모델	선행지식(1)	•	1	
8	현대적 원자 모델	선행지식(1)	•	1	
9	원자모형의 발전과정	•	•	1	
10	일차원 모델 또는 포텐셜 우물	•	•	•	
11	전자배열	•	•	1	
12	파울리의 배타원리	•	•	•	
13	원자의 주기율표	•	•	•	
14	양자수	•	•	•	
15	페르미온과 보존	•	•	•	

위의 응답해주신 '원자이론'의 **내용요소의 수준과 범위**를 개략적으로 작성해주시길 바랍니다.

5. 파동함수 또는 수학적 표현

NO.	내용요소	흥미 요인 (응답자수)	어려움 요인 (응답자수)	양자물리 교육에 필요한 내용요소	
				1차 응답 (명)	**포함 여부에 대한 의견**
1	슈뢰딩거 방정식	선행지식(1) 양자물리 내용의 특징(1)	양자물리 내용의 특징(3)	•	
2	파동함수	선행지식(1) 양자물리 내용의 특징(1)	양자물리 내용의 특징(2)	•	
3	입자가 발견될 확률 (보른의 해석)	•	양자물리 내용의 특징(1)	•	
4	중첩원리	•	•	•	
5	일차원 모델 또는 포텐셜 우물	•	•	•	
6	시간변화	•	•	•	
7	확률계산	•	•	•	

위의 응답해주신 '파동함수 또는 수학적 표현'의 **내용요소의 수준과 범위**를 개략적으로 작성해주시길 바랍니다.

6. 양자물리의 철학적 측면

NO.	내용요소	흥미 요인 (응답자수)	어려움 요인 (응답자수)	양자물리 교육에 필요한 내용요소	
				1차 응답 (명)	**포함 여부에 대한 의견**
1	과학자들의 논쟁사례 (슈뢰딩거의 고양이)	양자물리 내용의 특징(1) 맥락설명(1)	•	•	
2	양자물리 이론의 발전과정	•	•	1	
3	확률론적인 해석	•	•	•	
4	인식론적인 해석	•	•	•	
5	입자파동 이중성	•	•	•	
6	상보성 원리	•	•	•	
7	코펜하겐 해석	•	•	•	
8	고전물리와 양자물리의 차이점	•	•	•	
9	아인슈타인의 EPR역설	•	•	•	
10	사고실험	•	•	•	
11	양자 얽힘	•	•	•	

위의 응답해주신 '양자물리의 철학적 측면'의 의 **내용요소의 수준과 범위**를 개략적으로 작성해주시길 바랍니다.

바람직한 물리학Ⅱ 양자물리 교육주제 및 교육내용

● 2차 델파이 조사 결과

1. 물리학 Ⅱ 양자물리 교육의 필요성

선생님들께서 주신 물리학Ⅱ 양자물리 교육의 필요성에 대한 의견을 개인적 맥락으로 범주화하여 정리하였습니다.

A. 개인적 맥락에서 진로 및 진학을 위해 필요
- 진로와 관련된 심화지식 학습 필요(N=7)
- 기초역량 및 기본적인 문제 해결능력 함양 필요(N=3)
- 이공계열 소양 함양 (N=2)
- 이공계열 학생으로서의 태도 함양(N=2)
- 세상을 이해하는 안목 확장(N=1)

2. 물리학 Ⅱ 양자물리 교육목표

2차 응답을 통계 처리한 결과 7개의 교육목표 중 다음의 4개가 유의미하게 일치하는 것으로 나타났습니다.

NO.	교육목표	평균
1	진로 및 전공과 관련된 다양한 첨단과학기술의 원리를 학습한다.	4.57
2	미시세계에서의 자연현상을 설명하기 위해 필요한 양자물리의 개념 및 이론을 보다 자세하게 학습한다.	4.29
3	양자물리의 핵심 이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학 역량을 함양한다.*	4.21
4	양자물리의 원리, 실험, 발전과정을 학습함으로써 물리학에 대한 흥미를 느끼고 과학적 태도를 기른다.	4.07

* '양자물리의 다양한 이론, 실험, 응용사례'보다는 '핵심' 이론을 학습하는 것이 적절하다는 의견이 있어 '양자물리의 핵심 이론, 실험, 응용사례를 탐구함으로써 과학역량을 함양한다.'로 수정함.

● 물리학Ⅱ 양자물리 교육내용에 대한 설문 ●

2차 델파이 조사 결과인 물리학Ⅱ 양자물리 교육의 필요성 및 교육목표와 1차 델파이 조사 결과인 양자물리 관련 교육과정 내용 및 운영에서의 어려움과 학생들의 흥미 및 어려움 요인을 고려하여 물리학Ⅱ에서 **양자물리의 각 주제별로 포함되어야 한다고 생각하는 내용요소**에 체크(√)해주시길 바랍니다.

1. 양자물리의 기본원리

NO.	내용요소	흥미 요인* (응답자수)	어려움 요인** (응답자수)	양자물리 교육에 필요한 내용요소	
				1차 응답 (명)***	**포함 여부에 대한 의견**
1	빛의 입자성	쉬운내용(1)	•	1	
2	빛의 이중성	양자물리 내용의 특징(1) 맥락설명(1)	양자물리 내용의 특징(1)	•	
3	물질의 파동성	인지욕구(1)	양자물리 내용의 특징(2)	•	
4	물질의 이중성	인지욕구(1)	선행지식 부족(1)	1	
5	입자-파동 이중성	양자물리 내용의 특징(2)	양자물리 내용의 특징(2)	3	
6	불확정성 원리	양자물리 내용의 특징(4)	양자물리 내용의 특징(2)	4	
7	확률적 해석	양자물리 내용의 특징(1)	•	•	
8	파울리의 배타원리	•	•	•	
9	상보성 원리	•	•	2	
10	양자 얽힘	•	•	•	

*, ** 학생의 흥미 및 학습의 어려움의 세부요인은 선생님들의 답변을 토대로 분류하였으며 이에 대한 설명은 각각 4p, 5p에 제시되어 있습니다.

*** 1차 조사 중 응답해주신 양자물리 교육에 필요한 내용요소를 정리하였습니다.

위의 응답해주신 '양자물리의 기본원리'의 **내용요소의 수준과 범위**를 개략적으로 작성해주시길 바랍니다.

2. 현상

NO.	내용요소	흥미 요인 (응답자수)	어려움 요인 (응답자수)	양자물리 교육에 필요한 내용요소	
				1차 응답 (명)	**포함 여부에 대한 의견**
1	광전효과	처음 접하는 내용(1) 과학자(1) 쉬운 내용(1) 실생활 관련 내용(1) 맥락제공(1)	어려운 내용(1)	3	
2	물질파	양자물리 내용의 특징(1)	양자물리 내용의 특징(1)	·	
3	컴프턴 산란	·	양자물리 내용의 특징(1)	2	
4	데이비슨-저머 실험	·	선행지식 부족(1)	2	
5	전자 회절	인지욕구(1)	·	2	
6	이중슬릿 실험	·	·	1	
7	이중성 관련 현상	·	·	·	
8	양자터널 효과	양자물리 내용의 특징(7)	·	3	
9	원자핵의 붕괴	·	·	·	
10	흑체복사	선행지식(1) 효용성을 느낄 수 있는 내용(1)	·	1	
11	불연속적 에너지 준위	·	·	1	
12	선스펙트럼	·	·	2	

위의 응답해주신 '현상'의 **내용요소의 수준과 범위**를 개략적으로 작성해주시길 바랍니다.

3. 응용사례

NO.	내용요소	흥미 요인 (응답자수)	어려움 요인 (응답자수)	양자물리 교육에 필요한 내용요소	
				1차 응답 (명)	**포함 여부에 대한 의견**
1	다이오드	직접 관찰(1)	응용사례의 복잡한 원리(1) 교사 내용지식 부족(1)	3	
2	LED	매체 활용(1)	•	5	
3	트랜지스터	•	선행지식 부족(1) 처음 접하는 내용(1) 어려운 내용(1) 양자물리 내용의 특징(2) 응용사례의 복잡한 원리(1) 관련 활동 불가능(1) 교사 내용지식 부족(1)	4	
4	정보저장매체	실생활 관련 내용 (1) 효용성을 느낄 수 있는 내용(1)	•	2	
5	신소재	진로(1), 실생활 관련 내용 (2) 매체 활용(1)	•	1	
6	CCD	진로(1), 실생활 관련 내용 (2)	교사 내용지식 부족(1)	1	
7	전자 현미경	양자물리 내용의 특징(1) 실생활 관련 내용 (1) 과학자(1), 매체 활용(1) 직접 관찰(1)	선행지식 부족(1) 양자물리 내용의 특징(2)	3	
8	레이저	실생활 관련 내용 (1)	선행지식 부족(1) 양자물리 내용의 특징(1) 교사 내용지식 부족(1) 관련 활동 불가능(1)	4	
9	태양전지	•	•	3	
10	광센서	•	•	1	
11	양자정보	•	•	•	
12	양자컴퓨터	•	•	1	

위의 응답해주신 '응용사례'의 **내용요소의 수준과 범위**를 개략적으로 작성해주시길 바랍니다.

4. 원자이론

NO.	내용요소	흥미 요인 (응답자수)	어려움 요인 (응답자수)	양자물리 교육에 필요한 내용요소	
				1차 응답 (명)	**포함 여부에 대한 의견**
1	에너지 준위	•	양자물리 내용의 특징(1) 지식 전달 위주의 설명(1)	3	
2	선스펙트럼	•	•	3	
3	에너지띠 이론	효용성을 느낄 수 있는 내용(1)	처음 접하는 내용(1) 양자물리 내용의 특징(3) 매체부족(1) 교사 내용지식 부족(1)	•	
4	고체의 전기전도성	•	•	1	
5	자성체	인지욕구(1) 처음 접하는 내용(1) 매체활용(2) 직접관찰(2)	양자물리 내용의 특징(2) 어려운 내용(2) 지식 전달 위주의 설명(2) 교사 내용지식 부족(1)	1	
6	전자의 스핀 및 궤도 운동	•	선행지식 충돌(1) 처음 접하는 내용(1) 양자물리 내용의 특징(4) 매체부족(1) 지식 전달 위주의 설명(1) 교사 내용지식 부족(1)	1	
7	보어 원자 모델	선행지식(1)	•	3	
8	현대적 원자 모델	선행지식(1)	•	3	
9	원자모형의 발전과정	•	•	•	
10	일차원 모델 또는 포텐셜 우물	•	•	•	
11	전자배열	•	•	•	
12	파울리의 배타원리	•	•	1	
13	원자의 주기율표	•	•	•	
14	양자수	•	•	1	
15	페르미온과 보존	•	•	•	

위의 응답해주신 '원자이론'의 **내용요소의 수준과 범위**를 개략적으로 작성해주시길 바랍니다.

5. 파동함수 또는 수학적 표현

NO.	내용요소	흥미 요인 (응답자수)	어려움 요인 (응답자수)	양자물리 교육에 필요한 내용요소	
				1차 응답 (명)	**포함 여부에 대한 의견**
1	슈뢰딩거 방정식	선행지식(1) 양자물리 내용의 특징(1)	양자물리 내용의 특징(3)	1	
2	파동함수	선행지식(1) 양자물리 내용의 특징(1)	양자물리 내용의 특징(2)	2	
3	입자가 발견될 확률 (보른의 해석)	•	양자물리 내용의 특징(1)	4	
4	중첩원리	•	•	•	
5	일차원 모델 또는 포텐셜 우물	•	•	•	
6	시간변화	•	•	•	
7	확률계산	•	•	•	

위의 응답해주신 '파동함수 또는 수학적 표현'의 **내용요소의 수준과 범위**를 개략적으로 작성해주시길 바랍니다.

6. 양자물리의 철학적 측면

NO.	내용요소	흥미 요인 (응답자수)	어려움 요인 (응답자수)	양자물리 교육에 필요한 내용요소	
				1차 응답 (명)	**포함 여부에 대한 의견**
1	과학자들의 논쟁사례 (슈뢰딩거의 고양이)	양자물리 내용의 특징(1) 맥락설명(1)	•	2	
2	양자물리 이론의 발전과정	•	•	1	
3	양자물리의 확률론적인 해석	•	•	4	
4	양자물리의 철학적·인식론적인 해석	•	•	3	
5	입자파동 이중성	•	•	1	
6	상보성 원리	•	•	1	
7	코펜하겐 해석	•	•	1	
8	고전물리와 양자물리의 차이점	•	•	1	
9	아인슈타인의 EPR역설	•	•	1	
10	사고실험	•	•	•	
11	양자 얽힘	•	•	•	

위의 응답해주신 '양자물리의 철학적 측면'의 **내용요소의 수준과 범위**를 개략적으로 작성해주시길 바랍니다.

감사합니다.

Abstract

Exploring the education contents of high school quantum physics using the delphi method for physics teachers

Kim, Jinha

Physics, Department of Science Education

The Graduate School

Seoul National University

The purpose of this study is to investigate the perception of physics teachers who have teaching and learning experience on quantum physics content and to explore the appropriate quantum physics education content for high school students using the Delphi method. The perception of physics teachers related to quantum physics education was investigated in terms of student learning(student interest and difficulty in learning), content and operation of curriculum. The education contents of quantum physics appropriate for high school students were investigated in terms of the necessity of education, education goals, and elements of education content. in

Physics I and Physics II, respectively. The research participants were 14 teachers who had experience in teaching both Physics I and II in the 2009 revision and Physics I in the 2015 revision. We tried to reach an agreement through three surveys, and in this process, open-ended questions were analyzed using evidence theory, one of the qualitative research methods, and closed questions were analyzed using statistical methods.

The student's interest in quantum physics recognized by the study participants was classified as detailed factors related to student, science subject, and teaching and learning, and difficulties in learning was classified as detailed factors related to student, science subject, teaching, and teacher expertise. In addition, difficulties in terms of the content and operation of the curriculum related to quantum physics were classified into detailed factors related to the selection, organization, level, evaluation of education content, and curriculum operation.

In Physics I, participants in the study responded to the need for quantum physics education as an understanding of the academic and technology achieved by modern society as a member of the future society. The education goals were to understand the characteristics of scientific methods and scientific knowledge through quantum physics education, to recognize the necessity and importance of physics, and to prepare for the future of individual students. As the elements of quantum physics content, key concepts such as particle-wave duality(14), discrete energy levels(14), phenomena such as photoelectric effect(14), de Broglie's matter wave(14), electron diffraction experiment(10), double slit experiment(8), and atomic theory such as line spectrum(12), energy band(12), Bohr's atomic model(10) should be dealt with in the context of scientific

history. Application such as diode(12), LED(11), solar cells(11), and electron microscope(9) should be included at a qualitative level.

In Physics II, participants in the study responded that the necessity of quantum physics education was to help science and engineering students with their career path and advancement. The education goals were to understand the basic concepts and application cases of quantum physics, cultivate scientific capabilities, and foster interest and scientific attitudes in physics. As the elements of quantum physics content, key concepts such as uncertainty principle(14), particle-wave duality(12), phenomenon such as quantum tunnel effect(12), compton effect(10), Davisson-Germer experiment(9), electron diffraction(8), and atomic theory such as atomic orbital model(10) should be included. They responded that in Physics II, unlike Physics I, wave functions and philosophical aspects of quantum physics should be included in the content elements. They responded that the wave function of quantum physics such as the probability of particle discovery(11), wave function(10), Schrödinger equation(8), and the philosophical aspects of quantum physics such as probabilistic interpretation(12), classical and quantum physics differences(10), epistemological interpretation(9), and scientists's controversy(8) should be dealt with in the context of scientific history. There was no consensus on the specific learning level of key concepts and application among the education content elements of quantum physics in Physics II.

The significance of this study is to explore the education contents of quantum physics for high school students based on the experience of teachers who taught quantum physics to high school students. Therefore, it has a limitation that various expert opinions such as subject pedagogy, pedagogy, and subject related to

curriculum development are not reflected. In order to overcome the limitations of this study, follow-up studies targeting various expert groups are needed.

Keywords : Physics teacher, High School Students, Quantum Physics, Education Content, Delphi Research
Student Number : 2020-24180