조순탁 박사의 첫 논문에 대한 코멘터리

DOI: 10.3938/PhiT.20.048

김두철·박 권

새물리 창간 50돌을 진심으로 축하합니다.

1962년 6월 “새물리” 제2권 1호에 게재된 「磁場下에 있는 金屬電子」에 관한 일화와 소감을 적어본다.

새물리는 1961년 창간되었지만 창간호는 해설 및 연구동향을 실었으므로 다음 호로서 1962년 12월에 나온 제2권 1호가 실질적으로 우리나라 물리학의 첫 논문집이라 할 수 있다. 이 새물리 제2권 제1호의 첫 논문이 당시 서울대학교 물리학과에 교수로 재직 중이던 조순탁 박사가 단독 저자로 집필한 “자장하에 있는 금속전자”라는 제목의 5쪽 길이 논문이다.

이 논문의 내용과 의의를 알아보기 전에 조순탁 박사의 약력과 논문을 쓸 당시의 배경을 알아보는 것이 유익할 것이다. 조순탁 박사는 1925년생으로서 교토대학교 이학부 물리학과에 재학 중에 해방을 맞아 귀국하였으며, 1947년 서울대학교 문리과대학 물리학과를 1회로 졸업하였다. 그 후 서울대학교에서 조교, 전임강사, 조교수로 재직을 하다가 조교수이던 1955년 3월 미국 미시간대학교로 유학을 떠나 3년 만에 박사학위를 마치고 1958년에 귀국하였다. 유학 중 통계물리학을 전공한 조순탁 박사는 우리나라에 최초로 통계물리학을 소개하였으며 통계물리학이 꽃피는 밑거름을 마련하였다.

조순탁 박사의 미시간대학에서의 지도교수는 구드스미트(S. A. Goudsmit)와 함께 전자의 스핀을 발견한 울렌벡(G. E. Uhlenbeck) 교수였다. 울렌벡은 네델란드 라이덴대학교에서 에렌페스트(P. Ehrenfest)의 제자였고 에렌페스트는 볼츠만의 제자였으므로 우리나라 통계물리학의 뿌리는 통계물리학의 창시자 중 하나인 볼츠만으로 거슬러 올라간다고 할 수 있다. 학위논문인 “The kinetic theory of phenomena in dense gases”는 희박한 기체에 적용되는 볼츠만방정식을 일반화하기 위해서 원자 사이의 이중 충돌 외에 밀도가 큰 기체에서 일어나는 삼중 충돌 효과를 포함함으로써 차후 분자운동론에서 중요한 역할을 하는 “고리충돌(ring collision)”의 개념을 정립하게 되는 논문이다. 이 학위 논문은 비록 정규 물리학

저자약력

김두철 교수는 1974년 미국 존스홉킨스대학교 전기공학대에서 박사학위를 받고 미국 뉴욕대와 호주 멜버른대에서 연구원을 지낸 후 1977년부터 서울대학교 물리천문학부에서 2010년까지 교수로 재직하였고 현재는 고등과학원 원장 겸 계산과학부 교수직을 맡고 있다. 한국물리학회에서는 논문상(1987) 학술상(1998)을 받았다. 1999년부터 한국과학기술한림원 정회원이며 2010년부터 이학부장을 맡고 있다. 학술협의회 이사, 아태이론물리센터 상임이사, IUPAP STATPHYS25 (2013년) 조직위원장으로 활동 중이다. (dkim@kias.re.kr)

박권 교수는 뉴욕 주립대 스토니브룩에서 J. K. Jain 교수의 지도 아래 분수 양자 홀 효과에 대한 합성 페르미온 이론(Composite fermion theory)에 관한 연구로 박사(1995–2000) 학위를 취득하였다. 박사 학위 후에는 예일대학교(2000–2002)와 메릴랜드 주립대(2002–2005)에서 박사후 연구원으로 고온 초전도체와 양자 자성체와 같은 다양한 강상관계 전자계에 대한 연구를 수행하였다. 이후 고등과학원 조교수(2005–2008)를 거쳐, 현재 고등과학원에서 교수로 재직 중이다. (kpark@kias.re.kr)

고 조순탁 박사 1925~1996

1937 서울 교동공립 보통학교 졸업
 1942 경기 공립중학교를 졸업
 1947 서울대학교 문리과대학 물리학과
 이학사 (Physics)
 1949 서울대학교 대학원 물리학과
 이학석사 (Physics)
 1958 미국 미시간대학교 Ph.D. (Physics)
 1949~64 서울대학교 문리과대학 물리학과
 전임강사, 조교수, 부교수, 정교수

1952~96 한국물리학회 창립 발기인, 회원, 평의원, 부회장, 회장
 1964~74 서강대학교 물리학과 교수,
 1973~81 한국원자력연구소 이사, 부이사장
 1974~80 한국과학기술원(KAIST) 원장
 1980~83 한국과학기술원(KAIST) 교수
 1981~96 대한민국 학술원 정회원
 1983~90 한양대학교 물리학과 교수, 교육대학원 원장
 1995~96 한국과학기술 한림원 원로회원

저널에 출판되지는 않았지만, 여기서 도출된 결과는 조-울렌 벡(Choh-Uhlenbeck) 방정식으로 알려져 고급 통계물리학 교과서에 많이 인용되고 있다.

조순탁 박사는 1958년 귀국 후 서울대학교 문리대 물리학과에서 강의를 하는 한편 1959년 4월부터 1961년 7월까지 2년간은 교무부처장을, 1962년 6월부터 서강대학교로 옮겨 가는 1964년 8월까지 문리과대학 이학부장 등의 행정보직을 맡았다. 이렇게 강의와 행정으로 바쁜 와중에도 조순탁 박사는 1961년의 새물리 창간호에 해설, 학계동향 등 3편의 글을 쓰고 여기서 논의하는 새물리 제2권 1호 논문 외에 새물리 제2권 2호에도 “양자기체에 관한 kinetic theory”라는 논문을 게재하는 등 왕성한 연구 활동을 보였다.

이제 본 논문 “자장하에 있는 금속전자”의 내용을 알아보자. 이 논문의 주요 목적은 전자가 금속 내에서 자유롭게 움직인다는 가정 하에 파울리(Pauli)가 세운 스핀 상자성(paramagnetism)의 이론을 일반화하여 전자가 고체 격자를 이루는 원자들과 상호작용을 할 때 전자의 분포함수가 어떻게 바뀌는지를 고찰하는 것이다. 금속 내에서의 전자를 밴드이론에 기반을 둔 자유전자로 취급하고 여기에 자기장이 걸린 상황을 고려하면 요즈음 대학원 고체 및 통계물리 과목에서 다루는 파울리상자성 문제가 된다. 파울리상자성 이론은 가장 단순한 형태의 자성체 이론으로 외부 자기장이 전자의 스핀과 지만(Zeeman) 커플링을 통해서만 상호작용을 한다고 가정하는 것으로부터 출발한다. 이런 상황에서 자기회전비율(gyromagnetic ratio)이 양수라고 가정하면 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 정렬하는 스핀은 에너지가 낮아지게 되고 반대 방향의 스핀은 에너지가 높아지게 된다. 같은 방향과

반대 방향 스핀의 에너지 차이는 외부 자기장이 커질수록 증가하므로 다른 스핀을 가지는 전자들의 개수 차이도 같이 증가하여 자화도(magnetization)가 외부 자기장의 함수로 점점 커질 것을 예상할 수 있다. 실제로 이 계에 대하여 대정준앙상블(grandcanonical ensemble)을 사용한 통계역학적 계산을 해보면 블로흐 파수 $\vec{k}$ 와 스핀 σ 로 규정짓는 각 준위 $(\vec{k}, \sigma)$ 의 평균 차지수(mean occupation number, $\langle a_{\vec{k}\sigma}^* a_{\vec{k}\sigma} \rangle$)가 페르미-디랙(Fermi-Dirac) 분포로 표현된다는 것을 알 수 있다. 고체 응용에 있어 화학퍼텐셜은 페르미에너지로 근사될 수 있으므로 자유에너지를 자기장으로 미분하여 얻는 자기감수율(susceptibility)은 페르미에너지에서의 상태밀도(density of state)로 표현된다는 것이 파울리상자성 이론이다.

조순탁 박사는 이 논문에서 “전자가 블로흐 파동으로 기술되는 자유전자가 아니라 금속 내부에서 격자를 이루는 원자들과 상호작용을 하면 어떻게 될까?”라는 질문을 던진다. 즉 “원자가 전자 시스템의 자기적 성질에 미치는 가장 중요한 효과가 무엇일까”라는 질문을 할 수 있는데, 이 질문에 대한 답으로 조순탁 박사는 원자핵 스핀과 전자 스핀 사이의 초미세결합(hyperfine coupling)을 고려하였다. 초미세결합의 세기는 일반적으로 원자핵과 전자 사이의 거리에 의존하게 되는데, 논문에서는 특히 델타 함수로 나타내어지는 접촉 상호작용(contact interaction)을 가정한다. 당시 60년대 초반에는 핵자기공명(Nuclear Magnetic Resonance, NMR)이 활발히 연구되던 시기였는데 이것이 연구주제에 영향을 미친 것으로 추측이 된다.

논문에서는 이 상호작용을 아주 간단한 형태로 가정하였는데 저자는 이의 물리적 근거를 찾기보다는 수식적으로 간단하게 하여 계산을 함으로써 상호작용의 효과를 보고자 하였다. 스스로는 “어떠한 구체적인 문제를 다루는 것보다도 전체적인 성격을 알고” 싶어서 그렇게 단순화를 하였다고 논문에 표현하였다. 그렇다고 하여도 상호작용을 하는 시스템의 성질을 정확하게 풀어내는 것은 조순탁 박사가 연구하던 시절이나 지금이나 불가능해서 섭동이론(perturbation theory)을 이용하는 수밖에 없다. 이를 위해 조순탁 박사는 그린 함수(Green's function)를 시간 의존적 섭동이론을 써서 전개한 후 트레이스(trace)를 취해 대정준분배함수(grandcanonical partition function)를 구하는 전략을 취한다. 현재 기준으로 보았을 때 위 방식은 너무 자연스러워 어찌 보면 가장 기초적인 방법이라고도 볼 수 있다. 하지만 논문의 저술 시기가 60년대 초이고, 겔만(Gell-mann)-브룩크너(Brueckner)와 같은 연구자들이 무작위 위상 근사(Random Phase Approximation, RPA) 방법을 이용한 섭동이론을 써서 전자 시스템에서의 전자 간 상호작용 효과를 본격적으로 공격하기 시작한 시점이

50년대 후반임을 감안한다면, 이런 수준의 문제 제기와 기술적 접근 방식이 당시의 첨단 연구 활동에 얼마나 근접했는지 판단할 수 있다. 다만, 다체계에서의 섭동이론은 보통 소수의 입자를 다루는 양자역학적 섭동이론에서 나타나지 않는 여러 특이성을 가지고 있다. 특히 섭동항의 효과를 임의의 차수(order)에서 끊어서 계산하는 방식에는 표면적으로 쉽게 보이지 않지만 많은 위험성이 내포되어 있다는 것이 알려져 있다. 다시 말하면 섭동항의 효과가 차수의 다항식으로 전개되는 것이 아니라 좀 더 복잡한 함수로 전개될 가능성이 항상 존재하는데 이에 대한 각별한 주의가 필요하다. 실제로 앞서 언급된 RPA 방법은 섭동항의 차수를 무한대까지 고려하는 방법이다. 불행히도 본 논문에서 최종적으로 수행된 계산 결과들은 섭동항의 차수를 구체적인 이론적 증명 없이 2차 항에서 끊어서 얻어졌는데, 이것이 본 논문의 한계가 아닌가라고 판단된다.

이 2차 섭동이론으로부터 평균 차지수를 영차항(zeroth order)인 페르미-디랙 분포함수와 2차 섭동항으로부터 나오는 다소 복잡한 표현의 합으로 표현하였다. 이로부터 섭동에 의하여 페르미-디랙 분포가 유지되지 않음을 보고 “어떻게 하여도 Fermi-Dirac 분포형으로 모여 쓰이지 않는다”는 결론을 내리고 같은 방향 스핀 분포와 반대 방향 스핀 분포 사이에 어떤 대칭성이 있어 보이지만 복잡하여 “간단히 물리적으로 파악할 수 없다”는 코멘트로 논문을 맺고 있다.

당연한 말 같지만 다전자계 내에 존재하는 전자들은 서로 복잡한 상호작용을 한다. 하지만 근사적이든 엄밀한 수준이든 복잡하게 상호작용을 하는 전자들이 많은 물리적 상황에서 자신들끼리 약하게 상호작용하는 새롭게 “옷 입혀진(dressed)” 준입자(quasi-particle)들로 변환된다는 것이 알려져 있다. 사실 약하게 상호작용하는 준입자의 존재를 찾았다는 것은 그

자체가 계를 대각화했다는 것을 의미하는데, 이는 다시 보면 준입자들의 차지수 분포가 페르미-디랙 분포로 표현될 것이라는 것을 의미한다. 이런 관점에서 보면 조순탁 박사가 여기서 시도했던 것은 상호작용하는 계를 대각화하려는 시도로 볼 수 있으며, 결론을 부정적으로 맺기는 했으나 상호작용 계를 엄밀하게 다루어 보겠다는 시도는 높이 살만하다.

이상이 조순탁 박사의 국내 첫 논문이자 새물리 첫 논문의 내용이다. 이 논문은 서울대학교 재직 중 쓰인 논문이지만 그 후에도 조순탁 박사는 당시 우리나라의 척박한 연구 환경에도 불구하고 우리나라 학술 연구에 있어 선구자적인 역할을 했다. 특히 조순탁 박사가 서강대학교로 옮겨간 후인 1970년 봄경부터 서울대학교의 이구철, 고려대학교의 강우형 등을 불러 모아 자생적으로 형성한 “통계물리학 수요세미나”를 운영한 것은 우리나라 통계물리 학풍의 틀을 잡고 연구의 씨앗을 뿌린 것으로 평가된다. 조순탁 박사가 1974년 한국과학원(KAIS) 원장으로 부임한 이후로는 홍릉 과학단지 내 원장실에서 모임이 이어졌는데 과중한 행정업무에도 불구하고 매번 거르는 일이 없었다고 한다. 그 후 모임은 통계물리 연구자가 증가함에 따라 우리나라 모든 통계물리 연구자가 모이는 “통계물리 월례회”의 형태로 발전하여 한국과학원, 고려대학교, 대우재단 등으로 장소를 옮겨가며 계속되었다. 한양대학교에 계실 때는 물론이고 정년퇴임한 후에도 조순탁 박사는 월례회에 빠짐없이 참석함으로써 학구적인 자세를 몸소 실천하여 후학들에게 귀감이 되었다. 이 월례회 전통은 지금도 조순탁 박사가 계시던 홍릉의 고등과학원(KIAS)에서 이어지고 있으며 우리나라 통계물리학 연구 활동의 중심점을 형성하고 있다. 마지막으로 조순탁 박사는 “과학기술인 명예의 전당”에 물리학자로서는 이휘소 박사와 함께 단 두 명 중의 한 분으로 헌정되어 있다.