새 물리교육과정에서 상대성 이론의 교육 방향

DOI: 10.3938/PhiT.21.008

김 성 원

Education for Relativity in the New National Curriculum

Sung-Won KIM

In this article, the validity of adopting the concepts of relativity in the national curriculum is explained with the background of the contemporary educational stream in foreign countries. The levels of content knowledge and the limitations for the special and the general theories of relativity in the curriculum are introduced. Several tips for teaching the concepts of relativity in high school are also suggested.

들어가면서

2009년에 개정되어 고시된 국가 교육과정에서는 고등학교 과학과의 개정이 주로 이루어졌으며 예년의 7차 교육과정이나 2007 개정 교육과정과는 달리 물리 I, 물리 II와 같은 선택 교과를 학년 구분 없이 고등학교 1학년에서도 수업을 할 수 있도록 허용하고 있다. 또한 이전의 공통과학에 해당하는 ‘과학’과를 네 영역의 과학을 혼합한 주제별로 구성하는 특징을 부여하여 소위 ‘융합과학’이라는 별명을 가지도록 하였다.

이와 함께 물리 교과에서도 새로운 방향으로 개정이 이루어졌는데 몇 가지 면에서 이전의 교육과정과 차별화된다고 할 수 있다. 지난 10여 년간 계속 지적되어온 고등학교 학생들의 물리 교과 선택의 기회 문제, 전통적인 교육과정에 대한 물리학계의 지속적인 개편 요구 등의 배경으로 인해 한국물리학회 교육위원회의 추천으로 구성된 교육과정 개정 위원들의 노

력으로 개정이 이루어졌다. 새 교육과정에서 물리 교과의 특징 중 하나는 양자론, 상대론과 같은 현대 물리학의 도입이며, 또 다른 하나는 물리 I과 물리 II 교과목의 특성의 구별이었다. 물리 I은 미래의 직업과 관련 없이 21세기를 살아가야 할 민주시민의 물리 소양을 갖추기 위한 교과로, 물리 II는 이공계 관련 직종으로 진출할 학생들의 물리학적 배경지식을 갖추기 위한 교과로 규정하였다. 그리고 자연계에 일어나는 물리 현상의 현상이 역학, 전자기학, 광학, 현대물리학 등으로 구별되거나 관측되는 것이 아니고 복합적으로 발생하기 때문에, 가능하면 통합적인 방향으로 교육과정을 구성하도록 하였다. 위의 분야 구분은 학자들의 편의나 학문 발달과정에 따라 이루어진 것이기 때문에 미래의 바람직한 ‘융합인재육성’이라는 국가전략의 수립에 적합하지 않다는 판단에 따른 것이다.

그러나 2009 개정 교육과정은 이러한 특징들을 보여주기에 완벽하지도 않고 학생, 교사, 물리학자 등의 모든 구성원을 만족하는 교육과정도 결코 아니다. 이는 미래의 교육과정으로 진화해야 하는 과도기의 교육과정으로서 새로운 시도로 인정되어야 할 것이다.

이 글에서는 우선 교육과정에 기술된 상대론 영역의 특징을 소개하고 다음에는 단원별로 나타나는 상대론과 관련된 지식수준이나 제한점 등을 소개하여 어려움을 겪고 있는 현장 교사들에게 방향을 제시하고자 한다.

2009 개정 교육과정에서 상대론의 특성^[1]

2009 개정 교육과정에서 물리 I 과목의 성격은 ‘물리 I을 배우는 학생들이 미래에 모두 물리학자나 전문 과학인이 되어야 한다고 가정하는 것은 아니지만 과학적 사고를 활용할 수 있는 능력과 창의적 사고능력이 민주주의 사회의 시민으로서 갖추어야 할 소양’으로 규정하고 있다. 그리고 ‘최소한의 현대 물리 내용을 도입함으로써, 학생들이 완전한 이해에 도달하지는 못하더라도 긍정적인 이해는 가능하도록’ 하고 있다.

물리 I의 내용 중 먼저 나타나는 ‘시공간과 우주’ 단원에서

저자약력

김성원 교수는 KAIST 이학박사로서, 미국 Caltech 박사후 연구원을 거쳐 현재 이화여자대학교 과학교육과 교수로 재직 중이며 한국물리학회 물리올림피아드위원회 위원장을 맡고 있다. (sungwon@ewha.ac.kr)

는 “우리가 살고 있는 세상에 대한 거시적 관점을 얻게 하기 위하여, 가장 기본적인 개념인 ‘시간’과 ‘공간’에 대한 현대적인 개념을 이해할 수 있게 제시하고, 이를 바탕으로 그 안에 놓인 물질들의 역학적 상호작용과 우주의 구성 및 진화의 문제를 알 수 있게 한다.”고 기술하고 있다. 이 중 첫 번째 도입되는 중단원인 ‘시간, 공간, 운동’에서는 시간의 측정과 표준, 길이의 측정과 표준, 뉴턴 운동법칙, 운동량과 충격량, 역학적 에너지 보존 법칙을 소개하고 있으며 두 번째 중단원이라 할 ‘시공간의 새로운 이해’에서 중력의 발견을 비롯하여 상대성 이론, 블랙홀과 중력렌즈, 우주모형, 4가지의 상호작용과 기본입자 등과 같이 상대론과 우주론을 소개하고 있다.

특히 ‘특수 상대성 이론’ 단위에서는 ‘빛의 속도일정, 시간지연, 길이수축, 동시성, 질량-에너지 동등성 등 특수 상대성 이론(특수 상대론)의 기본원리에 대해 이해’시키며 구체적으로는 ‘특수 상대론이 나오게 된 역사적인 배경과 함께 마이컬슨-몰리 실험 소개, 빛의 속도 일정법칙 등 특수 상대론의 기본가설 이해, 공간의 상대성과 시간의 상대성 도입, 특수 상대론에서 나타나는 현상인 시간지연(시간 팽창), 길이수축, 동시성, 질량-에너지 동등성 소개 및 이를 뒷받침하는 관측이나 실험의 예 제시’로 구성하고 있다.

다음에 ‘일반 상대성 이론’ 단위에서는 가속좌표계의 관성력을 중력으로 해석할 수 있는 등가원리 등 일반 상대론의 기본 원리들을 이해하게 하며, 일반 상대론의 증거로 수성의 세차운동, 빛의 굽어짐, 중력과 등을 소개한다. 또 중력이 클 경우 나타날 블랙홀에 대해서 먼저 항성의 질량이 크면 중력이 강해서 시공간이 굽어지고 무거운 별의 경우 주위를 지나가는 빛은 모두 휘게 되어 상이 여러 개 생기는 중력렌즈 현상을 정성적으로 이해하게 한다. 별의 일생에서 블랙홀이 형성될 수 있음과 블랙홀의 특징을 알게 한다.

또한 일반 상대론으로부터 빅뱅 우주 모형이 가능함을 정성적으로 이해하게 한다. 빅뱅 우주론을 지지하는 관측결과들을 소개하고, 과거의 우주론과 빅뱅 우주론이 다른 점을 알게 한다.

끝으로 자연계의 4가지의 기본 힘인 중력, 전자기력, 강력, 약력 그리고 이들이 나타나는 예와 특성을 알게 한다. 기본 힘에 관련된 매개입자들과 쿼크, 렙톤을 바탕으로 한 표준모형을 소개한다.

상대성 이론의 교육적 의의와 교육 방향

2009 개정 교육과정의 고교 물리 교과에서 특별히 두드러진 점은 20세기 물리학의 진보의 단초가 되었던 상대론과 양자론을 도입하게 된 것이다. 이에 대한 반대의 여론도 만만치 않았지만, 개정 위원들은 21세기에 글로벌 시민으로 살아갈 학생들에게 과학소양으로서 갖추어야 할 물리학의 지식으로 판단하여 100여 년 전에 인류에게 소개된 물리학의 이론들을

도입한 것이다. 최근 국제 물리교육학회에 참여할 때마다 관련된 연구 발표나 참여자들과의 대화에서 미국이나 유럽의 물리교육계도 우리와 마찬가지로 상대론과 양자론을 고교 교육과정에 도입해야 하는 운동을 진행하고 있음을 보면 우리가 가는 길이 잘못된 것은 아니라는 생각이 든다.

상대론이 가지고 있는 가치는 아인슈타인이 지녔던 시공간에 대한 새로운 통찰력과 그 이후에 많은 물리학자들이 이의 발전을 위하여 개념들을 발전시키고 정련시키는 과정 중에서 나타난다. 또한 20세기 후반부터 21세기에 이르기까지 상대성 이론이 현대 과학기술에 끼친 영향은 지대하므로 학생들이 반드시 알아야 할 과학 소양 중의 하나라고 할 수 있다. 따라서 상대론은 미래의 시민으로 살아가야 할 학생들이 지녀야 할 필수 개념이며 중요한 의사결정에서 판단에 큰 역할을 담당할 현대 물리 지식임은 분명하다.

고교 교육과정에서 상대론을 도입하는 방법으로 일반물리학에서 소개하는 전통적인 방법을 활용하도록 하였다. 먼저 에테르에 대한 역사적 논의와 마이컬슨-몰리의 실험을 바탕으로 매질이 없이 전파하는 빛의 성질에 대한 해석과 빛의 속도의 관찰자 불변성을 소개한다. 이후 특수 상대론의 두 가설과 함께 고전물리학과 다르게 나타나는 여러 현상들을 소개하는 형식을 갖춘다. 물론 다른 방법론의 접근법을 고려할 수도 있지만 그러한 경우 대학에서 유사하게 교육을 받은 교사들이 고등학생들을 지도하는 데 상당히 곤란을 겪을 것이라는 판단이 들어 전통적인 방법을 고수하였다.

상대론으로 인해 나타난 새로운 시공간적 현상, 즉, 길이수축, 시간팽창 등을 소개하여 고전물리학과 특별하게 차별화되는 점들을 강조하도록 하였다. 이때 학생들이 이해하기 어려운 로렌츠 변환의 도입을 생략한다. 관성계를 도입할 수도 있으나 등속으로 상대 운동하는 두 관찰자 사이의 길이나 시간측정으로부터 공간과 시간의 상대성을 소개하는 편이 쉽다. 아울러 속도가 위치의 변화 나누기 시간의 변화이므로, 시간과 공간의 상대성으로부터 빛의 속도 불변성이 가능함을 정성적으로 이해시킬 수도 있다. 시간 팽창에 대한 사례로 쌍둥이 역설을 소개할 수 있으나 학생들이 어려워 할 수 있으므로 생략하거나 간단한 현상을 설명하는 형태로 익힌다. 동시성에 대한 부분은 예를 들어 설명할 수 있으며 정지 관찰자와 등속 이동 관찰들 사이에 동시 개념이 다를 수 있음을 이해시키는 수준에서 도입한다.

로렌츠 변환을 소개하지 않기 때문에 상대론적인 운동량, 에너지, 운동 법칙 등과 같은 동역학 부분은 생략할 수밖에 없는 한계를 가지고 있다. 다만 정지질량에너지와 에너지-질량 동등성($E=mc^2$)을 도입하여 그로 인한 여러 인류에의 영향(핵에너지 등)들을 소개하고 그 가치를 인식시킬 수 있다.

다음에 일반 상대성 이론의 경우에는 특수 상대성 이론처럼 두 가지 가설을 중심으로 시작할 수 있다. 관성력과 중력의 등가

Fig. 1. The curved spaces around various stars in two-dimensional surface: (a) normal star (b) neutron star (c) black hole.

의 원리를 이해시키기 위하여 보통 ‘아인슈타인의 엘리베이터’를 도입하지만 빛의 궤적으로 가속계와 중력계가 동등함을 이해시킬 수 있다. 또 하나는 물체의 중력으로 인하여 주위의 시공간이 굽어짐을 소개한다. 이 개념은 쉽지 않으나 시공간과 중력에 대한 새로운 이해라고 소개할 수 있다. 만유인력은 수백 년 동안 활용된 뉴턴이 해석한 중력이론이며 일반 상대성 이론은 아인슈타인의 중력이론이다. 뉴턴은 관성운동을 자연운동으로 원운동을 강제운동으로 해석하였으나 아인슈타인은 중력에 의한 측지선 운동을 자연운동으로 해석하였다. 아인슈타인은 중력을 힘보다도 시공간의 굴곡으로 간주하기 때문이다. 따라서 중력에 의한 물체의 운동을 그저 굽어진 시공간의 측지선을 따라 움직이는 물체의 운동으로 이해시키도록 한다.

일반 상대론의 증거로 수성의 세차운동의 보정, 태양 주위의 빛의 굴곡으로 인한 별자리 이동, GPS 시각 보정 등을 들 수 있다. 이는 모두 시공간의 굽어짐으로부터 나타난 현상으로 볼 수 있다. 그리고 일반 상대론이 강하게 나타나는 예로 블랙홀을 도입한다. 이는 학생들에게 매우 친숙하기 때문에 충분히 호기심을 유발시킬 소재이다. 블랙홀을 소개하기 전에 중력이 강한 천체 현상으로 중력렌즈를 도입할 때 NASA 홈페이지에서 쉽게 구할 수 있는 천체 사진들을 사용하면 도움이 많이 된다. 특별히 광학에서 소개되는 렌즈의 결상 부분을 적용하면 학생들이 훨씬 쉽게 중력렌즈를 이해하게 된다.

블랙홀에 대해서는 대부분의 자료에서 중력에 의해 공간이 굽어진 2차원 면을 활용하여 보여주고 있는데 빛이 빠져나오지 못함을 이해시켜 주면 도움이 될 것이다.(그림 1 참조) 참고로 학생들의 호기심을 돋워주기 위하여 블랙홀 주위에서 빛의 경로나 블랙홀로 여행할 때의 중력현상 등을 자료로 제시해 줄 수 있다. 이와 관련된 다양한 동영상 자료를 통하여 학생들에게 소개할 수 있다.

우주론의 경우에는 일반 상대론을 통하여 그 변천사를 소개할 수 있다. 고전 우주 모형들을 소개할 수도 있고 현대 우주 모형들을 소개한다. 일반적으로 상대론으로는 대폭발(빅뱅) 모형을 도입하는데 그 이후 발전된 이론인 급팽창 우주(인플레이션), 가속 팽창 우주 모형 등을 소개하면서 2011년도의

노벨 물리학상 수상자의 업적도 제시할 수도 있다.^[2]

끝으로 네 가지 기본 힘들에 대해서는 그 특성들을 간단히 소개하면서 기본 입자들에 대한 표준 모형을 도입하되 자세한 특성보다는 물질을 이루는 기본 입자인 쿼크와 렙톤의 종류들과 기본 힘들의 매개 입자들의 이름 정도를 도입하는 수준에서 다룬다.

마무리

이 글에서 고등학교에서 교사들이 학생들에게 상대론 교육 방향과 관련된 교육과정 상의 제안점을 간단히 소개하였다. 물론 상대성 이론을 소개하는 데 있어서 이 글에서 미처 말하지 못한 다양한 방법을 활용할 수도 있다. 시공간 그림을 활용하는 것도 좋은 접근법 중의 하나이다.^[3] 일반적으로 시공간 그림은 위치-시간 그래프의 가로와 세로를 바꾼 것으로 이해할 수 있다. 이를 통하여 기하학적인 접근을 통하여 정지한 경우와 등속운동의 경우의 시공간 그림으로부터 출발하여 동시성, 길이 수축, 시간 팽창 등을 정성적이나 정량적으로 이해시킬 수 있다. 참고로 호주의 호주국립대학교(Australian National University)의 물리학과에서 개발한 ‘Real Time Relativity’는 특수 상대성 이론을 교육시키기 위하여 가상의 상대론적 세상을 상호작용으로 경험하도록 해주는 컴퓨터 프로그램이다.^[4]

그러나 고등학교 상대론 학습에서는 이론의 어려운 점을 부각시키는 것이 아니라 새롭게 세상을 이해하고 해석할 수 있음을 보여주고 물리학자들이 하는 연구를 인식하고 가치를 알게 하자는 것이 주목적이다. 아울러 현대의 연구가 입자 가속기인 LHC, 중력과 실험 장치인 LIGO, VIRGO 등의 거대 규모의 실험으로 이루어지며 여기에 일반인들도 참여할 수 있음을 알게 하는 것도 중요하다. 예를 들어 미국의 위스컨신-밀워키 대학과 독일 하노버에 있는 아인슈타인 연구소인 막스 플랑크 중력 물리 연구소가 공동으로 지원하는 Einstein@Home은 자원봉사자들이 자신들의 유휴 컴퓨터를 활용하여 중력과 검출 장치인 미국의 LIGO에서 나오는 데이터를 분석하고자 하는 프로젝트이며, 2011년 9월 현재 221개 국가에서 30여만 명의 자원봉사자들이 참여하고 있는 것으로 보고되고 있다.^[5]

REFERENCES

- [1] Ministry of Education, Science and Technology, Commentary of National Curriculum for High School Science (2010).
- [2] <http://www.nobelprize.org/>.
- [3] Sung-Won Kim, J. of Korea Society for School Science **5**, 65 (2011).
- [4] C. M. Savage, A. Searle and L. McCalman, American Journal of Physics, **75**, 791 (2007).
- [5] <http://einstein.phys.uwm.edu/>.