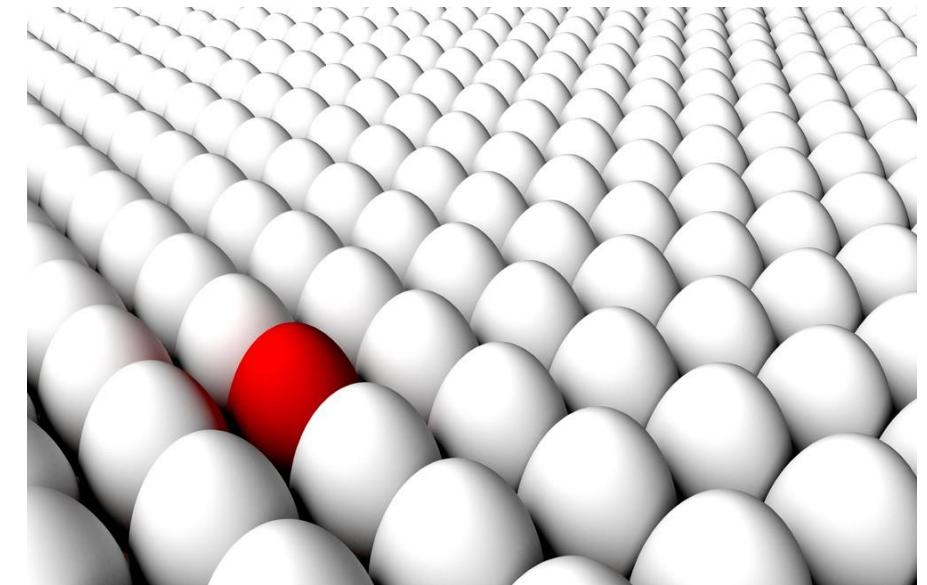


과학혁명

변칙 사례

- 변칙 사례(anomaly): 정상 과학 활동에서 풀리지 않는 문제들을 말함.
- 변칙 사례들은 정상 과학의 어느 시점에서나 존재하기 마련이며, 정상 과학 시기의 대부분이 이 변칙 사례들의 해결에 할애된다.
- 대부분의 변칙 사례들은 실수를 바로잡거나 이론의 부수적인 부분들을 다듬음으로써 해결.
- 그러나 끝내 해결되지 않는 변칙 사례들이 많아 축적되면 정상 과학에 위기(crisis)가 오게 된다.

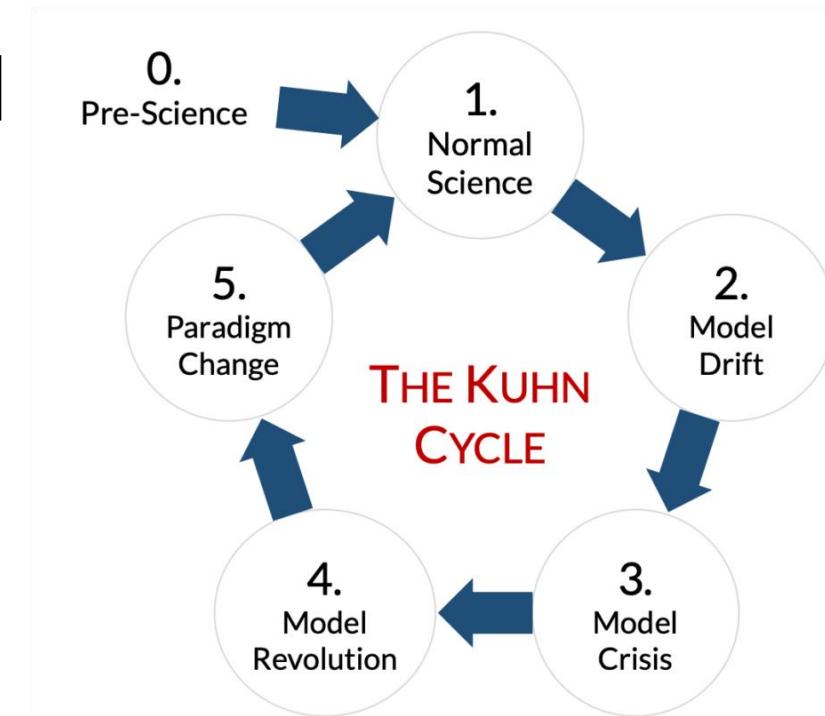


정상 과학의 위기

- 변칙 사례를 설명하기 위한 임시방편적 (ad hoc) 수정과 통일되지 못한 설명들의 증식.

Ex) 프톨레마이오스 체계 내의 주전원 크기와 수에 대한 다른 견해들/ 플로지스톤 이론의 위기.

- 변칙 사례를 해결하지 못하는 과학자들의 수가 증가하면서, 과학자 개개인의 능력에 대한 의심에서 과학자 전체에 대한 의심으로 확대.



Graphic based on THOMAS S. KUHN, THE STRUCTURE OF SCIENTIFIC REVOLUTIONS (1962)

위기에 대한 반응

“이들(천문학상의) 연구에서 일관성이 도무지 없어서... 공전 주기의 일정한 길이를 설명조차 할 수 없거나 또는 관찰할 수가 없다. ... 그들은 마치 한 화가가 다양한 모델로부터 멋대로 손, 발, 머리 등의 부위를 합쳐서 화상을 구성하려는 것이나 마찬가지로, 각 부분으로서는 뛰어나게 잘 그렸으나 단일한 신체로 서로 연결되지 못하고 각 부위가 서로 조화를 전혀 이루지 못하기 때문에, 그 결과는 사람이라기보다는 괴물에 가깝게 될 것이다.”(코페르니쿠스)

“그것은 마치 바닥이 그 밑바닥으로부터 거덜나서, 그 위에 쌓아올릴 수 있는 확고한 기초가 아무것도 없는 격이다.”(아인슈타인)

“지금 현재 물리학은 다시 극심한 혼돈의 상태이다. 어떻든 간에 내게는 매우 힘든 일이며, 차라리 희극배우나 그 비슷한 무엇이 되어 물리학에 대해서는 듣지도 않았더라면 싶다.”(볼프강 파울리)

- 이러한 인식이 과학자들에게 사회적 압력으로 작용하여 과학자들은 기존의 패러다임이나 이론을 의심하고 대안을 고안하게 됨.

☞ 심리적 전회(psychological turn)

과학 혁명

- 패러다임 전이(paradigm shift): 한 패러다임이 다른 패러다임으로 교체. 부분들이 변화하면서 점진적으로 변화하는 것이 아니라 세계에 대해서 이전과 전혀 다른 새로운 방식으로 사유하도록 하는 전면적인 전환. 과학 혁명(scientific revolution).
 - 혁명은 활력이 넘치는 새로운 패러다임이 이용 가능할 때, 그리고 자신들의 동료들에게 새로운 상을 명확하게 설명할 수 있는 개별 과학자들이 존재하게 될 때에만 일어난다.
 - 대립하는 두 패러다임을 중립적으로 평가할 수 있는 공통의 토대와 기준이 존재하지 않음. 패러다임 사이의 선택은 논리와 경험에 의해 강제될 수 없다. 공약 불가능성(incommensurability).
- ☞ 결국 제도 외적인 요인에 의해 갈등이 해결.

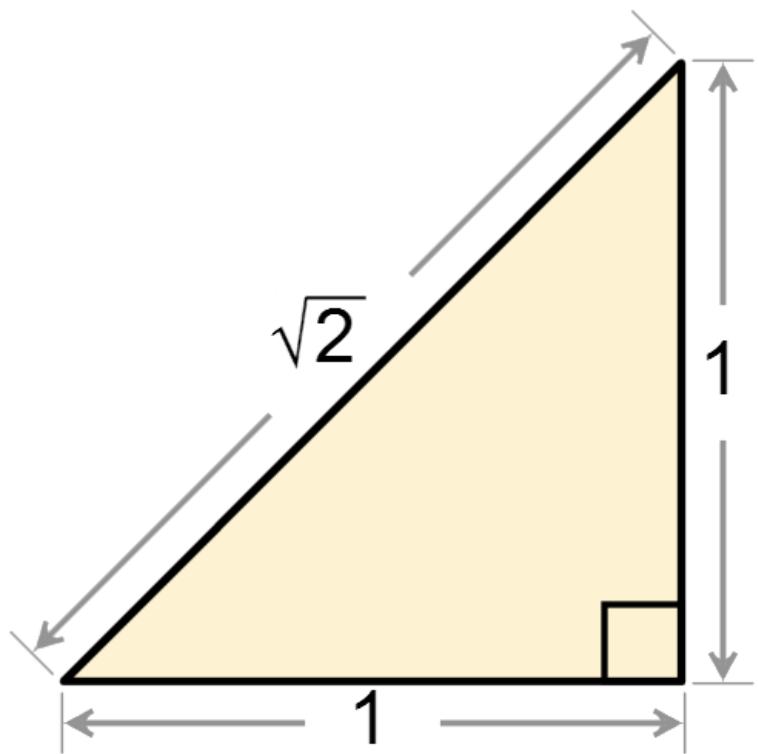
과학 혁명의 사례

- 물리학 분야에서 아리스토텔레스 역학이 뉴턴 역학으로, 뉴턴 역학이 상대성 이론으로 변화하는 과정.
- 천문학 분야에서 프톨레마이오스 천문학이 코페르니쿠스 천문학으로 이행한 과정.
- 화학 분야에서 플로지스톤 이론에서 산소 이론으로 변화한 과정.
- 생물학 분야의 경우 창조론에서 진화론으로 변화한 과정 등.

과학 혁명의 특징

- 하나의 특정한 패러다임을 선택하거나 거부하게 하는 데 있어서 과학자들의 가치관, 심리학적이고 사회학적인 요소들이 기능할 수 있다.
- “패러다임으로부터 패러다임으로의 이행은 강제될 수 없는 개종(conversion) 경험이다. ... 이들 개종들은 과학자들이 인간이라는 사실에도 불구하고 일어나는 것 이 아니라, 그들이 인간이기 때문에 일어나는 것이다.”
- 개종의 어려움: “새로운 과학적 진리는 그 반대자들을 납득시키고 그들을 이해시킴으로써 승리를 거두기보다는, 오히려 그 반대자들이 결국에 가서 죽고 그것에 익숙한 새로운 세대가 성장하기 때문에 승리하게 되는 것이다.” (쿤이 인용한 막스 플랑크의 말)
- 혁명 후에 과학자들은 사물들을 새로운 방식으로 바라보고 새로운 문제들을 가지고 작업하게 되고, 옛날 문제들은 그냥 잊혀지게 되거나 혹은 그저 관계 없는 것으로 간주되기도 한다. “쿤 손실(Kuhn loss)”이라고 부름.

공약 불가능성(incommensurability)



- 공약 불가능성이란 수학에서 빌려온 용어로, “공통 기준으로 측정할 수 없음”을 의미.
- 서로 다른 패러다임의 과학 이론들은 이 이론들의 특성이나 장점들을 비교할 수 있는 중립적인 방법이 존재하지 않는다는 의미에서 서로 공약 불가능하다는 것.
- “과학 혁명으로부터 출현하는 정상 과학적 전통은 앞서 간 것과는 양립되지 않을 (incompatible) 뿐만 아니라, 사실상 공약 불가능(incommensurable)하다.”

용어의 공약 불가능성

- 1) 서로 상응하는 개념이 없음.
- 2) 어떤 과학 전통의 용어는 일반적으로 그 과학 전통의 또 다른 용어와의 관계를 통해서만 이해할 수 있다. (후자의 용어도 같은 문제에 봉착)

Ex) 뉴턴의 무게 개념과 아리스토텔레스의 무게 개념의 차이(아리스토텔레스의 관점에서는 맥락에 따라 물체의 무게가 변하므로 자유낙하하는 물체의 무게가 변하는 것으로 이해)/ 프톨레마이오스 체계와 코페르니쿠스 체계에서의 “행성” 또는 “지구”的 의미 변화/ 다윈의 진화론 이전과 이후의 “종(species)의 의미 변화 등.

- 어떤 개념들을 이해하기 위해서는 그 개념들이 존재한 개념적 환경의 맥락에서 그 개념들이 수행한 역할을 이해해야만 한다는 것.

방법론의 공약 불가능성

- 서로 다른 과학 패러다임들은 과학이 핵심적으로 다루어야 할 질문, 접근 법, 방법론에서 완전히 다르다.

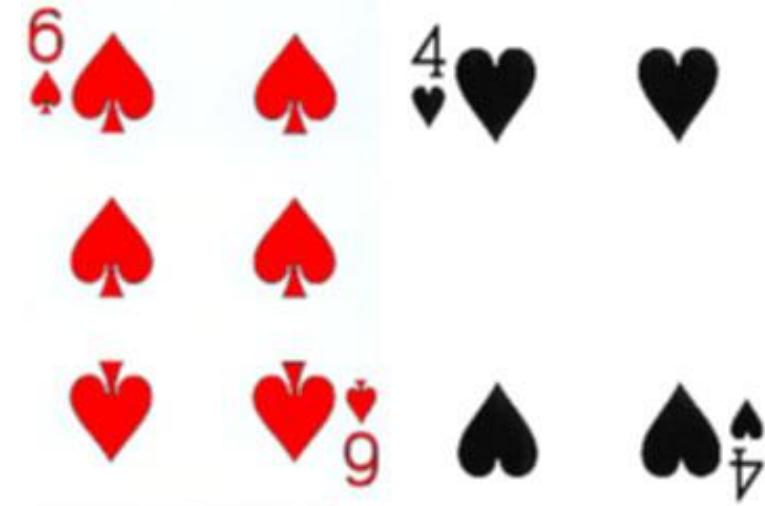
Ex) 아리스토텔레스 패러다임에서는 움직이는 모든 것은 운동 원인이 필요하다고 생각했으므로 모든 변화와 운동에서 원인을 찾으려 했으나 뉴턴 패러다임에서는 관성의 법칙을 수용하므로 운동 원인을 찾을 필요가 없음/ 뉴턴 전의 역학 패러다임에서 중력과 같은 비접촉력의 존재는 해결되어야 할 문제 목록에 있었으나 뉴턴 역학에서는 중력의 존재가 문제 목록에서 빠짐/ 뉴턴 전의 역학에서는 던져진 물체의 운동을 공기와의 접촉력을 이용하여 설명하고 예측하였으나 뉴턴 역학에서는 초기 속도와 중력을 이용하여 설명하고 예측.

- 따라서 어떤 패러다임의 핵심 문제를 다른 패러다임의 맥락에서 적절히 포착하고 이해할 수 없다.

서로 다른 세계의 공약 불가능성

- 서로 다른 패러다임의 과학자들은 (세계를 다르게 해석한다 기보다는) 세계를 다르게 본다. 우리는 우리가 예상하는 대로 본다는 것. (J.S. Bruner와 Leo Postman의 카드 실험)
- “세계가 패러다임의 변화와 더불어 변화하지는 않지만, 그 이후의 과학자들은 이전과는 다른 세계에서 연구 활동을 하게 된다. ... 양쪽이 모두 세계를 바라보고 있으며, 그들이 바라보는 대상은 변화하지 않았다. 그러나 어떤 영역에서는 그들은 서로 다른 것들을 보며, 또 서로 다른 관계에서 그것들을 보게 되는 것이다.”

Ex) 아리스토텔레스는 속박 상태의 낙하 현상을 보면 뉴턴은 계속해서 운동을 되풀이하는 진자를 봄/ 나무와 다람쥐와 사슴들이 내적이고 본질론적이며 목적론적인 본성의 결과 자신들 내부에 존재하는 능력을 활성화하는 과정에서 비롯된 목표 지향적인 변화로 충만한 세계와 정량적, 물리적, 화학적, 생물학적이고 외적인 원리의 지배를 받는 동물과 식물들이 서로 밀고 당기며 기계적으로 움직이고 화학적 변화를 겪는 세계.



공약 불가능성과 과학 진보

- 서로 다른 과학 이론들을 적절히 비교할 수 없다면, 어떤 이론이 다른 이론보다 더 뛰어나다고 판단할 일정하고 원칙적인 기준이 없게 된다.
- 따라서 예를 들면 뉴턴 물리학보다 상대론적 물리학을 선택할 때 그 선택은 합리적 기준에 기초하지 않는다.
- 이론의 변화는 어떤 목표, 이상적인 과학 이론을 향해 진보하기보다는 한 전통을 다른 전통으로, 다른 질문에 집중하고 다른 방법론을 적용하는 새로운 전통으로 대체하는 것에 더 가깝다.
☞ 그렇다면 과연 과학의 진보가 있을 수 있는가?

과학혁명의 비합리성과 상대주의

- “쿤에 따르면 과학적 변화-하나의 패러다임으로부터 다른 패러다임으로의 변화-라는 것은 이성의 규칙들에 따르지도 않으며 통제할 수도 없는 신비한 개종(conversion)이다. 그 변화는 전적으로 발견의 (사회적) 심리학의 영역에 속한다고 할 수 있다. 과학적 변화는 일종의 종교적 변화이다.”(Lakatos, “Falsification and the Methodology of Scientific Research Programs”, in 『Criticism and the Growth of Knowledge』, eds. Imre Lakatos and Alan Musgrave (Cambridge University Press, 1970) 중.)
- 쿤 자신은 이론 선택에서 의지할 수 있는 충분히 만족할 만한 이유들이 없으며 따라서 선택은 결국 개인적이고 주관적인 이유로 이루어진다는 주장(비합리성)과 모든 패러다임은 똑같은 정도로 옳다는 주장(상대주의)을 거부함.

... 그 어느 것도, 설득된 것에 대한 충분한 이유가 존재하지 않는다면 또는 그런 이유들이 궁극적으로 그룹에 대해 결정적이 되지 못한다는 것을 의미하지는 않는다. 그것은 또한 선택의 이유들이 과학철학자들이 보통 열거하는 것과는 다르다는 것을 의미하지도 않는다. 정확성, 단순성, 다산성 등등이 그런 이유이다. 그러나 그것이 시사하는 바는 그런 이유들이 가치관으로서 작용하며, 따라서 그것들은 그것을 같이 존중하는 사람들에 의해서, 개별적으로 또는 총체적으로, 달리 적용될 수가 있다는 것이다.

... 이론 채택의 시기에서 과학 종사자들이 전개하는 가치관은 그들 연구의 다른 국면으로부터 유도되기는 하지만, 자연에 의해 주어지는 퍼즐을 설정하고 풀이하는 증명된 능력은 가치 상충의 경우에서 과학자 그룹의 대다수 구성원에게 가장 뚜렷한 기준이 된다. ... 그 다음 과학의 발전은, 생물학적 진보와 마찬가지로, 그 방향이 하나이며 비가역적인 과정이 된다. 그 이후의 과학 이론들은 그것들이 적용되는 흔히 상당한 차이가 나는 환경에서 수수께끼를 푸는 데 이전의 것들보다 더 좋은 이론이 된다. 이는 상대주의자의 입장이 아니며, 그것은 내가 과학의 진보를 확신하는 신봉자라는 의미를 드러낸다.

... 내 생각으로는 '참으로 거기에'와 같은 어구를 재구성하는 방법으로서 이론과 무관한 것은 없는 것 같다. 어느 이론의 존재론과 자연에서의 그 '실제' 대응물 사이의 부합이라는 개념은, 이제 나에게는 원칙적으로 착각하기 쉬운 성격으로 여겨진다. 더욱이 과학사학자로서 나는 그 견해의 비개연성에 감명을 받고 있다. 이를테면 나는 뉴턴의 역학이 아리스토텔레스의 이론을 보완하고, 아인슈타인의 이론이 퍼즐 풀이의 도구로서 뉴턴의 이론을 향상시킨 것에 대해 의심하지는 않는다. 그러나 나는 그것들의 승계에서 존재론적 진전의 시종일관된 방향성을 볼 수가 없다. 그 반대로, 그렇다고 전체가 다 그렇다는 것은 아니지만, 몇 가지 중요한 관점에서 아인슈타인의 일반 상대성이론은 아리스토텔레스 이론에 더 가까운데, 이는 아인슈타인 또는 아리스토텔레스의 이론이 뉴턴 이론에 근접한 것보다는 더 가깝다. 이런 입장을 상대주의로서 묘사하려는 유혹은 이해할 만한 것이긴 하지만, 나에게는 그 표현은 틀린 것으로 보인다. 바꿔 말해서, 만일 그 입장이 상대주의라면, 나는 상대론자가 과학의 본질과 발전에 관해 설명하는 데 요구되는 그 어떤 것을 잃는다고 볼 수가 없다.

-『과학 혁명의 구조』 제 2판(1969) "후기(postscript)" 중.

쿤의 과학철학의 귀결

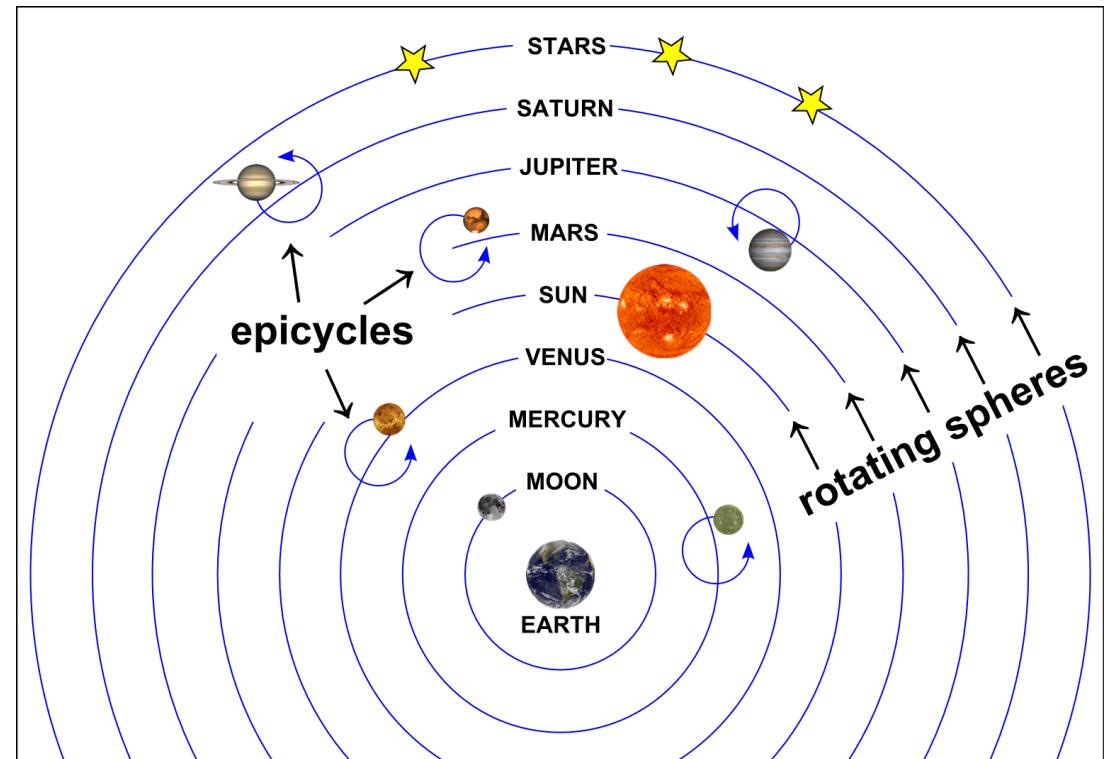
- 패러다임의 전환은 지식의 점진적인 축적보다는 옛날 이론들의 포기를 수반하기 때문에 과학은 누적적이지 않다.
- 과학의 하위 분야에 있는 모든 내용들이 일반적으로 서로 다른 과학들 간에는 공유되지 않은 지배적인 패러다임에 따라 상대적으로 나타나기 때문에 과학은 통일성이 없게 된다.
- 이론들을 평가할 수 있는 중립적인 관점이란 존재하지 않는다.
- 정당화의 맥락이라는 것은 허상이며, 하나의 이론의 가치를 평가하는 모든 것은 패러다임 내에서부터 만들어지기 때문에 이론들을 검사하는 단일한 논리라는 것도 허상이다.
- 과학이론의 선택에서 사회학적이고 심리학적인 요소들이 필수적인 역할을 하고 있기 때문에 과학은 가치 중립적이지 않으며, 따라서 과학이론들과 이와 다른 믿음의 체계들을 구별할 수 있는 분명한 경계선이 존재하지 않는다.
- 쿤이 제시하는 다섯 가지 핵심 가치들은 그 적용에 대한 등급 평가가 명확하게 결정되지 않았으며, 따라서 과학이론의 선택에 관한 문제를 분석해낼 수 있는 효능을 거의 가지고 있지 않다.

도구주의와 실재론

- 과학 이론은 정확한 예측과 설명을 하는 것으로 충분하다.
(도구주의)

Vs.

- (정확한 설명과 예측에 더해) 과학 이론은 실재를 반영해야 한다. (실재론)



Ptolemy's geocentric model of the universe
(not to scale)

과학적 실재론

- 1) 과학에 대한 논의들이 기술하고 있는 대상이나 대상의 종류들(ex. 전자)은 실제로 존재한다.
- 2) 그것들은 우리들의 인식과 정신으로부터 독립적으로 존재한다.
- 3) 과학에 대한 진술들은 환원될 수 없고 제거될 수 없으며, 순수하게 단언적인 표현들이다. (ex. 전자들에 대한 진술들은 음전하, 일정한 크기의 질량 등을 가진 미시 원자의 대상들을 실제로 언급하고 있다.)
- 4) 과학의 진술들에 대한 진리 조건들은 객관적이며, 사물들이 세계 속에서 어떻게 존재하고 있는가에 따라 참이거나 거짓이 된다.
- 5) 과학에 대한 참은 인식 가능하고 우리들은 사실상 그러한 참의 일부를 인식한다. 그래서 과학의 용어들은 세계 속에 있는 사물들을 성공적으로 지시한다. (ex. 우리는 전자 이론을 믿어야 하며 그 이론의 대부분은 지식으로 간주된다.)

- 도구주의적 태도와 실재론적 태도를 병행할 수도 있다.
Ex) 프톨레마이오스 체계의 지구중심설에 대해서는 실재론적 태도, 주전원 이론에 대해서는 도구주의적 태도/ 태양 중심의 태양계 모델에 대해서는 실재론적 태도, 양자론의 일부에 대해서는 도구주의적 태도/ 프톨레마이오스 체계에 대해서는 실재론적 태도, 코페르니쿠스 체계에 대해서는 도구주의적 태도 등.
- 도구주의와 실재론은 이론 자체의 특징이라기보다는 과학 이론을 대하는 태도.