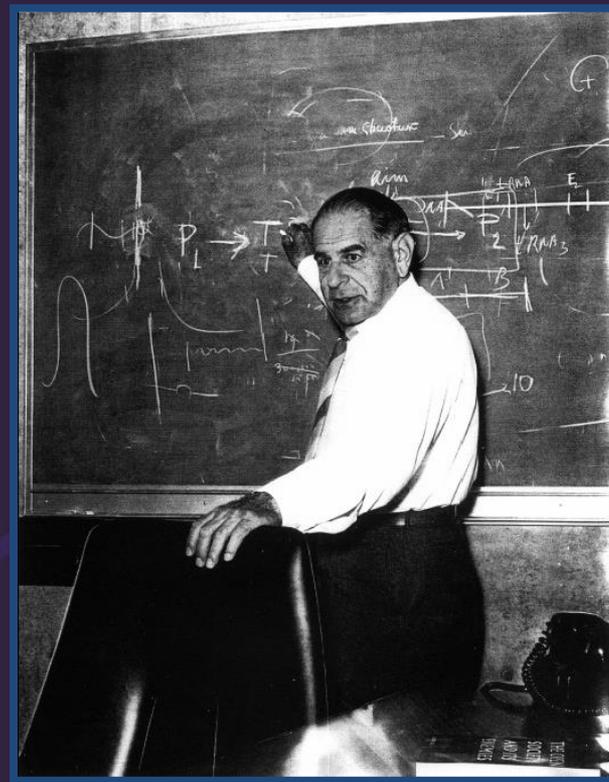


- 과학의 정수는 비판정신
- 이론을 최대한 엄격히 시험
- 시험에 실패한 이론은 사정없이 제거
- 신앙을 가지고 이론을 유지하는 것은 비과학적
- 과학자도 독단을 피하는 게 제일 중요함



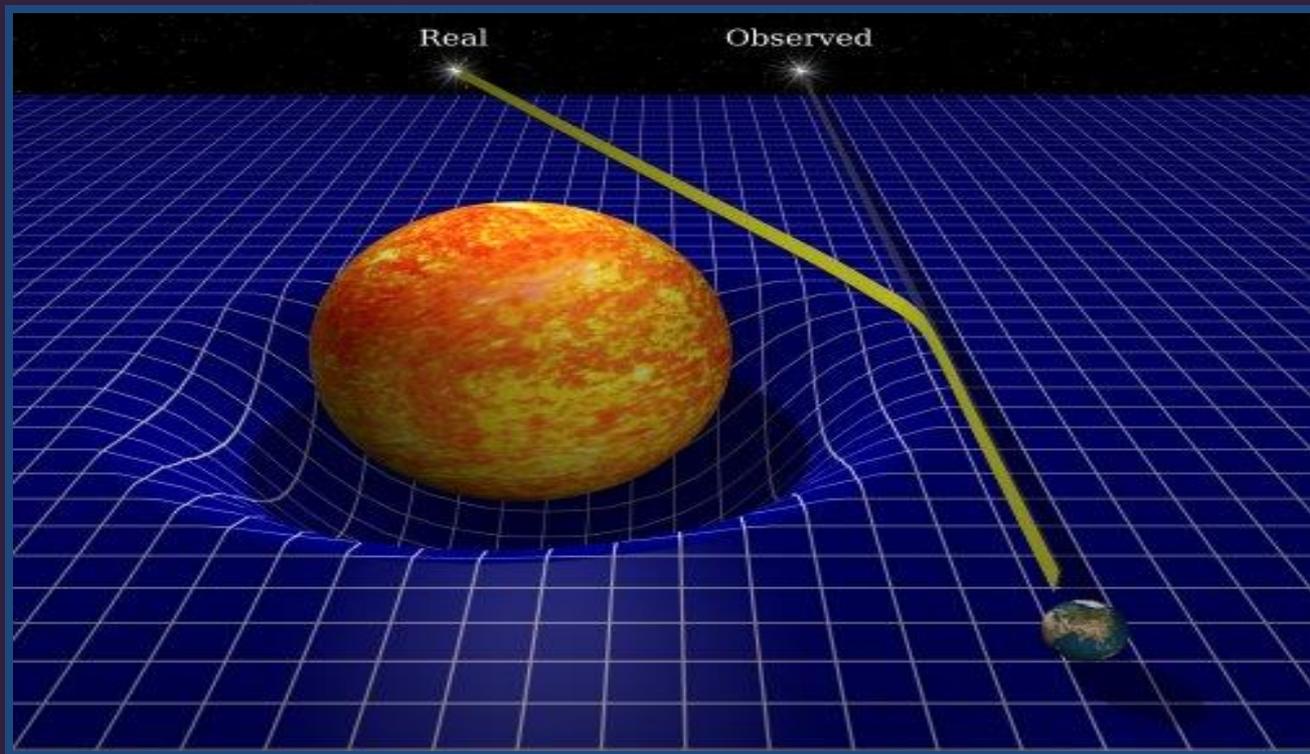
포퍼 [Karl Popper]

빈Vienna, Wien에서 보낸 포퍼의 청년기

- 1차 대전 패배 후의 혼란
- 다들 자칭 <과학적>인 여러 이론 병립
- 마르크스주의, 프로이트의 분석 심리학, 인종주의 등등
- 훌륭한 자기들 이론으로 모든 것이 설명된다는 주장

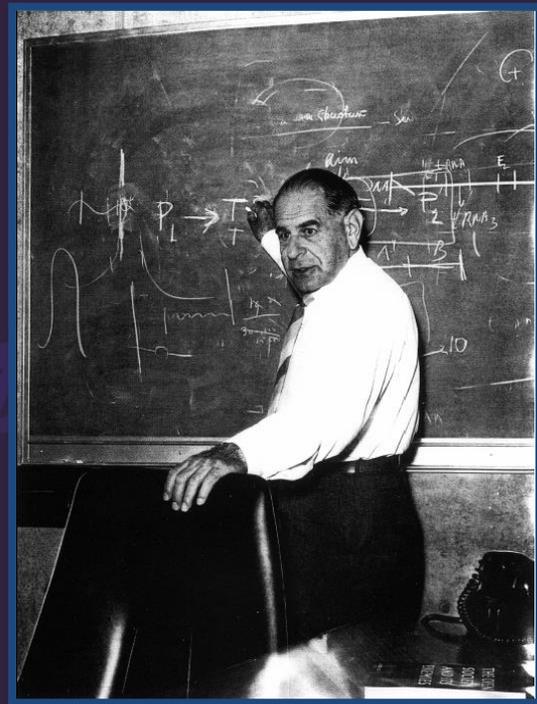


아인슈타인이 일반 상대성 이론에서 예측한 중력에 의한 빛의 회절



포퍼의 반증주의 falsificationism

- 과학의 논리는 **증명이 아니라 반증**
- 과학의 진보는 끝없는 **추측과 반증의 반복**
- 이론을 유지하는 것 자체로는 배우는 것이 없다
- “**비판**은 모든 이성적 사고의 피와 살이 된다.”
- **문제** : 실제 과학자들은 독단적인 경우가 많다



쿤Thomas Kuhn의 패러다임 개념



© Jesse Schust

- **패러다임**: 문법에서 <범례>나 <어형변화표>의 의미
- 과학적 **본보기**나 **귀감**: 누가 어떤 훌륭한 업적을 남겼을 때 그것을 본받는다
- 본받는 과정에서 **스타일**이나 **전통**이 생겨난다

어형변화표

	English	French	Persian	Spanish	Irish	Chinese
1 st Sg.	I speak	je parl-e	harf-mizan-am	habl-o	labh-rann	shuo
2 nd Sg.	you speak	tu parl-es	harf-mizan-i	habl-as	labh-rann	shuo
3 rd Sg.	he/she speaks	il/elle parl-e	harf-mizan-ad	habl-a	labh-rann	shuo
1 st Pl.	we speak	nous parl-ons	harf-mizan-im	habl-amos	labh-rann	shuo
2 nd Pl.	you speak	vous parl-ez	harf-mizan-id	habl-ais	labh-rann	shuo
3 rd Pl.	they speak	ils/elles parl-ent	harf-mizan-and	habl-an	labh-rann	shuo

쿤의 정상과학normal science개념

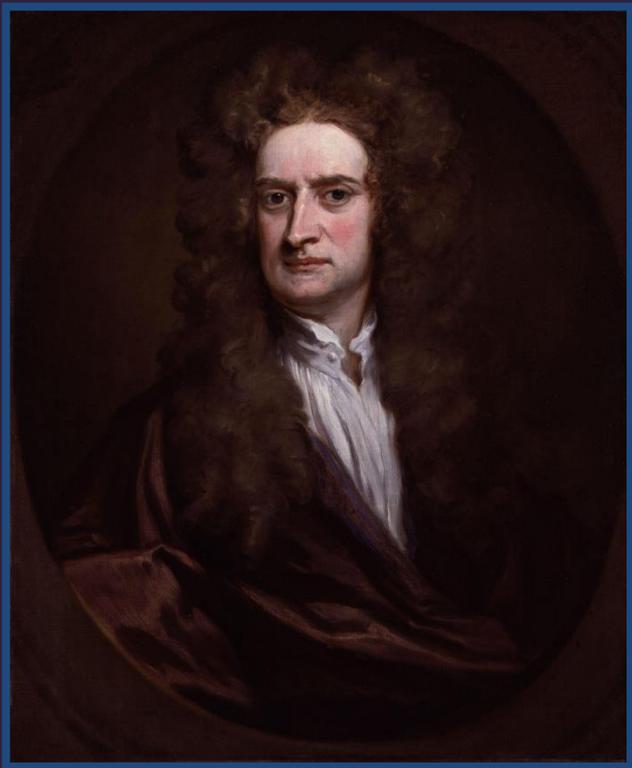


© Jesse Schust

정상과학

특정한 패러다임을
받아들이고
그 틀 안에서 연구하는 것

패러다임의 한 예 - 뉴턴 역학



- 운동의 제2 법칙 $F = ma = m(d^2x/dt^2)$
- 중력 (만유인력) 법칙 $F = Gm_1m_2/r^2$
- 물체를 **점 같은 입자의** 모임으로 분석
- 수학적으로 하고, **미적분** 사용
- 인력의 작동 원리는 **묻지 말기**
- 태양계 내의 천체역학에서 **대성공**
- 역학의 다른 부분도
다른 과학도 모두 뉴턴 스타일

화학 원소의 주기율표

표준 주기율표
Periodic Table of the Elements

표기법:

원자 번호
기호
원소명(국문)
원소명(영문)
표준 원자량

1 1 H 수소 hydrogen (1.007; 1.009)	2 4 He 헬륨 helium 4.003																	18 2 He 헬륨 helium 4.003			
3 3 Li 리튬 lithium (6.938; 6.997)	4 4 Be 베릴륨 beryllium 9.012																	17 9 F 플루오린 fluorine 19.00	18 10 Ne 네온 neon 20.18		
11 12 Na 나트륨 sodium 22.99	12 12 Mg 마그네슘 magnesium 24.31																	15 7 N 질소 nitrogen (14.00; 14.01)	16 8 O 산소 oxygen (15.99; 16.00)	17 9 F 플루오린 fluorine 19.00	18 10 Ne 네온 neon 20.18
19 19 K 칼륨 potassium 39.10	20 20 Ca 칼슘 calcium 40.08	21 21 Sc 스칸듐 scandium 44.96	22 22 Ti 타이타늄 titanium 47.87	23 23 V 바나듐 vanadium 50.94	24 24 Cr 크로뮴 chromium 52.00	25 25 Mn 망가니즈 manganese 54.94	26 26 Fe 철 iron 55.85	27 27 Co 코발트 cobalt 58.93	28 28 Ni 니켈 nickel 58.69	29 29 Cu 구리 copper 63.55	30 30 Zn 아연 zinc 65.38(2)	31 31 Ga 갈륨 gallium 69.72	32 32 Ge 저마늄 germanium 72.63	33 33 As 비소 arsenic 74.92	34 34 Se 셀레늄 selenium 78.96(3)	35 35 Br 브로민 bromine 79.90	36 36 Kr 크립톤 krypton 83.80				
37 37 Rb 루비듐 rubidium 85.47	38 38 Sr 스트론튬 strontium 87.62	39 39 Y 이트륨 yttrium 88.91	40 40 Zr 지르코늄 zirconium 91.22	41 41 Nb 나이오븀 niobium 92.91	42 42 Mo 몰리브덴 molybdenum 95.96(2)	43 43 Tc 테크네튬 technetium 101.1	44 44 Ru 루테튬 ruthenium 101.1	45 45 Rh 로듐 rhodium 102.9	46 46 Pd 팔라듐 palladium 106.4	47 47 Ag 은 silver 107.9	48 48 Cd 카드뮴 cadmium 112.4	49 49 In 인듐 indium 114.8	50 50 Sn 주석 tin 118.7	51 51 Sb 안티모니 antimony 121.8	52 52 Te 텔루륨 tellurium 127.6	53 53 I 아이오딘 iodine 126.9	54 54 Xe 제논 xenon 131.3				
55 55 Cs 세슘 caesium 132.9	56 56 Ba 바륨 barium 137.3	57-71 57-71 란타넘족 lanthanoids	72 72 Hf 하프늄 hafnium 178.5	73 73 Ta 탄탈럼 tantalum 180.9	74 74 W 텅스텐 tungsten 183.8	75 75 Re 레늄 rhenium 186.2	76 76 Os 오스뮴 osmium 190.2	77 77 Ir 이리듐 iridium 192.2	78 78 Pt 백금 platinum 195.1	79 79 Au 금 gold 197.0	80 80 Hg 수은 mercury 200.6	81 81 Tl 탈륨 thallium (204.3; 204.4)	82 82 Pb 납 lead 207.2	83 83 Bi 비스무트 bismuth 209.0	84 84 Po 폴로늄 polonium	85 85 At 아스타틴 astatine	86 86 Rn 라돈 radon				
87 87 Fr 프랑슘 francium	88 88 Ra 라듐 radium	89-103 89-103 악티늄족 actinoids	104 104 Rf 러더포듐 rutherfordium	105 105 Db 더브늄 dubnium	106 106 Sg 시보르그 seaborgium	107 107 Bh 보륨 bohrium	108 108 Hs 하슘 hassium	109 109 Mt 마이트너륨 meitnerium	110 110 Ds 다름스타름 darmstadtium	111 111 Rg 뢴트게늄 roentgenium	112 112 Cn 코페르니슘 copernicium	113 113 Nh 플레로븀 flerovium	114 114 Lv 라비모륨 livermorium	115 115 Uu 우넨슘 ununium	116 116 Uub 우버슘 ununium	117 117 Uut 우투븀 ununium	118 118 Uuq 우퀴븀 ununium				
57 57 La 란타넘 lanthanum 138.9	58 58 Ce 세륨 cerium 140.1	59 59 Pr 프라세오디뮴 praseodymium 140.9	60 60 Nd 네오디뮴 neodymium 144.2	61 61 Pm 프로메튬 promethium	62 62 Sm 사마륨 samarium 150.4	63 63 Eu 유로퓸 europium 152.0	64 64 Gd 가돌리늄 gadolinium 157.3	65 65 Tb 터븀 terbium 158.9	66 66 Dy 디스프로슘 dysprosium 162.5	67 67 Ho 홀름 holmium 164.9	68 68 Er 어븀 erbium 167.3	69 69 Tm 툴륨 thulium 168.9	70 70 Yb 이트븀 ytterbium 173.1	71 71 Lu 루테튬 lutetium 175.0							
89 89 Ac 악티늄 actinium	90 90 Th 토륨 thorium 232.0	91 91 Pa 프로악티늄 protactinium 231.0	92 92 U 우라늄 uranium 238.0	93 93 Np 넵투늄 neptunium	94 94 Pu 플루토늄 plutonium	95 95 Am 아메리슘 americium	96 96 Cm 쿠륨 curium	97 97 Bk 버클륨 berkelium	98 98 Cf 칼리포르늄 californium	99 99 Es 아이인슈타인슘 einsteinium	100 100 Fm 페르뮴 fermium	101 101 Md 멘델레븀 mendelevium	102 102 No 노벨륨 nobelium	103 103 Lr 로렌슘 lawrencium							

참조) 표준 원자량은 2011년 IUPAC에서 결정한 새로운 형식을 따른 것으로 [] 안에 표시된 숫자는 2 종류 이상의 안정한 동위원소가 존재하는 경우에 각각 시료에서 발견되는 자연 존재비의 분포를 고려한 표준 원자량의 범위를 나타낸 것임. 자세한 내용은 *Pure Appl. Chem.* 83, 359-396(2011); doi:10.1351/PAC-REP-10-09-14을 참조하기 바람.

멘델레예프 Dmitri Mendeleev가 처음에 만들었던 주기율표

Mendelejeff's First Periodic Table (March, 1869)

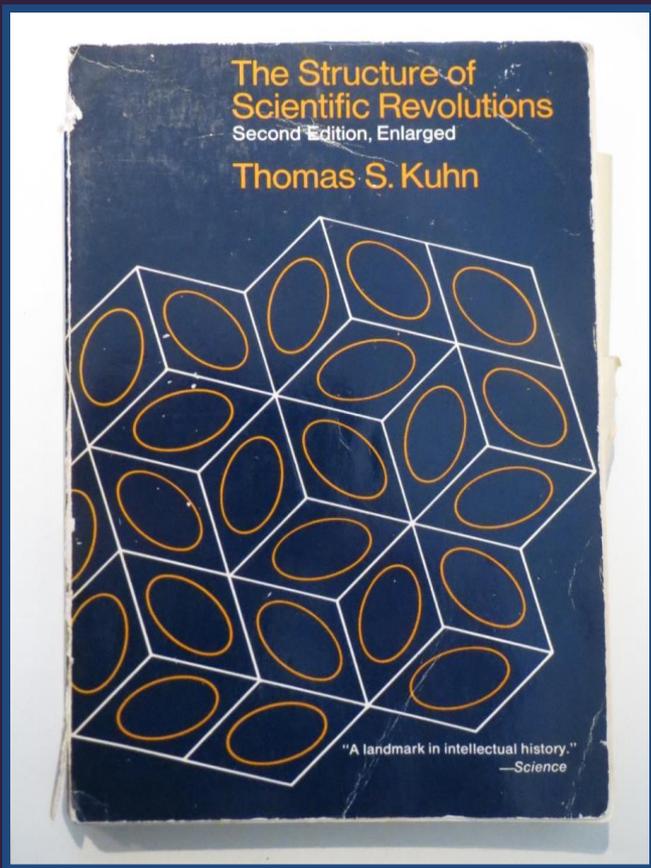
				Ti	50	Zr	90	?	100
				V	51	Nb	94	Ta	182
				Cr	52	Mo	96	W	186
				Mn	55	Rh	104.4	Pt	197.4
				Fe	56	Ru	104.4	Ir	198
				Ni = Co	59	Pd	106.6	Os	199
				Cu	63.4	Ag	108	Hg	200
				Zn	65.2	Cd	112		
				?	68	U	116	Au	197?
				?	70	Sn	118		
				As	75	Sb	122	Bi	210?
				Se	79.4	Te	128?		
				Br	80	I	127		
				Rb	85.4	Cs	133	Tl	204
				Sr	87.6	Ba	137	Pb	207
				Ca	40				
				?	45				
				Er?	56				
				Yt?	60				
				In	75.6?				
				Th	118?				
H	1								
	Be	9.4	Mg	24					
	B	11	Al	27					
	C	12	Si	28					
	N	14	P	31					
	O	16	S	32					
	F	19	Cl	35.5					
Li	7	Na	23	K	39				

쿤의 정상과학normal science개념



© Jesse Schust

- 정상과학: 특정한 패러다임을 받아들이고 그 틀 안에서 연구하는 것
- 정상과학은 패러다임을 시험하는 것이 아니라고 믿고 적용해 발전시키는 것이 목적
- 과학적 퍼즐 풀기 puzzle-solving
- 패러다임이 처음에 보여준 성공의 기약을 실현하는 노력
- 뒤처리 mopping-up

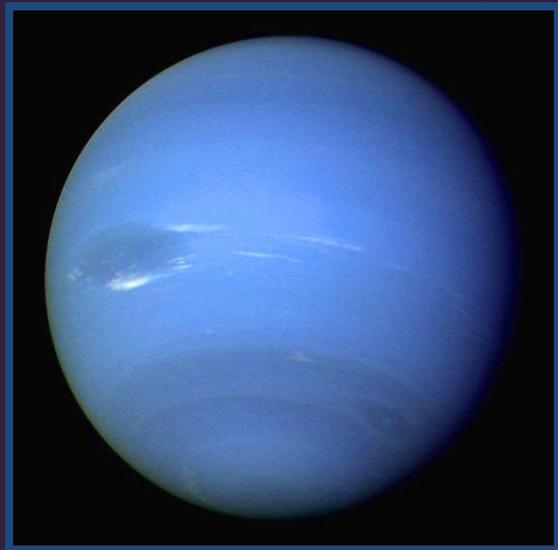


『과학 혁명의 구조』

1962, 1970

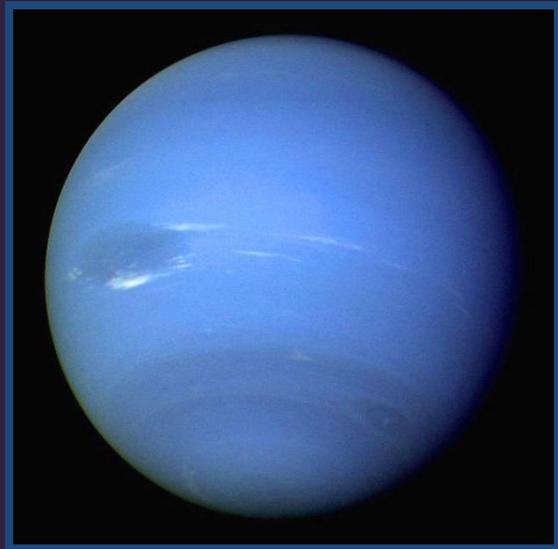
과학사

해왕성 이야기



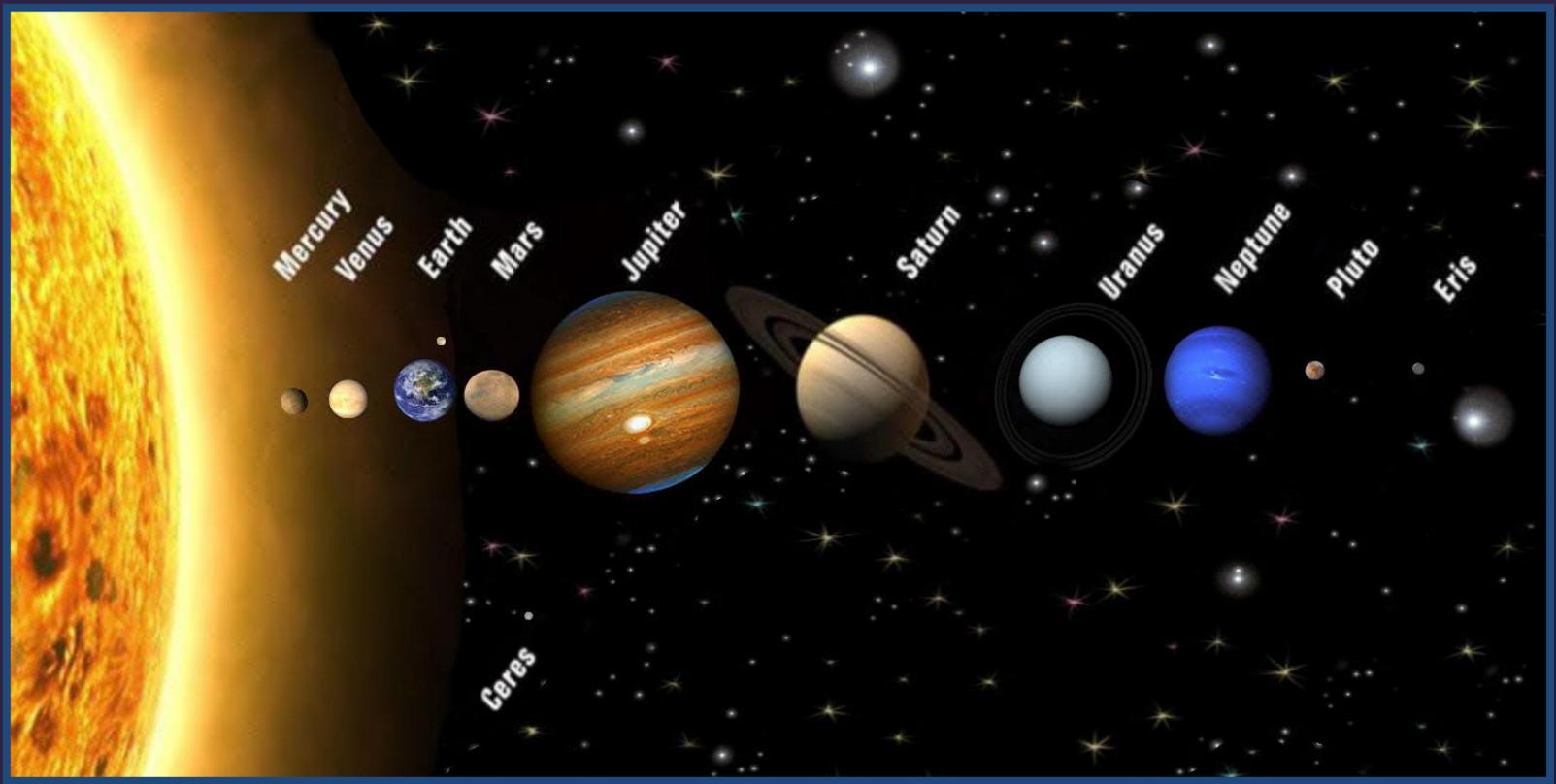
- 1781년 허셀William Herschel의 천왕성 발견
- 이후 관측 결과 천왕성의 궤도가 비정상 (뉴턴의 법칙들을 위반)
- 뉴턴 역학 패러다임의 반증? 정상과학에서 허용될 수 없는 일

해왕성 이야기

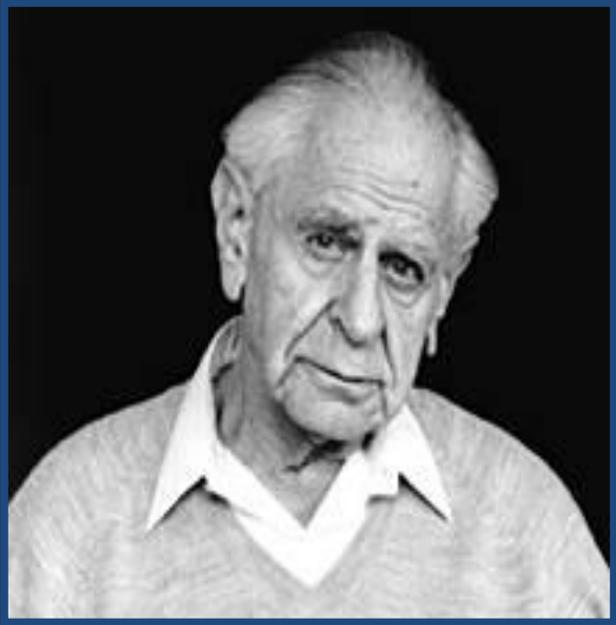


- **임시방편적 가설** ad hoc hypothesis
의 난립
- 르베리에와 애덤스 의 **해왕성 가설**
- 1846년 갈레의 **해왕성 관측**

태양계



칼 포퍼와 토머스 쿤의 충돌



칼 포퍼 [Karl Popper]

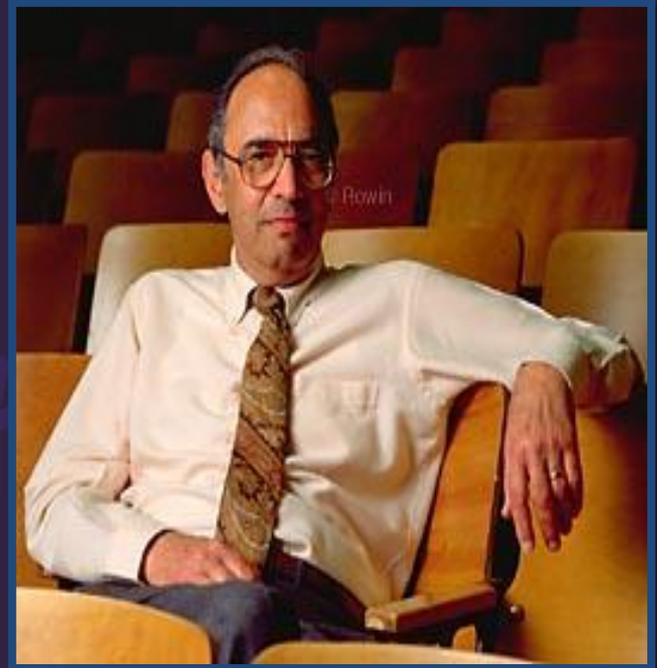
“쿤이 이야기하는 <정상과학자>는
독단적인 정신으로 세뇌교육을 받은
불쌍한 사람들이다.

그 사람들의 태도는 과학뿐 아니라
우리 문명 자체에 위협을 가한다.”

칼 포퍼와 토머스 쿤의 충돌

“포퍼의 말과는 정반대로
과학은 비판적 논의를 포기함으로써
시작된다.”

“정상과학은 패러다임이
미리 만들어놓은 비교적 경직된 상자에
자연을 처넣으려는 노력이다.”



토마스 쿤 [Thomas Kuhn]