물리와 그 딸들

DOI: 10.3938/PhiT.21.027

이 관 수

Physics and Her Daughters

Kwan Soo LEE

This essay briefly examines the relations between physics and various engineering disciplines and industries that originated from physics. As Dirac once implied, the fundamental fascinates physicists. However, many technologies contributed to or originated from physics. Industrial know-hows on steam engines were critical to early thermodynamics. Telegraphy and much of electrical and electronic engineering splintered off from physics. Computer and nuclear engineering were invented and nurtured by physicists and acquired independence from physics. Solid-state physics might have bent to the same fate, except that early proponents of solid-state physics and the physics community at large strived to prevent such a splintering. This essay suggests that such an intentional effort might be critical for the physics community in coming years.

전설에 따르면 디랙(Paul Dirac, 1902-1984)은 상대론적 슈뢰딩거 방정식을 유도한 다음에 “나머지는, 화학이다”라고 말했다고 한다. 화학에 대한 물리학자들의 묘한 감정을 표현한 것으로 알려진 이 구절은, 아쉽게도 디랙의 논문들에서는 찾을 수 없다. 하지만 그는 분명히 “물리의 상당 부분과 화학의 전부에 대한 수학 이론”의 밑바탕이 완전히 밝혀졌다고

저자약력

이관수 교수는 2002년 서울대학교 과학사및과학철학 협동과정에서 초창기 몬테칼로방법의 역사 연구로 박사학위를 취득 후 가톨릭대학교를 거쳐 동국대학교 교양교육원에서 강의교수로 재직 중으로, 최근에는 20세기 초까지의 미국 엔지니어들의 역사를 연구 중이다.
(ksleeyz@gmail.com)

선언했었고, 실용적인 근사 계산법이 필요하다고 하면서도 정작 그 자신은 그런 계산법 개발에 그다지 노력을 기울이지 않았다.^[1]

디랙의 언명은 계산 기술의 실용적 중요성을 강조한 예언으로 읽을 수도 있지만, 다른 한편으로는 20세기 후반의 물리학자들이 품었던 “근본적인 것”에 대한 이중적인 감정에 대한 함축적 표현으로 여길 수 있기도 하다. 특히나 그의 언명이 전설로 내려오는 방식이 그러하다. 개인적인 경험이지만, 2학년 양자역학 시간에 “나머지는, 화학이다” 이야기를 들었을 때, 우월감과 두려움이 범벅이 된 경이감을 느꼈던 기억이 난다. 다른 나라의 물리학 전공자들에게서도 비슷한 이야기를 여러 번 들었으니, 꽤나 널리 공유한 정서임에는 틀림없다. 이 점에서 물리학이 사제적 학문이라는 버트하임의 지적을 아예 부정하기는 힘들다.^[2] 아무래도 화학과 화학공학의 관계나 생물학과 농학, 의학 사이의 관계보다는 물리와 물리에서 뻗어난 분야들과의 관계가 소원하다. 그런데 언제부터 그랬을까?

물리학의 탄생기: 들어온 열역학과 떠나간 전기 기술

현대인이 알고 있는 분과학문으로서의 물리학은 19세기 전

REFERENCES

- [1] Paul Dirac, Proceedings of the Royal Society of London, Series A **123**(792), 714 (1929).
- [2] Margaret Wertheim, *Pythagoras's Trousers: God, Physics, and the Gender War* (Norton, 1997).
- [3] Once regarded as a branch of mixed mathematics, mechanics was separated from mathematics and combined with calorifics, optics, electricity, magnetism which were separated branches of experimental natural philosophy during the early half of the 19th century. This "mechanization" is analyzed by Peter Harman, *Energy, Force and Matter: The Conceptual Development of Nineteenth-Century Physics* (Cambridge University Press, 1982).

반에 형성되었고, 19세기 중엽에는 에너지와 엔트로피 개념이 출현하였다.^[3] 흥미로운 점은 이 두 개념을 낳은 열역학이 실은 기술, 증기기관에 대한 관심에 크게 힘입었다는 점이다. 이는 당시에 증기기관에 대한 관심이 전반적으로 높았기 때문만은 아니다. 미시적으로도 와트-볼튼 증기기관회사의 의도치 않은 기여가 컸다. 와트회사는 증기기관의 정상작동 여부를 확인하기 위해 실린더에 압력계를 달아 자동으로 P-V 그래프를 그리는 장치인 “인디케이터”를 몰래 만들어 썼다. P-V 그래프가 매끄럽고 예쁘게 그려지면 정상작동이고 그렇지 않으면 문제가 생긴 것으로 진단하는 초보적인 방법이었다.^[4] 비밀로 유지했던 이 그래프의 해독법이 러시아에서 파견 나왔던 프랑스 엔지니어 클라페이롱(Benoît P. É. Clapeyron, 1799-1864)에게 누설되었고, 클라페이롱은 P-V 그래프를 이용하여 잊혀진 사디 카르노(S. Carnot, 1796-1832)의 열기관이론을 재구성하여 1834년에 발표하였다. 이 논문이 열기관에 대한 연구가 본격적으로 역학화되기 시작한 계기였다. 그 과정을 주도한 윌리엄 톰슨, 헤르만 헬름홀츠, 루돌프 클라우지우스 손에서 에너지와 엔트로피는 물리학의 핵심 개념으로 자리 잡았다. 또한 이들을 비롯한 당시의 물리학자들은 증기기관을 중요한 연구대상으로 때로는 논점을 밝히기 위한 사례로 즐겨 사용하였다. 기술에 대한 관심을 적극적으로 물리학 핵심영역으로 들여왔던 것이다.

반면에 거의 같은 시기에 발생한 최초의 전기 기술, 즉 전신은 반대의 길을 걸었다. 1830년대에 패러데이의 전자기 연구에 자극받아 미국의 조셉 헨리(Joseph Henry, 1797-1878)와 영국의 찰스 휘트스톤(C. Wheatstone, 1802-1875)은 일련의 전자석 실험을 진행하였다. 여기서 발생한 전신 기술은 곧 발명이 겹 산업가들의 손으로 넘어갔다. 순수과학의 이상에 질게 몰들었던 헨리는 그의 조언으로 발명을 완성한 모스(Samuel Morse, 1791-1872)와 거리를 두었고, 휘트스톤은 물리학자라기보다는 여러 회사에 참여하는 발명가로 변신하였다. 독일에서도 비슷한 일이 발행하였다. 1840년대 중반 베를린 물리학회의 촉망받은 젊은 참가자였던 베르너 지멘스(Werner Siemens, 1816-1892)는 물리학 연구를 접고 전신 사업을 차려 거대기업으로 길러냈다. 그는 평생에 걸쳐 헬름홀츠와 독일 물리학계의 친구이자 후원자로 남았지만 어디까지나 후원자였지 스스로를 물리학자로 여기지는 않았다.

19세기 후반부터 20세기 초에 걸친 전기전자 분야에서도 같은 일이 벌어졌다. 에디슨, 테슬라, 벨, 마르코니와 같은 발명가들과 헤르츠, 올리버 로지(Oliver Lodge, 1851-1940) 등 물리학자들의 간극은 넓었다. 물리학 전공자로서 교류 전기공학 체계를 정립한 찰스 스타인메츠(Charles Steinmetz, 1865-1923)는 전기공학의 아버지로 기억된다. 헤비사이드

(Oliver Heaviside, 1850-1920)만큼은 유일하게 전기회로 문제에서 물리학을 읽어내었지만, 독학으로 공부해서 젊어 한때만 직장을 가졌던 은둔자가 전기공학계와 물리학계를 가깝게 만들기란 기대할 수 없는 일이었다.

물리학의 청년기:

떠나간 컴퓨터, 떠나지 않은 고체물리학

20세기에 들어와서도 물리학계에서 여러 분야들이 떨어져 나가는 일이 계속되었다. 한 양상은 특정 분야의 연구자들과 기구제작자들이 결합하여 별도의 학회와 커뮤니티를 구성하는 것이었다. 2차대전 이전의 미국으로만 한정해도 광학(OSA, 1916), 음향학(ASA, 1929), 유변학(SoR, 1929) 등이 그러했다. 그래도 이들은 물리학계 주류와 완전히 분리되지는 않아서 대공황을 맞아 지출절약 등을 위해 미국물리학회(APS, 1899)와 함께 미국물리학회(AIP, 1931)를 결성할 정도였다.

19세기에 역학과 함께 묶였던 분야들이 물리학계 주류와 “따로 또 같이” 정도로 관계를 맺었다면, 대중적으로 물리학의 힘을 표상하는 대표로 여겨졌던 원자폭탄 덕분에 생겨난 컴퓨터와 핵공학은 별도의 분야로 떨어져 나갔다.

컴퓨터의 발명자로 거론되는 독일의 콘라드 추제(Konrad Zuse, 1910-1995), 미국의 아이오와 주립대학의 존 아타나소프(J. V. Atanasoff, 1903-1995), 하버드대학의 하워드 아이켄(Howard Aiken, 1900-1973) 그리고 ENIAC으로 유명한 모클리(John W. Mauchly, 1907-1980)와 에커트(J. P. Eckert 1919-1995) 등은, 레이더 엔지니어였던 에커트를 제외하고는 모두 물리학계나 그 주변의 인물이었다.^[5] 아타나소프는 헬륨의 유전율을 계산해서 위스컨신대학에서, 아이켄은 진공관 연구로 하버드대학에서, 모클리는 존스홉킨스대학에서 분자분광학으로 물리학 박사학위를 받은 사람들이었다. 박사 과정을 밟지 않은 추제는 항공역학 엔지니어였는데, 당시 항공역학은 프란틀(Ludwig Prandtl, 1875-1953)을 통해 물리학에서 분리된 지 얼마 안 되는 젊은 분야였다. 프란틀의 학위지도교수는 뢰플(August Föppl, 1854-1924)인데, 뢰플의 맥스웰 전자기학 교과서를 공부한 가장 유명한 물리학 전공자가 아인슈타인이다.^[6]

추제부터 모클리와 에커트까지의 초기 프로젝트들은 모두

REFERENCES

- [4] R. L. Hills, A. J. Pacey, Technology and Culture **13**(1), 25 (1972); Laura Tilling, The British Journal for the History of Science **8**, 193 (1975).
- [5] LEE Kwan Soo, Physics & High Technology **8**(10), 2 (1999).

연립편미분방정식의 수치해를 구하려는 작은 규모의 것으로서 물리학 실험실 전통에서 나왔다. 애버딘의 미 육군 탄도학 연구실험소 측의 승인과 예산지원으로 진행된 ENIAC 프로젝트가 가장 규모가 컸는데, 처음 책정된 예산 15만 달러는 한 대령이 전결하는 규모에 불과한 것이었고, 1944년 여름에는 외부의 관심을 받지 못해 중단이 논의되던, 시작은 되었지만, 장래는 불투명한 전쟁 프로젝트의 하나에 불과하였다.

ENIAC 프로젝트가 살아난 것은 로스 알라모스를 드나들던 노이만이 우연히 애버딘 측 참가자인 골드스타인(Herman Goldstein, 1913-2004)에게 이야기를 들은 이후였다. 노이만은 ENIAC 같은 계산기만이 로스알라모스의 계산수요를 감당할 수 있다고 강조하였다.

전후에 ENIAC을 완성한 에커트와 모클리, 그리고 노이만이 특별히 초빙했던 외부 전문가 또한 물리학자인 영국의 더글러스 하트리(Douglas R. Hartree, 1897-1958)였다. 하트리-포크 근사법으로 기억되는 하트리는 일찍이 디랙이 언급했던 실용적인 근사 계산법 개발과 계산에 주력하였다. 그는 1930년대 내내 탁상용 계산기를 이용하여 수치계산을 덕분에 당시 편미분방정식 수치풀이의 최고 권위자로 여겨졌다.

2차대전 직후 약 3년간 컴퓨터와 로스알라모스는 불가분의 관계였었다. 1945년 말 ENIAC이 이상 없이 조립되었음을 검증한 것도 열핵반응을 계산한 로스알라모스의 프랑켈과 메트로폴리스(Nicolas Metropolis, 1915-1999)였다. 1946년 8월 에커트는 메트로폴리스와 페르미 방식의 몬테칼로 계산을 ENIAC의 안정성을 검증하는 도구로 소개할 정도였다. 이 무렵 메트로폴리스는 오늘날 널리 배우는 플로 차트의 원형을 만들었고, 잘 알려졌듯이 노이만은 ENIAC 개발자들의 아이디어를 소위 “노이만 아키텍처”로 정립하였다. 모클리와 에커트의 회사가 건설한 것들을 제외하면 전후 미국 각지의 컴퓨터 건설 프로젝트들은 로스알라모스 출신자들이 주도했거나 그들에게 자문하였다.

이렇듯 오늘날의 컴퓨터는 물리학자들의 손에서 그 원형을 갖추었지만, 곧 별도의 분야로 떨어져 나갔다. 2차대전 전에는 열악한 상황에서 물리연구를 계속할 방도를 안간힘을 다해 찾던 모클리는 사업가로 변신하였다. 로스알라모스 출신자들은 메트로폴리스처럼 컴퓨터 개발에서는 손을 떼고 전산물리에 전념하거나, 프랑켈처럼 물리를 그만 두고 컴퓨터 개발자가 되었다. 물리학을 떠난 이들이 적극 참여한 계산기기협회(ACM, 1947)는 물리학과 무관하게 발전하였다.

같은 시기 MIT를 중심으로 형성된 핵공학도 비슷한 길을 걸었다. 시카고대학에서 1942년 12월 처음 가동된 최초의 원자로인 페르미가 주도해 만든 것이었지만, 그 다음 달 건설이 결정된 햄포드의 원자로들은 듀폰사가 맡아 건설하였다.

원자로와 원자력 응용법 연구의 중심지였던 오크리지에 물리학자들이 소수였다. 전후 MIT에서 대학원과정으로 임시 개설될 당시에는 물리학자들이 중요 교수진이었지만, 곧 화학공학자인 베네딕트(Manson Benedict, 1907-2006) 등의 활동으로 분위기가 달라졌다. 1951년 화학공학과와 일부로 핵공학 과정이 개설되었고, 베네딕트가 첫 핵공학 교수가 되었다.^[7] 연구와 지식의 측면에서 핵공학은 물리학과 많은 것을 공유하지만, 산업, 공학, 과학의 핵관련 세부 분야들이 모여 미국 핵공학회(ANS)를 결성한 1954년 이래 물리학과 핵공학의 역사는 별도의 정체성을 지니고 전개되어 왔다.

이렇게 여러 분야들이 떨어져나가는 동안 물리학의 일부로 남아 거대한 규모를 성장한 대표적인 분야가 고체물리학이었다. 제도적인 정체성이야 1947년 미국물리학회 내에 “고체물리학 분과”가 결성되면서 처음 표출되었지만, 그 뿌리는 20세기 초부터 기업체들이 물리학자들을 채용하기 시작한 데서 출발한다.^[8] 1920년대 들어 산업계의 물리학자들은 대학의 물리학자들이 매료되었던 양자이론의 응용이나 원자핵의 내부의 문제는 자신들이 주된 관심사가 아니라고 보기 시작했다. 별도의 응용물리학회 설립이 논의될 정도로 불만이 늘어나자 미국물리학회는 응용물리학회지(JAP, 1931)을 창간하는 방식으로 대응하였다.

이러한 대응과 곧 이어 닥친 대공황으로 이 문제는 잠복했다가 2차대전 중에 다시 표출되었다. 1944년 GE 연구소에서 합금연구를 담당하고 있었던 젊은 물리학자 로만 스몰러츠프스키(Roman Smoluchowski, 1910-1996)가 산업체 물리학자들에게 회람을 돌렸다.^[9] “금속 물리학자”들의 분과를 만들자는 것이었다. 그는 “새로운 순수학문이나 새로운 종류의 엔지니어링이 아니라 물리학의 일부로 낄”으려는 의도였고, 벨 연구소의 쇼클리 등의 열렬한 호응을 얻었다. 하지만 하버드 대학의 반 블랙(J. H. Van Vleck, 1899-1980)처럼 언제나 순수 물리학이나 과학을 주관심사로 삼지는 않는 사람들로 물리학회가 봄비는 것이 싫다는 반론도 터져 나왔다. 대체로 젊은 산업체 재직자들과 대학의 기성 물리학자들의 사이의 대립이었다. 마침 소그룹들이 떨어져나간 사건을 겪은 당시

REFERENCES

- [6] Though Föppl was not a precursor of special relativity. His clear-cut explanations enabled Albert Einstein to see conceptual contradictions in received theory of electromagnetism. This insight led Einstein to special relativity.
- [7] “Manson Benedict, 98, chemist on Manhattan Project, dies” *MIT Tech Talk* (2006.9.27), 6.
- [8] Spencer Weart, *Phys. Today* **41**(7), 38 (1988).
- [9] J. C. Wheeler, A. Cochran and W. D. Cochran, *Bulletin of the American Astronomical Society* **29**, 1488 (1997).

미국물리학회 집행부는 새 분과 설립을 선호하였지만, 반대의 견도 만만치 않아서 몇 년에 걸친 토의 끝에 회장인 콘돈의 개입으로 원래의 제안보다 폭넓은 “고체물리 분과”로서 새 분과 설립이 1947년에 승인되었다. 초기 “고체물리학 분과”는 활발한 활동을 했다고보다는 제도적인 틀이 존재한다는 의의가 강했다. 하지만 곧 이어 발생한 트랜지스터 혁명 등으로 점차 어엿하고 중요한 물리학의 세부분야로 성장하였다.^[10]

이제는 응집물질 물리학으로 더 많이 불리는 고체물리학의 경우는, 새로운 세부분야를 물리학의 한 부분으로 유지하려는 의식적인 노력이 강했다는 특징을 지닌다. 이는 순수 과학이 아닌 것들을 멀리하려 했던 조셉 헨리나 군이 물리학계에 남아 있으려는 생각이 없었던 스타인메츠의 경우와도 사뭇 달랐다. 역사에는 가정이 있을 수 없지만, 만일 스몰리초프스키와 쇼클리가 휘트스톤이나 모클리와 같았다면 지금처럼 응집물질 물리학이 물리학의 중요하고 풍부한 분야로 자리 잡았을까? 혹시 핵공학처럼 물리학과 겹치는 부분이 있기는 하지만 과학과 공학의 여러 분야들이 헤쳐모인 새로운 분야가 되지는 않았을까?

과학사적으로는 의미가 있을 수 없는 이런 질문이 떠오르는 것은 21세기 초가 물리학의 또 다른 변곡점일 수도 있기 때문이다. 최근 그래핀이 받은 각광은 더욱 그런 생각을 들게 한다. 물리학이 낳아 시집보낸 또 하나의 분야가 될 수도 있고, 다른 한편으로는 마치 톰슨이 증기기관에서 열역학을 본 것처럼, 한 두 세대 이후의 응용에서 새롭고 중요한 물리가 자라나지 말라는 법도 없다. 어쩌면 이러한 두근거림이 근본적인 것을 추구하는 물리학이 새로운 첨단기술을 낳을 때마다 겪는 필연일지도 모른다. 확실한 것은 제도와 활동으로서의 물리학의 범위는 물리가 유일하게 결정해주는 것이 아니라 물리학계 내외의 사람들이 만들어 왔다는 점이다.

REFERENCES

- [10] Not only scientific but also many socio-cultural factors were involved in this complex process. For an encompassing description, see L. Hoddeson *et al.*, *Out of the Crystal Maze: Chapters from the History of Solid State Physics* (Oxford University Press, 1992).