

과학사 13주차(13강). 에너지와 에테르

학습목표: 에너지의 개념과 에테르의 개념은 19세기 물리과학의 번영과 융성을 보여주는 중요한 성과물이었다. 물리학과 화학은 에너지의 개념을 통해 재구성되어 새로이 열역학과 통계역학의 등장을 낳았고, 에테르의 개념은 전기 자기 및 빛 현상의 기저로서 상정되어 이들 현상의 개념적 통일을 이루는데 크게 기여하였다. 그러나, 20세기에 이르러 이 두 개념은 엇갈린 운명을 가지게 되는 과정을 이해해본다. 즉, 에너지는 살아남아 더 광범위하게 활용되었으나 에테르는 일단 과학의 무대 뒷 편으로 사라진다.

■ 에너지 개념의 탄생과 번영

● 열과 일의 관련성

-조셉 블랙 Joseph Black(1728-1799); 열현상은 칼로릭이라는 물질 입자의 방출

-사디 카르노 Sadi Carnot (1796-1832); 증기기관과 같은 열기관에서 칼로릭은 없어지지 않고 보존(칼로릭보존)되며 뜨거운 물체에서 차가운 물체로 물질처럼 이동

-높은 곳에서 낮은 곳으로 떨어진 물이 물레방아를 돌리고 이 운동으로 다시 물을 높은 곳으로 퍼 올려 영구히 작동하는 기계(영구기관)가 가능할까?

→“영구없다!”를 보이려는 활동 → 열역학



● 열역학 제1법칙; 열과 일의 상호 변환성

-헬름홀츠, 줄, 마이어

[헬름홀츠 Helmholtz(1821-1894)]

-1840년대 초에 베를린대학에서 의학 공부

-1847년에 물질을 태워 만들어낸 열의 양과 동물이 그런 물질을 영양분으로 섭취하여 발생시킨 열의 양이 동일하다고 생각을 물리학회지에 발표하려 했으나 거부당하고 책으로 출판하여 생명체내에서의 힘(후에는 에너지)의 보존을 주장

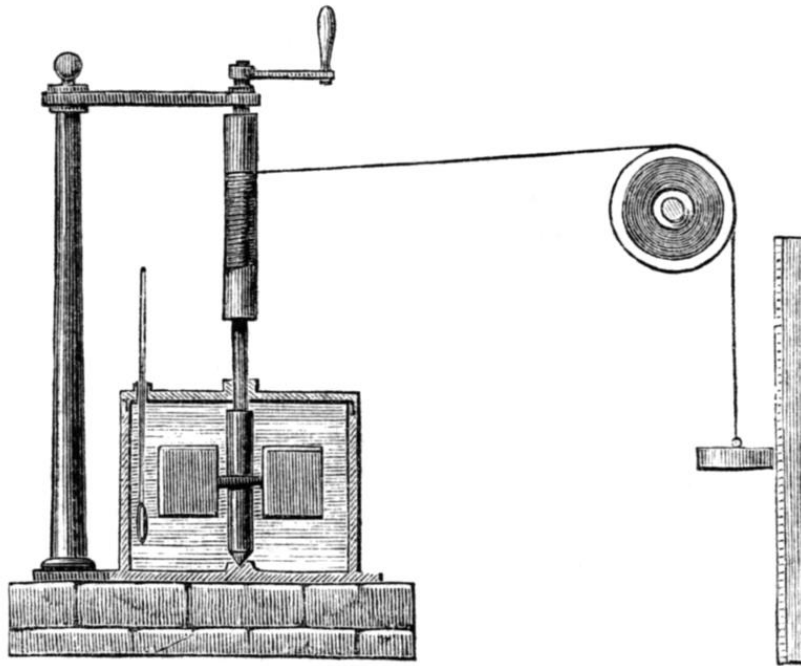
-이런 생리학적으로 연구로부터 열역학 제 1법칙을 확립한 사람중의 한 명으로 인정

-1849년 퀴니히스베르크대학 생리학교수가 된 후 물리학자와 교류하며 40대인 1860년대 무렵부터 물리학자로 인정되어 베를린 제국물리기술연구소의 책임자가 됨

[제임스 줄James Joule(1818 –1889)]

-산업도시 맨체스터에서 양조장집 아들로 출생, 열과 일의 연관성에 주목

-물갈퀴 바퀴를 물이 든 통 안에 담고 바퀴 축에 도드래로 무거운 물체를 연결하여 낙하시켰다. 이때 바퀴가 회전하면서 물에 열이 발생하고, 양조업에서 흔히 하듯이, 정교하게 열을 측정하여, 물체의 **낙하운동**이 만든 “활력”vis viva(또는 살아있는 **힘**living force(에너지))이 물속에서 **열로 변화**되었다고 주장한다.



[1845년 줄의 열 발생 장치] http://en.wikipedia.org/wiki/James_Prescott_Joule

-**힘**(에너지)은 새로 생겨나거나 파괴될 수 없고 하나의 힘에서 다른 힘으로 변환되는 신

의 창조방식을 보인다고 믿었다.

-**열역학 제1법칙; 열heat과 일work의 상호 변환될 수 있다** ($1\text{cal}=4.2\text{J}$)

[율리우스 마이어 Julius von Mayer (1814–1878)]

-독일의 의사

-1840년 네델란드 동인도회사로 가는 자바호 선상에서 의사로 활동하며 선원들이 하던 일(작업)들을 관찰한 결과를 토대로 운동(역학적 일)과 열은 서로 변환될 수 있다는 결론에 도달

●**열역학 제2법칙; 열 이동의 비가역성**

-톰슨, 클라우지우스

[윌리엄 톰슨William Thomson(1824 –1907)(켈빈 경Lord Kelvin)]

-증기기관에 대한 카르노의 이론(칼로릭보존)을 연구하다가 열 손실에 관심

-**열역학 제2법칙; 열은 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐른다(이때 일이 발생)**

; 열의 이동에 관한 비가역성(방향성), 시간의 화살(흐름)

-열을 낮은 곳에서 높은 곳으로 흐르게 하려면, 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르면서 발생한 일만큼의 일을 정확하게 필요로 한다.

-일을 할 수 있는 힘force 혹은 동력power을 **에너지energy**라고 명명

-존 허셀(천왕성 발견자 윌리엄 허셀의 아들)은 에너지는 실체가 없으며 여전히 힘을 핵심적인 물리적 개념이라며 톰슨을 비판

-**열역학 제1 법칙을 에너지 보존의 법칙이라고 재해석**

-열현상에 대한 체계적 학문인 열역학이 출현

-에너지 개념을 바탕으로 물리학 및 화학 전반을 통일적으로 설명

-이 시기부터 낙하운동을 힘의 직달작용을 통한 낙하운동으로 보기보다는 위치에너지가 운동에너지로 전환된다는 새 역학적 시각 속에서 물리학(과 화학)전반을 재구성

-영국 빅토리아 여왕시대의 산업문화가 요구하던 효율의 최대화와 낭비의 최소화에 대한 사회적 요청에 부응하는 과학관을 제시

[클라우지우스Rudolf Clausius (1822–1888),]

-헬름홀츠의 영향을 크게 받아 1865년 엔트로피entropy의 개념을 도입

-톰슨의 **열역학 제2 법칙**을 열의 비가역성 법칙에서 **엔트로피entropy증가의 법칙**으로 재정의

-볼츠만Ludwig Boltzmann(1844–1906)은 엔트로피가 무질서disorder의 정도라는 통계적 의미

를 가진다고 하여 열역학 제2법칙은 통계(확률)법칙임을 주장→통계역학의 출현

[정리]

열역학 제1법칙; 열과 일의 상호 변환성

; 에너지 보존의 법칙

열역학 제2법칙; 열은 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐른다.

; 엔트로피(무질서)증가의 법칙

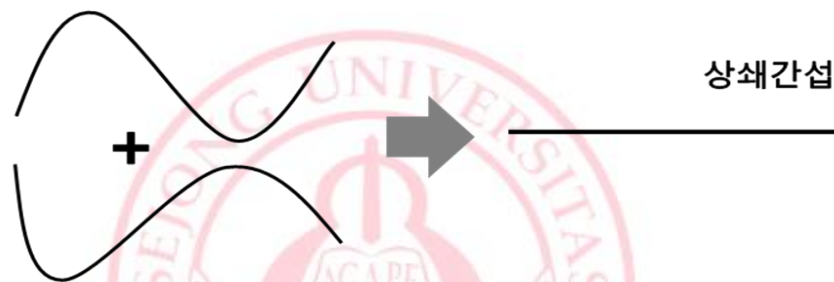
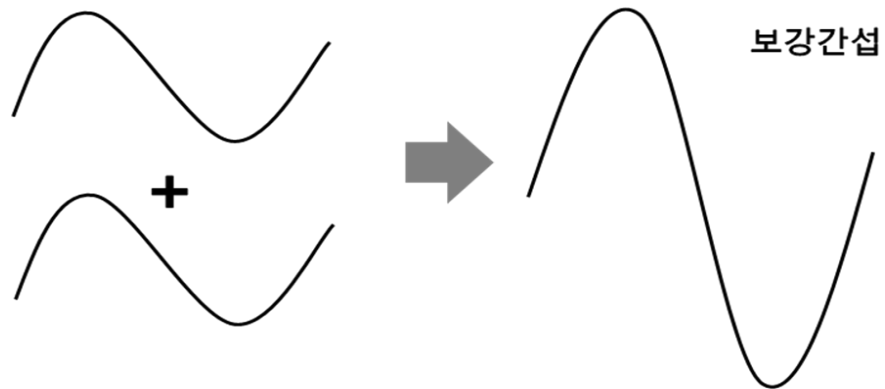
[열역학적 사례] 어항을 칸막이로 반으로 나누어 왼쪽에는 뜨거운 물 왼쪽에는 차가운 물로 가득 채운다. 칸막이를 없애버리면 열은 뜨거운 쪽에서 차가운 쪽으로 이동한다(열역학 제2법칙). 이리하여 어항 속의 물은 양쪽에서 모두 미지근하게 된다. 이때 전체적인 열(에너지)의 양은 칸막이를 치우기 전후에서 변하지 않고 보존된다(열역학 제1법칙). 그런데 어항의 칸막이를 치우기 전에는 뜨거운 쪽과 차가운 쪽이 질서 있게 세분화되어 있었으나 칸막이를 치우고 나면 양쪽 모두가 미지근해지며 세분화가 사라져서 전체 어항내의 무질서 즉 엔트로피는 증가한다(열역학 제2법칙).

[통계역학적 해석] 위의 칸막이 어항에서 뜨거운 물 쪽의 물 분자들은 소수만이 느리게 움직이고 대부분은 매우 빠르게 움직인다. 반면에 차가운 쪽의 물 분자들은 소수만이 빠르게 움직이고 대부분은 매우 느리게 움직인다. 칸막이를 없애면 빠르게 움직이는 물 분자와 느리게 움직이는 물 분자가 서로 뒤섞이면서 전체적으로 무질서하게 재편된다. 그러나, 뜨거운 물 쪽으로 찬물 분자 중에서 빠르게 움직이는 물 분자들이 모이고 차가운 물 쪽으로 뜨거운 물 분자 중에서 느리게 움직이는 물 분자들이 모여서 결국 뜨거운 물은 더 뜨거워지고 차가운 물은 더욱더 차가워질 가능성도 매우 작긴 하지만 존재한다. 비록 확률적으로 이렇게 될 가능성은 엄청나게 작지만, 통계역학은 이런 일이 일어날 확률이 존재한다는 것을 인정한다.

SEJONG UNIVERSITY

■에테르의 번성과 몰락

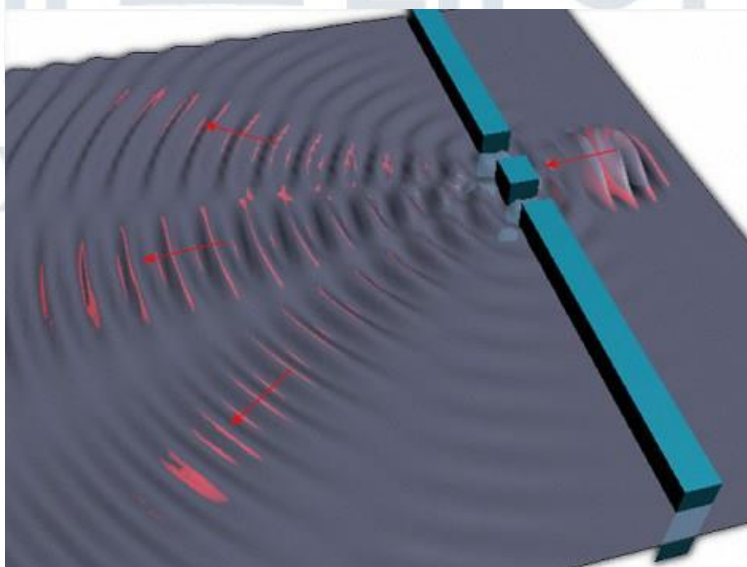
●파동의 성질; 보강 및 상쇄(소멸)간섭



-빛과 같은 파동은 같은 위상으로 만나면 보강간섭 되어 밝은 무늬로 나타나고 반대위상으로 만나면 상쇄간섭 되어 어두운 무늬로 나타난다.

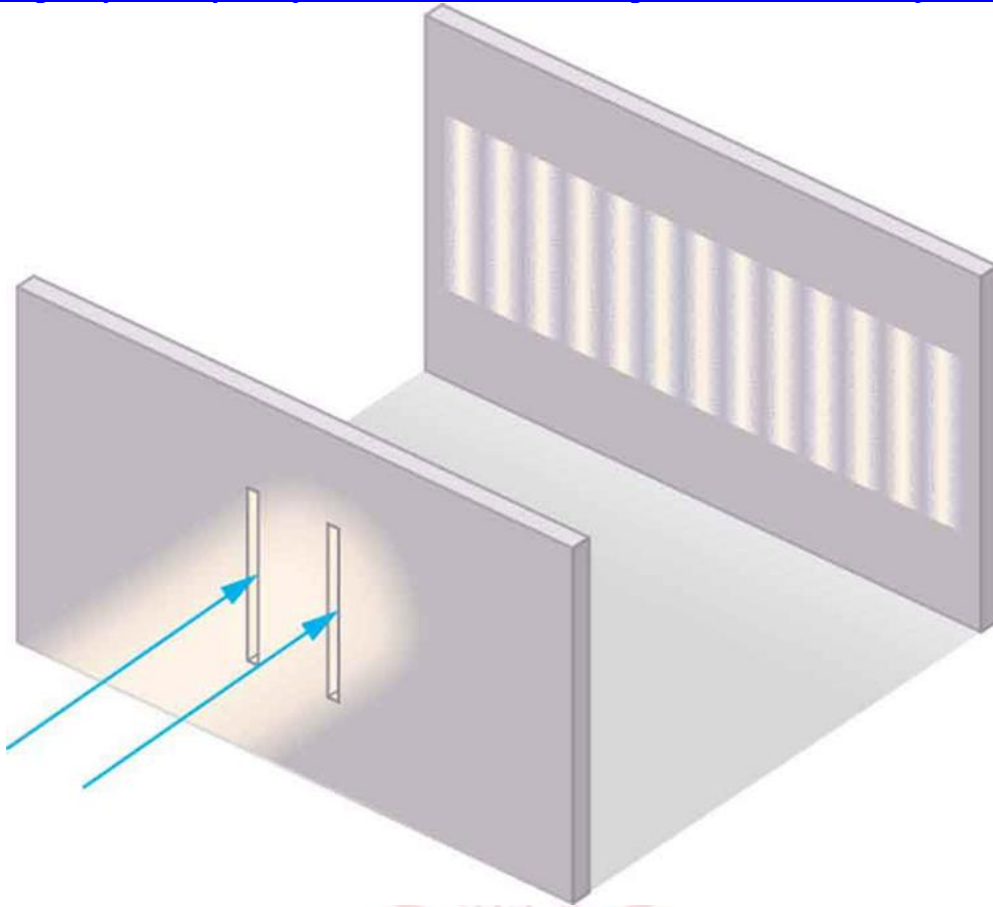
● 빛의 파동설

-영 Thomas Young (1773 –1829)의 실험은 두 개의 슬릿에서 퍼져 나온 파동이 스크린에 보강 또는 상쇄간섭 하면서 밝고 어두운 무늬가 교대로 나타나는 간섭무늬실험을 통해 빛이 파동임을 보였다.



[두개의 슬릿에서 퍼져나온 파동이 서로 상쇄 혹은 보강간섭 한다]

<https://gravityandlevity.wordpress.com/2009/05/10/surfing-and-the-double-slit-experiment/>

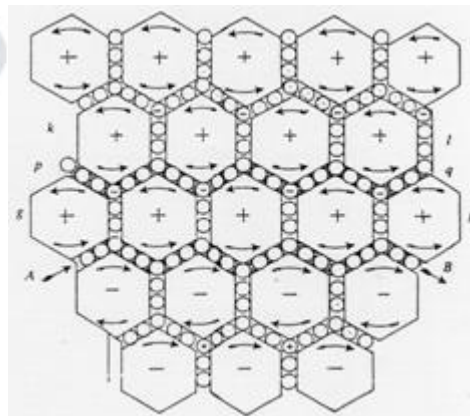


[이중 슬릿을 통과한 후 스크린 상에는 밝고 어두운 빛의 무늬가 교대로 나타난다]

<https://www.boundless.com/physics/textbooks/boundless-physics-textbook/wave-optics-26/diffraction-175/young-s-double-slit-experiment-637-10928/>

-이때부터 빛의 파동설이 확립되고 이 파동을 전달하는 물질(매질)로서 에테르가 상정되었다.

-맥스웰은 에테르의 흐름을 통하여 전기장 및 자기장의 개념을 제안하여 전기력과 자기력의 직달 작용을 피하고자 하였다.



[맥스웰이 생각한 에테르의 기계적 구조]

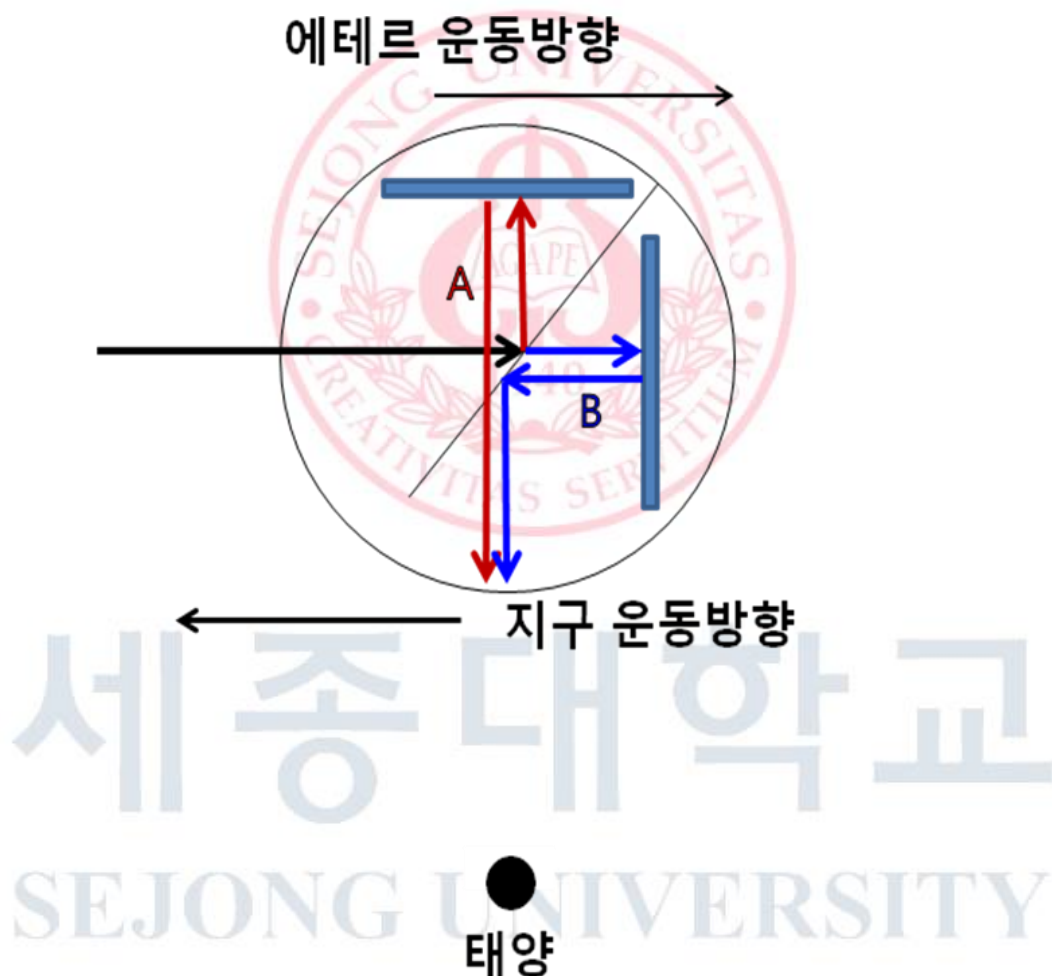
<http://www.cosmosportal.org/view/article/137609/>

-데카르트가 생각한 중력의 전달장치처럼 에테르는 전기력과 자기력의 기계적 전달장치

-빛의 전달 물질인 에테르를 통해 전기와 자기현상에 대한 통합적인 설명이 나타나자 **빛은 전자기파**라는 확신이 나타난다.

-이런 에테르의 존재를 검출하기 위한 실험이 미국에서 마이켈슨 Albert Michelson (1852-1931; 1907년 노벨 물리학상 수상) 과 물리 Edward Morley(1838- 1923)에 의해 시도된다.

●마이켈슨-몰리의 실험; 에테르 검출실험



-정지한 에테르가 전 우주를 가득 채우고 있고 지구가 태양주위를 공전함에 따라 위의 그림처럼 지구 운동과는 반대 방향으로 에테르의 흐름이 생겨난다. (그림에서는 왼쪽으로 지구가 운동함에 따라 에테르는 오른쪽으로 흘러간다.) 이 상황에서 에테르의 흐름과 같은 방향인 왼쪽에서 오른쪽으로 빛을 보낸다(검은 화살표방향). 이 빛은 대각선 방향으로 위치한 반투명 유리에 의해 반은 반사되어 붉은 색 경로 A를 따라 가고 나머지 반은 유

리를 통과하여 파란색 경로 B를 따라간다. 이 빛들은 각각 거울에 의해 다시 반사되어 반투명 유리에 의해 다시 모인다.

-A경로와 B경로는 정확하게 길이는 같지만 B경로를 다녀온 빛이 조금 더 오래 지체되어 약간 더 늦게 도착할 것이 기대된다. 이는 강물을 따라 내려가며 수영한 사람이 다시 강물을 거슬러 올라올 때 대부분의 시간을 소비하며 지체되는 것과 매우 유사하다.

-마이켈슨과 몰리는 애초에 같이 출발한 빛이지만 B경로를 따라간 빛이 지연되어 다시 A경로를 갔다 온 빛과 만났을 때 서로 상쇄 간섭하여 어두운 무늬를 만들 수도 있다고 생각하였다.

-그들은 하루의 여러 시간마다 측정하고, 1년의 여러 계절마다 측정하고, 수직 수평경로를 일정하게 유지하기 위한 모든 노력을 경주하고, 장치물질(철)의 자기효과를 고려했으며, 온도와 진동을 잘 통제하고, 고도 차이에 따른 효과를 보기 위해 높은 산에서 관측했으며, 심지어 원활한 에테르의 흐름을 가능하게 하기 위해 유리로 된 건물 내에서도 측정하였다.

-그러나 1881년과 1887년의 두 번에 걸친 노력에도 불구하고 마이켈슨과 몰리는 상쇄간섭효과(검은 무늬)를 찾지 못하였다.

●아인슈타인(1879-1955)의 특수상대성이론(1905)

-특수상대성이론의 제1 가정postulation(=추측); 광속도 일정(불변)의 원리

-이 광속도 일정원리에 따르면 A 혹은 B의 어느 경로를 따라가더라도 광속도는 일정하다. 따라서 B의 경로를 따라간 빛이 늦게 도착하지 않는다. 그러므로 상쇄간섭무늬는 결코 발생하지 않는다.

[마이켈슨 물리 실험에 대한 교과서적 해석] 19세기말의 전자기학이 제시한 에테르의 존재를 부정할 수 있는 훌륭한 실험을 하고서도 실험자는 제대로 의미를 알지 못하여 에테르의 개념을 여전히 고수 함으로서 오히려 물리학의 위기를 초래하였으나 천재 아인슈타인이 특수상대성이론을 통해서 비로서 에테르는 완전히 폐기시키고 물리학의 위기를 혁명적으로 해결하였다.

[마이켈슨 물리 실험에 대한 새로운 해석] 과학자들은 마이켈슨 물리의 실험을 에테르검출 실험에서 광속도 일정의 원리를 확인한 실험으로 재빨리 재해석하여 원래 질문이었던 에테르의 존재유무에는 더 이상 관심을 두지 않게 된다. 이때부터 물리학자들은 마치 위기가 해결된 것처럼 행동한다. 그러나, 아인슈타인은 원래 관심사였던 에테르의 존재유무에 대해서는 한마디도 하지 않았다. 사실, 에테르는 완전히 사라질 수가 없다. 에테르가 완전히 사라지면 전기력과 자기력의 직달작용이 다시 심각한 문제로 나타나게 되고 전기장과 자기장의 물리적 의미도 완전히 사라지기 때문이다. → 아인슈타인 이후 물리학자들

은 에테르에 대해선 묻지도 대답도 안 하겠다는 매우 애매한 입장(“Don’t-ask-Don’t-tell-policy”)을 고수한다.

-**"Don't ask, don't tell" (DADT)** was the official United States policy on service by gays and lesbians in the military instituted by the Clinton Administration on February 28, 1994, when Department of Defense Directive 1304.26 issued on December 21, 1993, took effect lasting until September 20, 2011. “묻지도 대답도 말라”는 군복무중인 동성연애자들에 대한 미국정부의 공식 입장으로서 미국방부 작전명령 1304.26이 1993년 12월 21일에 발령된 후 클린튼 행정부에 의해 1994년 2월 28일날부터 시행된 정책이다. 이 정책은 2011년 9월 20일까지 지속되었다.”

[미국 위키백과 http://en.wikipedia.org/wiki/Don't_ask,_don't_tell]

(2011년 9월 20일이전에 미군내의 동성연애자들은 자신이 동성애자임을 스스로 밝힐 수 없으며 그렇게 행동해서도 안된다. 동시에 정부도 동성연애자들을 조사하여 알아내려해서도 안된다. 그러나 이제 동성연애자들도 미군내에서 공개적인 커밍아웃을 할 수 있다.)

● 밀러Dayton Miller (1866 –1941)의 에테르 검출 성공발표



[난 아인슈타인 한 명만 때릴테야!] http://en.wikipedia.org/wiki/Dayton_Miller

-1900년대초부터 물리와 밀러는 실험을 계속

-2000미터급 월슨 산 정상에서 에테르 검출 성공결과(1925)를 얻고 현존하는 최고 학술논문인 Science에 발표(1926년)하고 미국과학진흥협회가 주는 그 해 Science지 최고 논문상(1925년)을 수상한다.

-이 실험 결과에 대해 마이켈슨과 밀러는 의견대립한다(1928년)

-동시에 대부분의 물리학자들도 밀러의 결과에 주목하지 않는다. (다만 아인슈타인은 적극적인 관심을 가지고 개인 서신을 밀러에게 보내어 실험결과에 대한 질문을 계속한다.^^)

-마이켈슨과 물리의 실험도 19세기 물리학이 에테르를 믿고 있던 동안에는 중요한 실험이라고 여겨지지 않았다. 그러나 특수상대성이론이 발표된 다음에는 특수상대성이론을 검증해주는 주요연구성과라고 재해석 되었다. →과학실험결과의 의미는 사람들이 믿으려고 하는 것에 달려있다?(관찰의 이론 의존성)

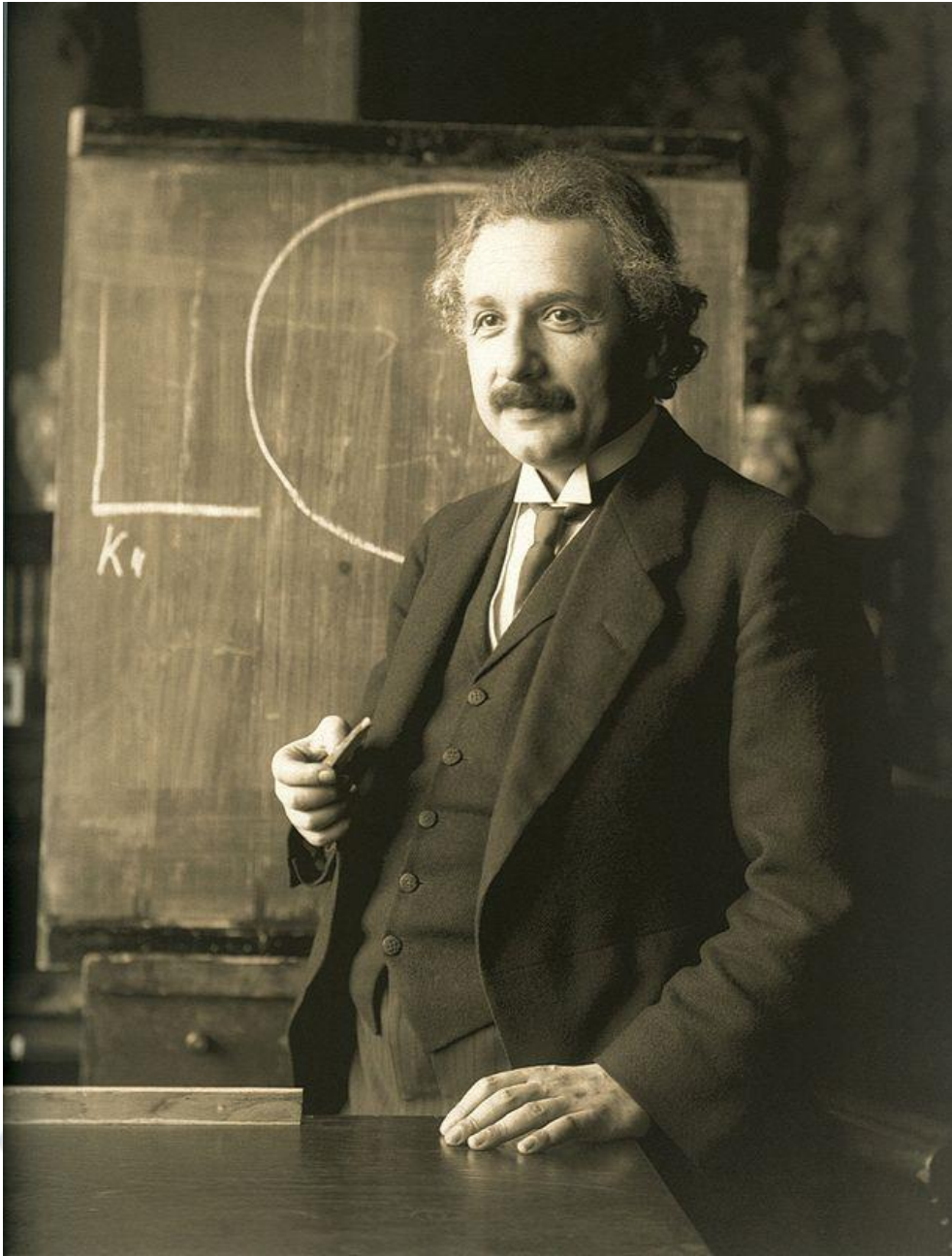
-밀러의 실험이 언젠가는 주요연구성과로 재해석될 수도 있을까? 그러나 그렇게 되면 아인슈타인의 특수상대성이론이 폐기되어야 한다. 밀러는 당시까지 아인슈타인의 목에 겨누어진 가장 위협적인 칼날이었다. 최소한 아인슈타인 본인은 그렇게 받아들였을 것이다.

“과학사는 과학을 다르게 보고 다양하게 보기 위한 도구”

[알버트 아인슈타인(1879-1955)]



세종대학교
SEJONG UNIVERSITY



[밀리만 생각하면 웃어도 웃는게 아니야!] http://en.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein

● 제 1차 세계대전(1914-1918)

- 세르비아 청년이 오스트리아 황태자 부처를 암살(1914.7.28)한 것에 대하여 오스트리아가 세르비아에 대하여 선전포고를 하며 시작
- 독일은 대 러시아(1914.8.1) 및 대 프랑스(1914.8.3) 선전포고
- 영국은 대 독일(1914.8.4) 선전포고

-3국 동맹국(독일, 오스트리아, 이탈리아) 및 터키 불가리아 VS. 3국 협상국(영국, 프랑스, 러시아) 및 일본 미국 루마니아 그리스 간의 전쟁

- 이후 1915.5월 이탈리아가 3국 동맹서 탈퇴하여 3국 협상국 편으로 이동
- 1917.10 러시아에서는 레닌에 의한 볼셰비키 혁명 성공
- 사망자 9백만 부상자 2천만 발생

참고문헌

- 『현대과학의 풍경』 김봉국 홍성욱 역 2008 궁리출판
『골렘-과학의 뒷골목』 이충형 역 2005 새물결출판



세종대학교
SEJONG UNIVERSITY