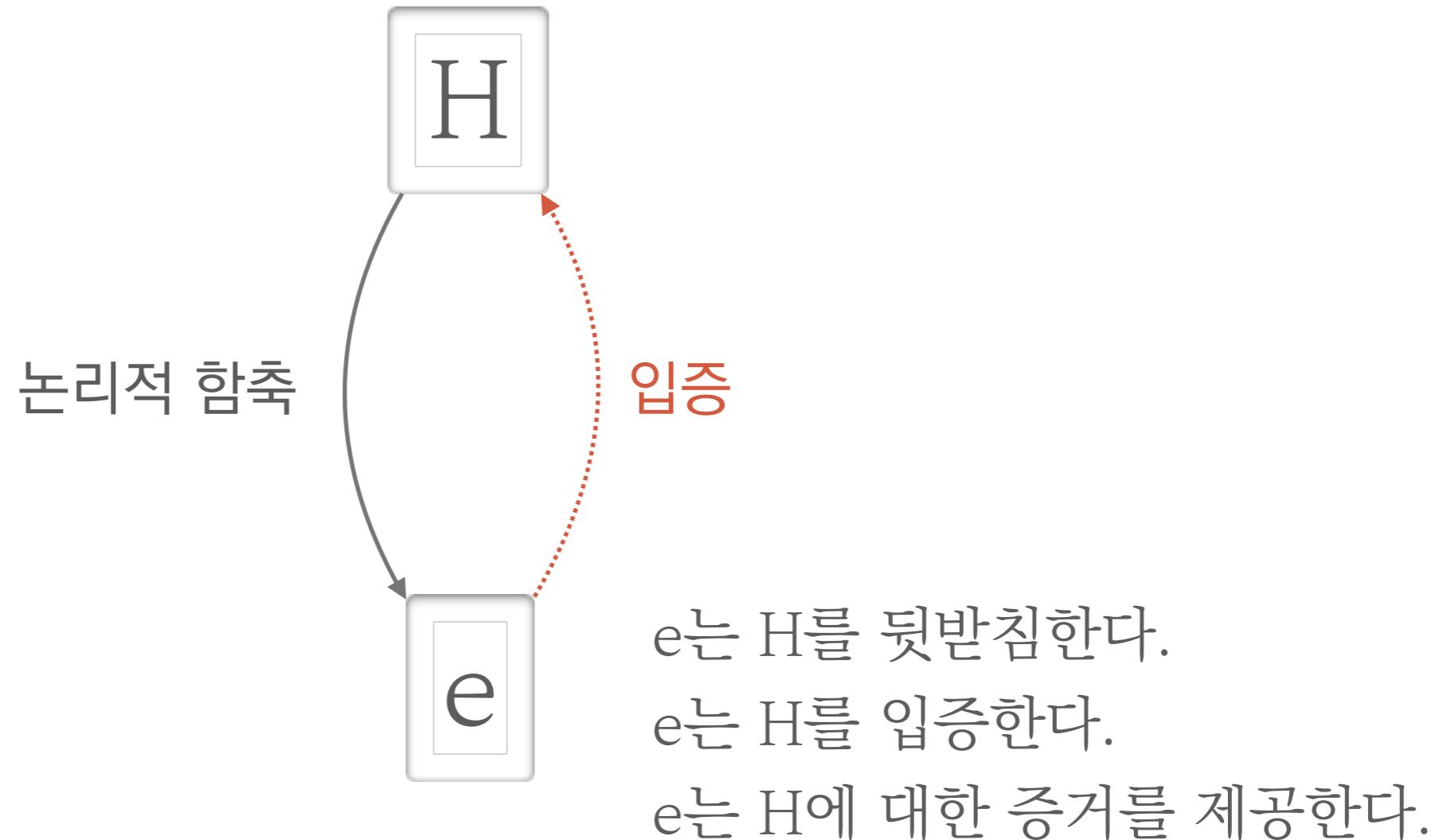




과학적 증거

입증의 정도와 증거의 조건들

가설연역주의적 증거



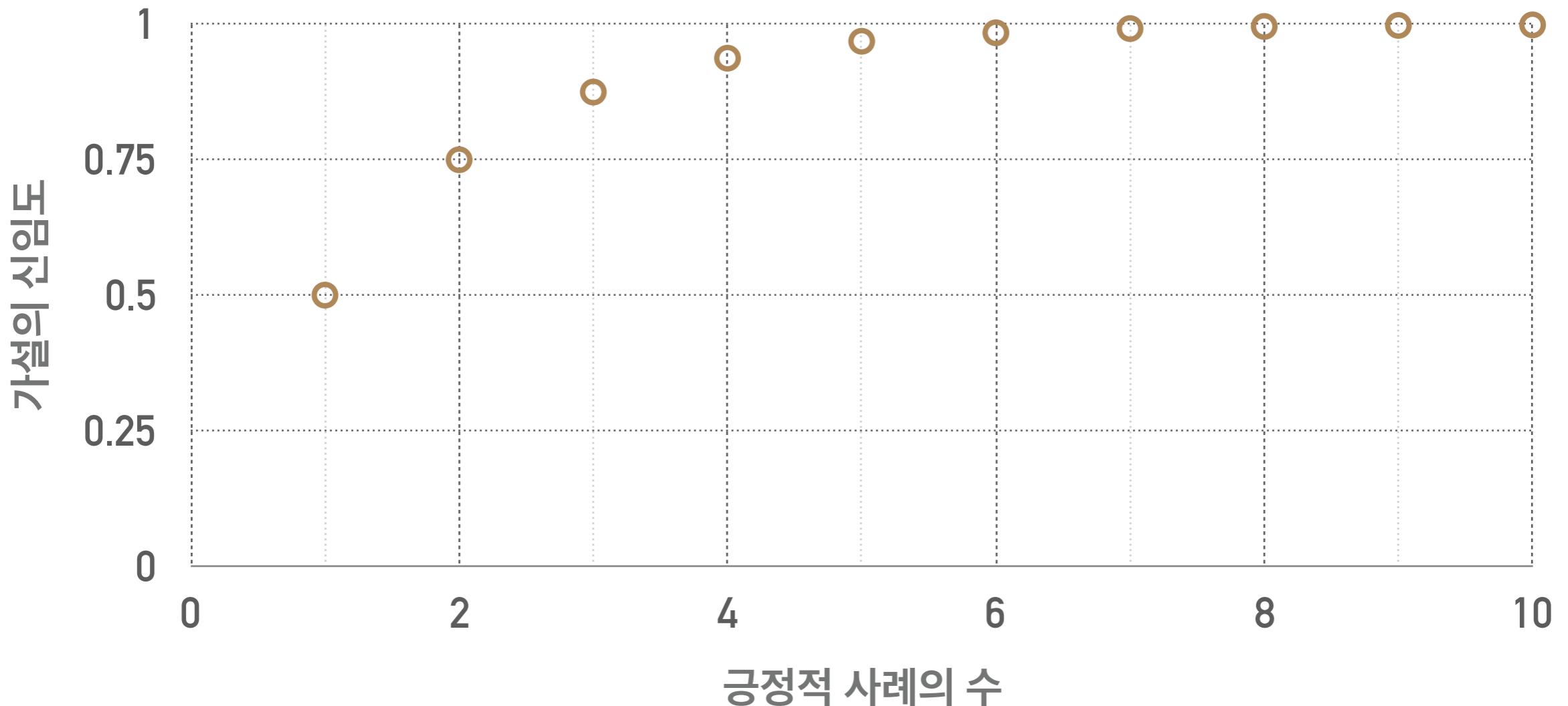
입증의 정도

“가설은 [...] 결코 관찰 증거에 의해 완전히 검증될 수 없다. 따라서 나는 우리가 검증 개념을 포기해야 한다고 제안했으며, 대신 가설은 증거에 의해 더 혹은 덜 입증되거나 반입증된다고 말하고자 한다.”

- 루돌프 카르납

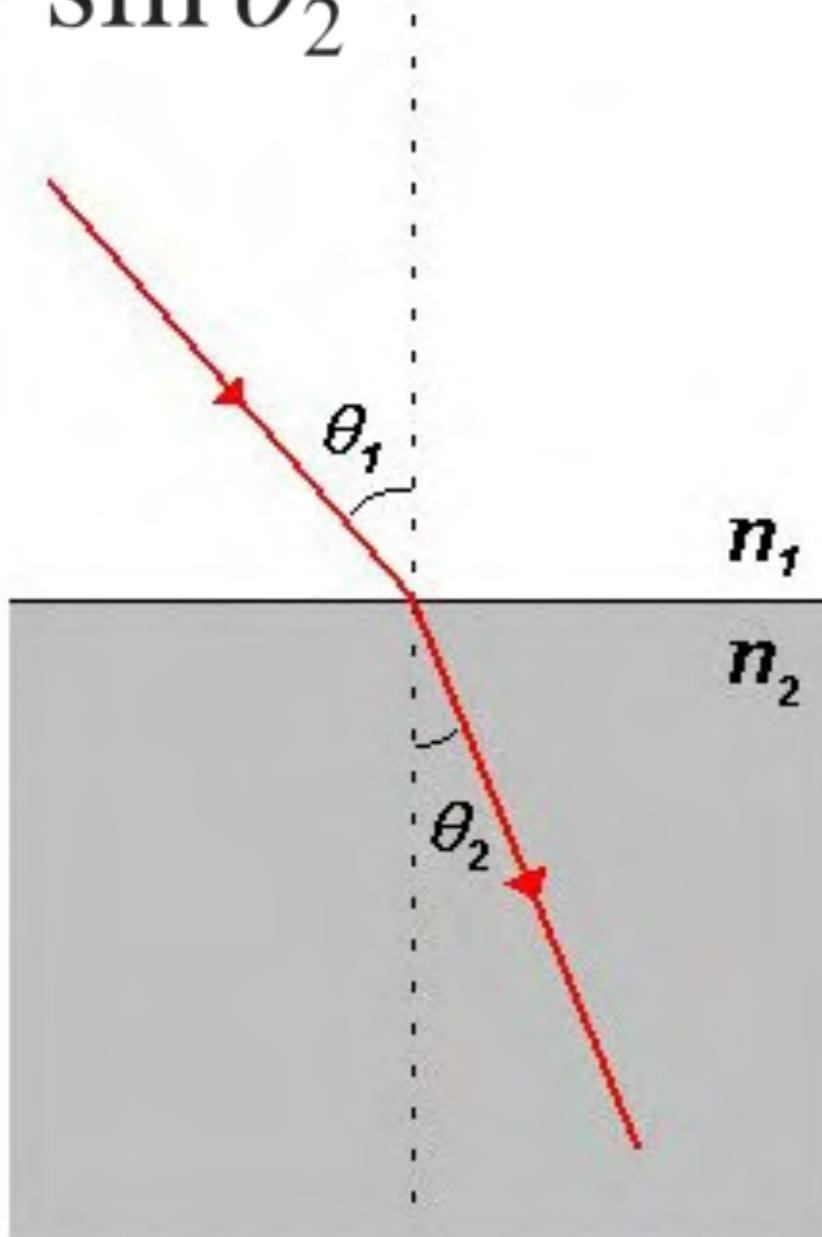
증거의 수

- ▶ 가설의 긍정적 사례가 증가할수록 가설의 신임도 증가
- ▶ 이미 확인된 긍정적 사례가 많을수록 새로운 긍정적 사례에 의한 입증 효과는 점점 감소



증거의 다양성: 스넬의 법칙의 경우

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = n \text{ (일정)}$$



▶ 세 가지 시험 방법

1. 매질과 입사각을 일정하게 유지한 채
굴절각 측정(총 100회)
2. 매질을 일정하게 유지한 채 입사각을
변경하며 굴절각 측정(총 100회)
3. 25쌍의 매질쌍에 대해 4가지 입사각
을 사용하여 굴절각 측정(총 100회)

▶ 스넬의 법칙을 가장 강하게 입증해주는 시험 방법은 무엇일까? 또 왜 그럴까?

사소한 다양성?

- ▶ 다양한 실험 날짜 혹은 다양한 실험 장소에서의 실험
- ▶ 다양한 달의 위치 혹은 다양한 행성의 위치에 따른 실험
- ▶ 눈동자나 머리 색깔이 다른 실험가에 의한 실험

증거의 정확성

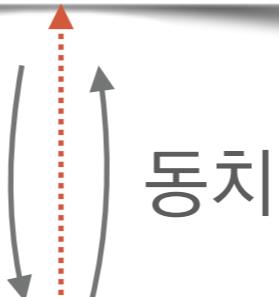
- ▶ 가설 : 관성 질량(m_a) = 중력 질량(m_g)
- ▶ 시험 : 다양한 물체의 자유낙하 가속도가 모두 같은지 확인

$$a = G \frac{M}{R^2} \frac{m_g}{m_a} = g \frac{m_g}{m_a}$$

- ▶ 동일한 방식의 시험이라도
측정의 정확성이 높아질수록 가설의 입증도 증가

까마귀의 역설

모든 까마귀는 검다



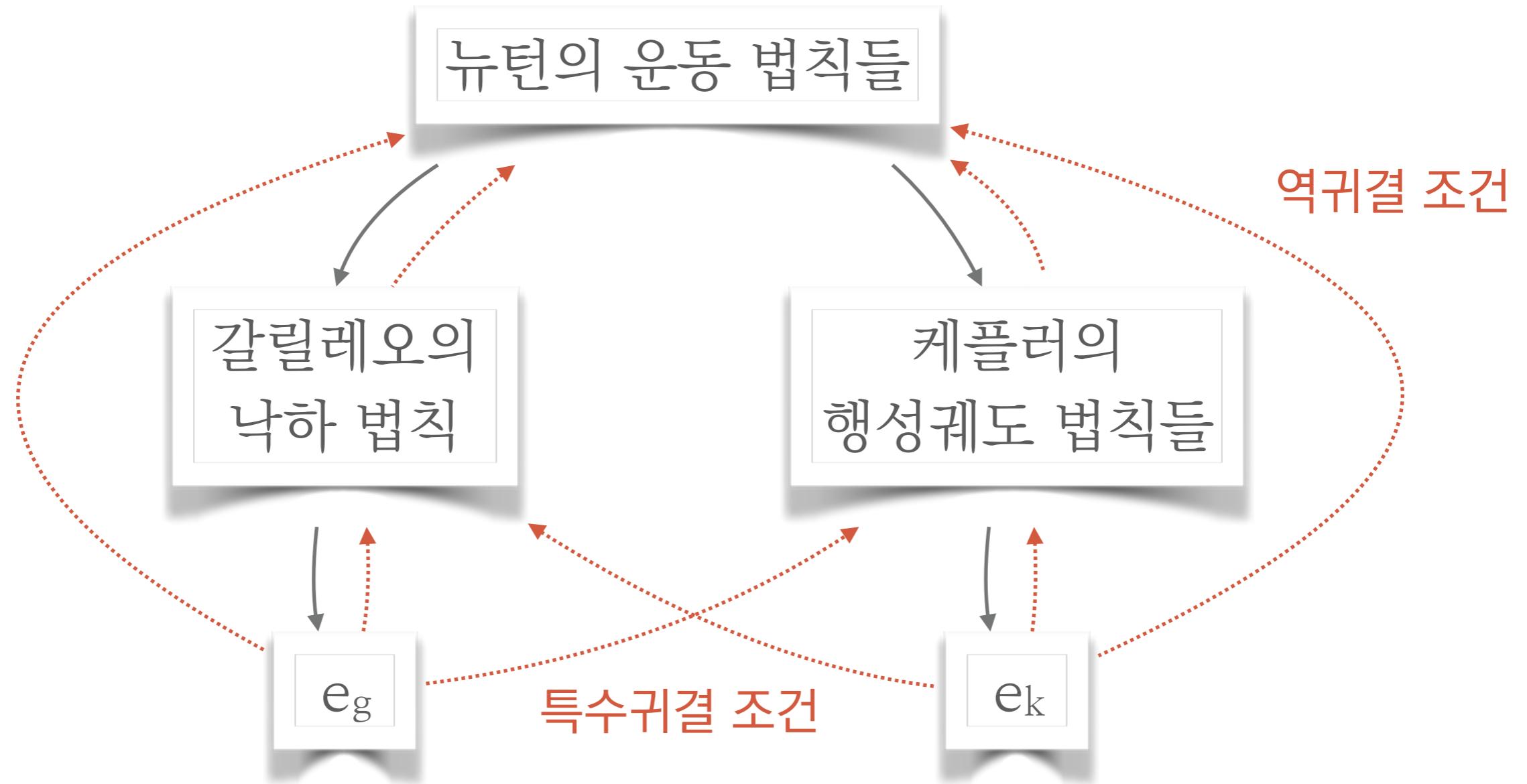
검지 않은 모든 것은 까마귀가 아니다

논리적 함축

입증

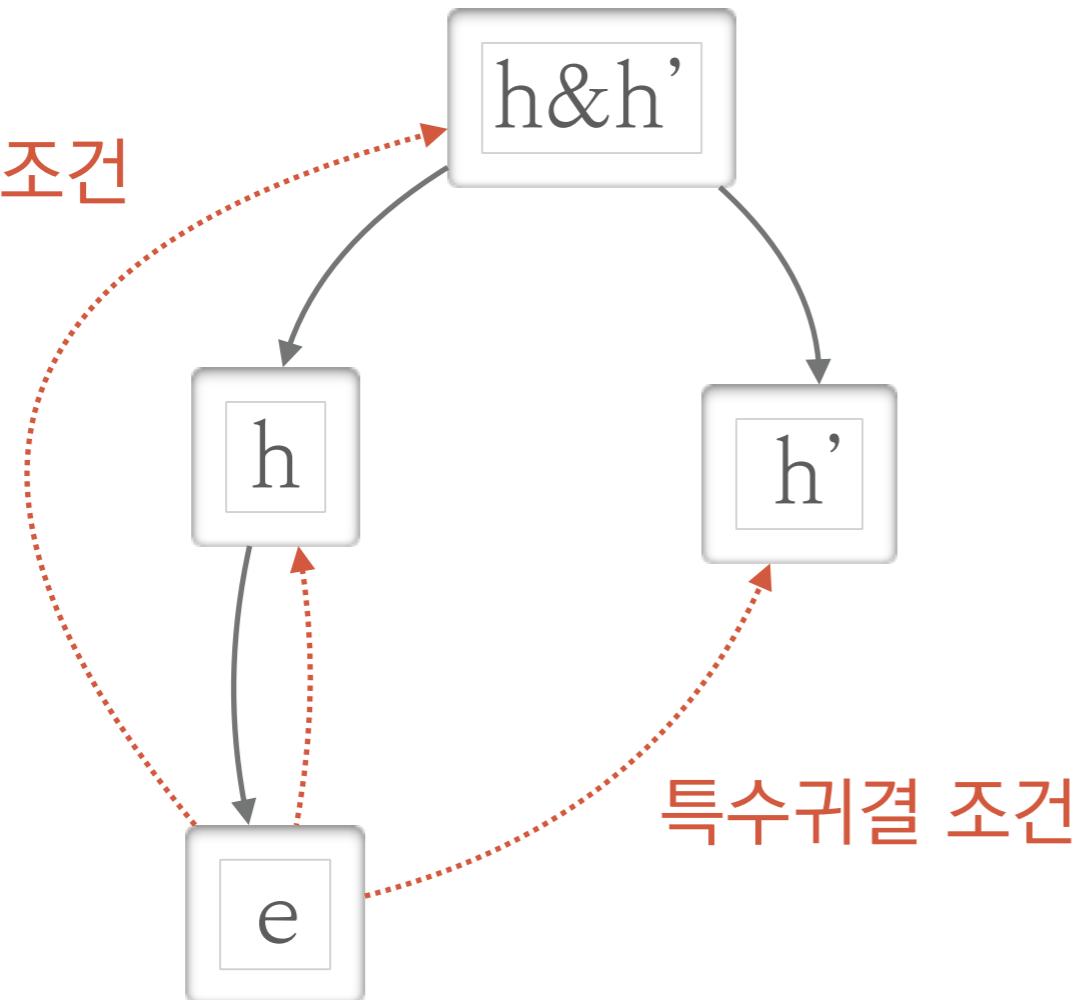


이론의 계층적 구조와 증거



무차별적 입증의 문제

역귀결 조건



- ▶ 역귀결 조건(CC)과 특수귀결 조건(SC)을 받아들일 경우, 어떤 하나의 가설을 입증하는 진술은 임의의 모든 가설을 입증하게 된다.
- ▶ e 의 도출에 아무런 기여도 하지 않는 h' 이 h 에 무임승차

해결책 1

e가 h를 입증한다. iff

(i) e가 (h&b)로부터 연역적으로 도출된다.

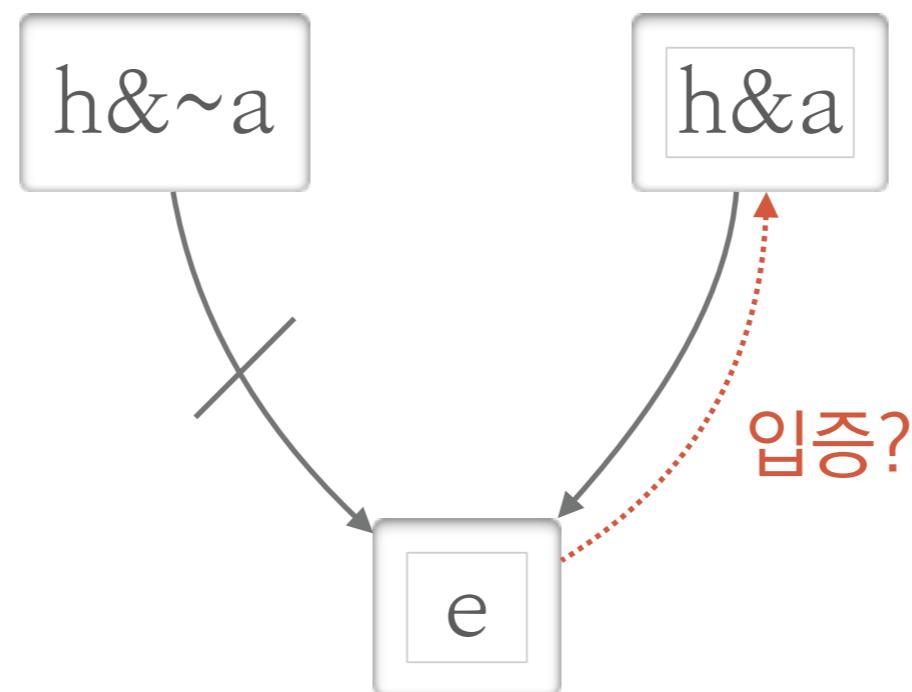
(ii) e는 b로부터 연역적으로 도출되지 않는다.

해결책 2

e 가 h 를 입증한다. iff

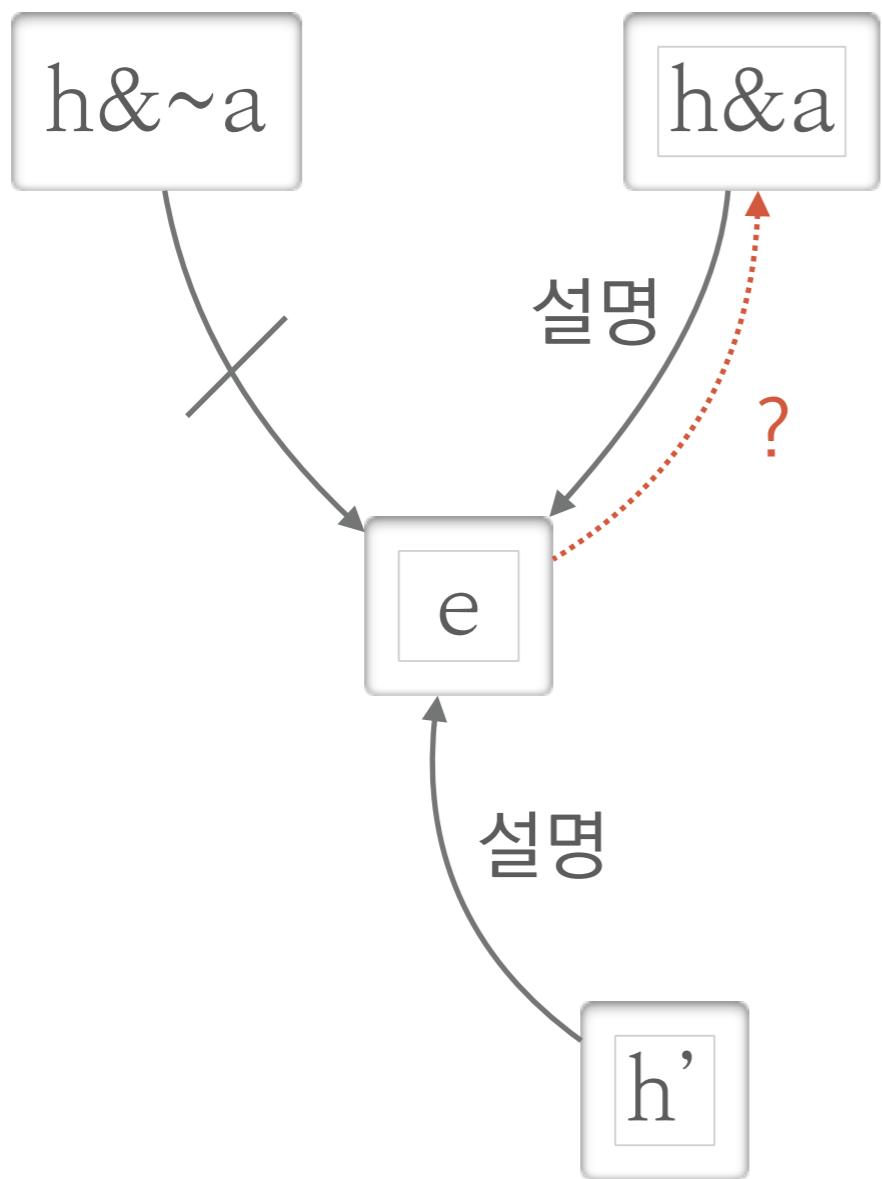
- (i) e 가 $(h \& b)$ 로부터 연역적으로 도출된다.
- (ii) e 는 b 로부터 연역적으로 도출되지 않는다.
- (iii) e 를 도출하는 h 의 진부분집합 h^* 가 존재하지 않는다.

임시방편적 가설의 문제



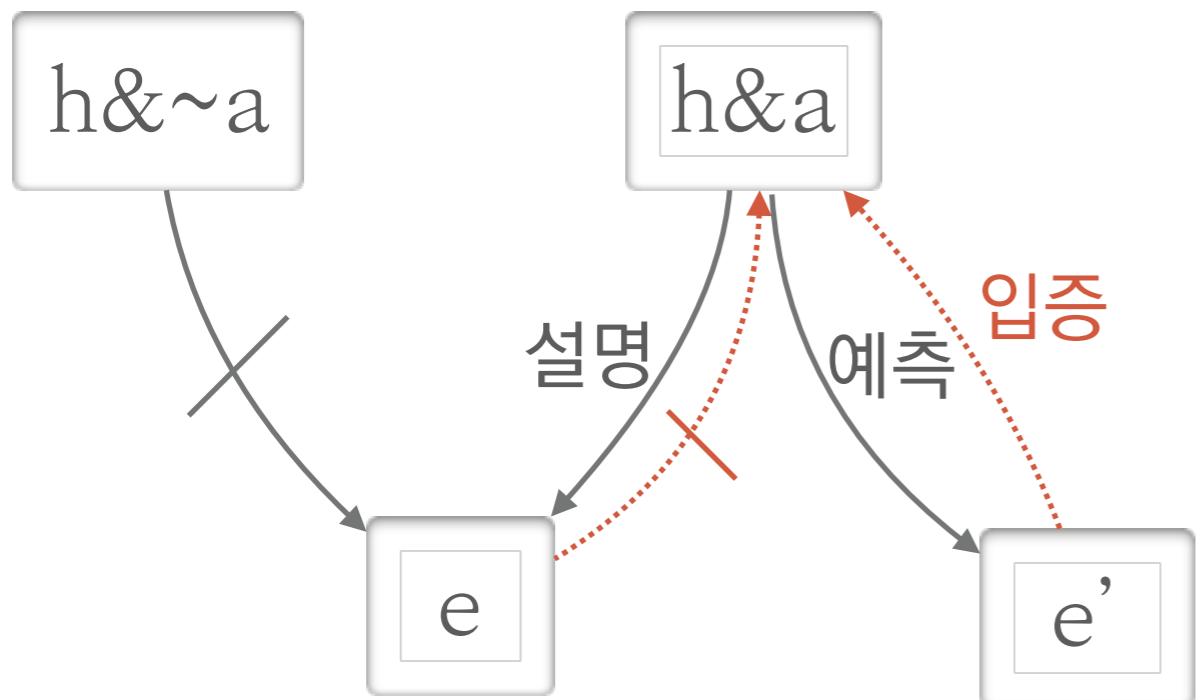
h의 반례 e로부터
h를 구제하기 위해
사후적으로 도입된
보조가설 a

해법 1 : 제거주의



- ▶ 자료를 설명할 수 있는 대안 가설이 존재한다면, 그 자료는 가설에 그다지 좋은 증거를 제공하지 못 한다.
- ▶ 특징 : 증거 판단은 가설과 자료 뿐 아니라 우리의 상상력에 의존!
- ▶ 문제점
- ▶ 우리는 모든 대안가설을 상상 할 수 없음.
- ▶ e를 설명할 수 있는 가설이 여럿 존재한다면, 그 가설들은 어떻게 차별화될 수 있는가?

해법 2: 예측주의



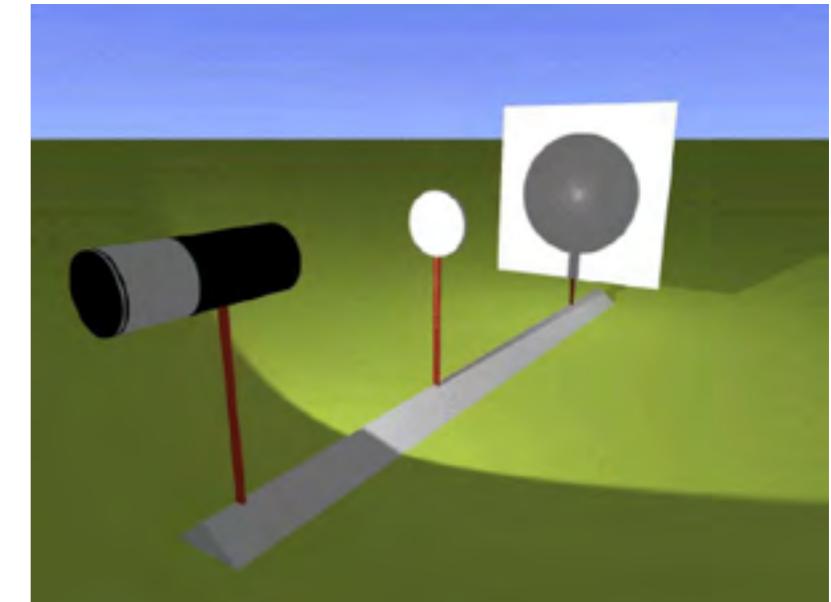
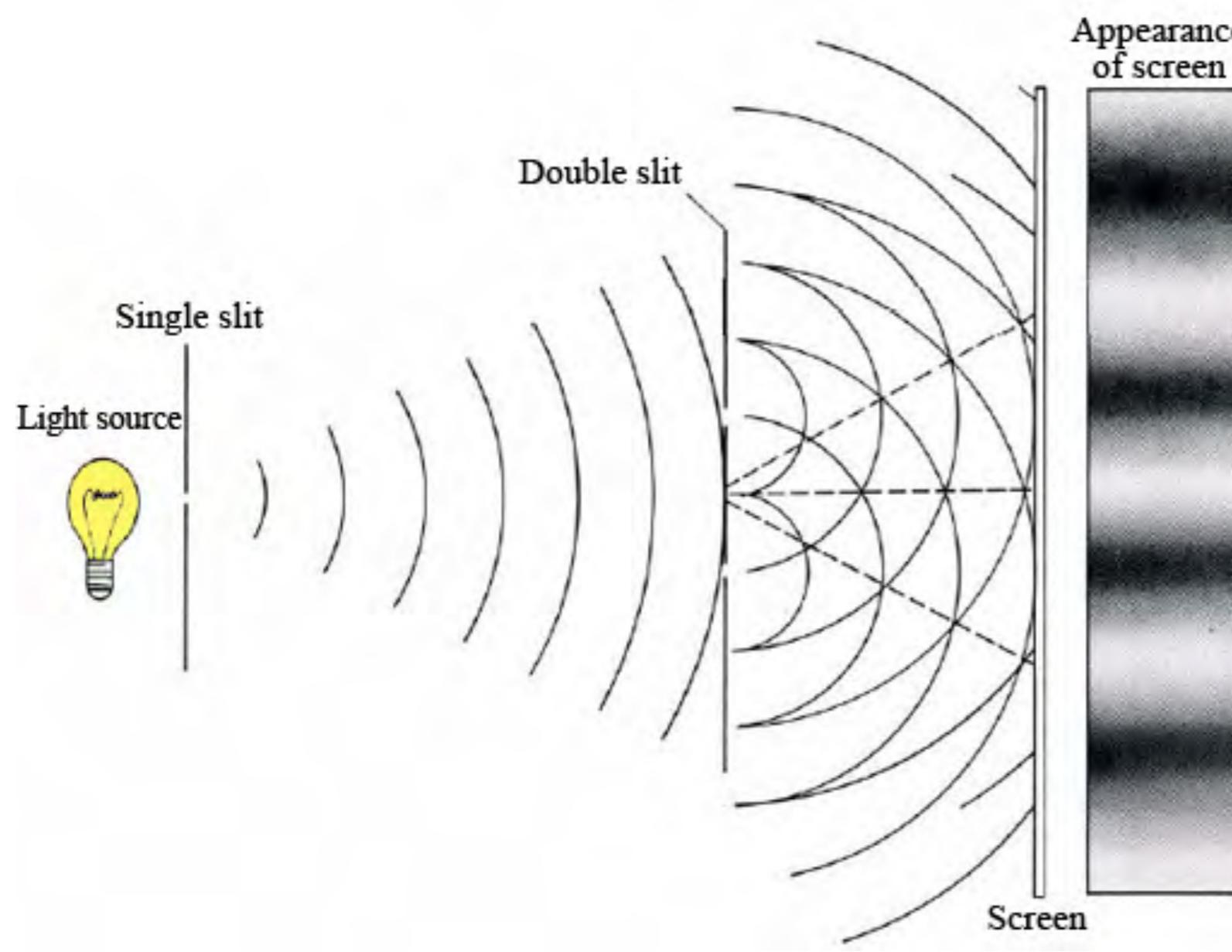
- ▶ 기존 사실을 설명하는 가설은 그 사실로부터 그다지 좋은 증거를 제공하지 못한다.
- ▶ 새로운 사실을 예측하는데 성공한 것은 기존 사실을 설명하는 것보다 '더 좋은' 증거를 제공한다.
- ▶ 문제점 : 이미 알려진 사실도 좋은 증거 역할을 많이 해왔음.
 - ▶ 케플러의 법칙들은 만유인력의 법칙에 대한 증거!
 - ▶ 수성의 근일점 운동은 일반 상대성 이론에 대한 증거!
- ▶ 해결책 : 가설 구성 과정에서 사용되지 않은 것은 예측으로 인정



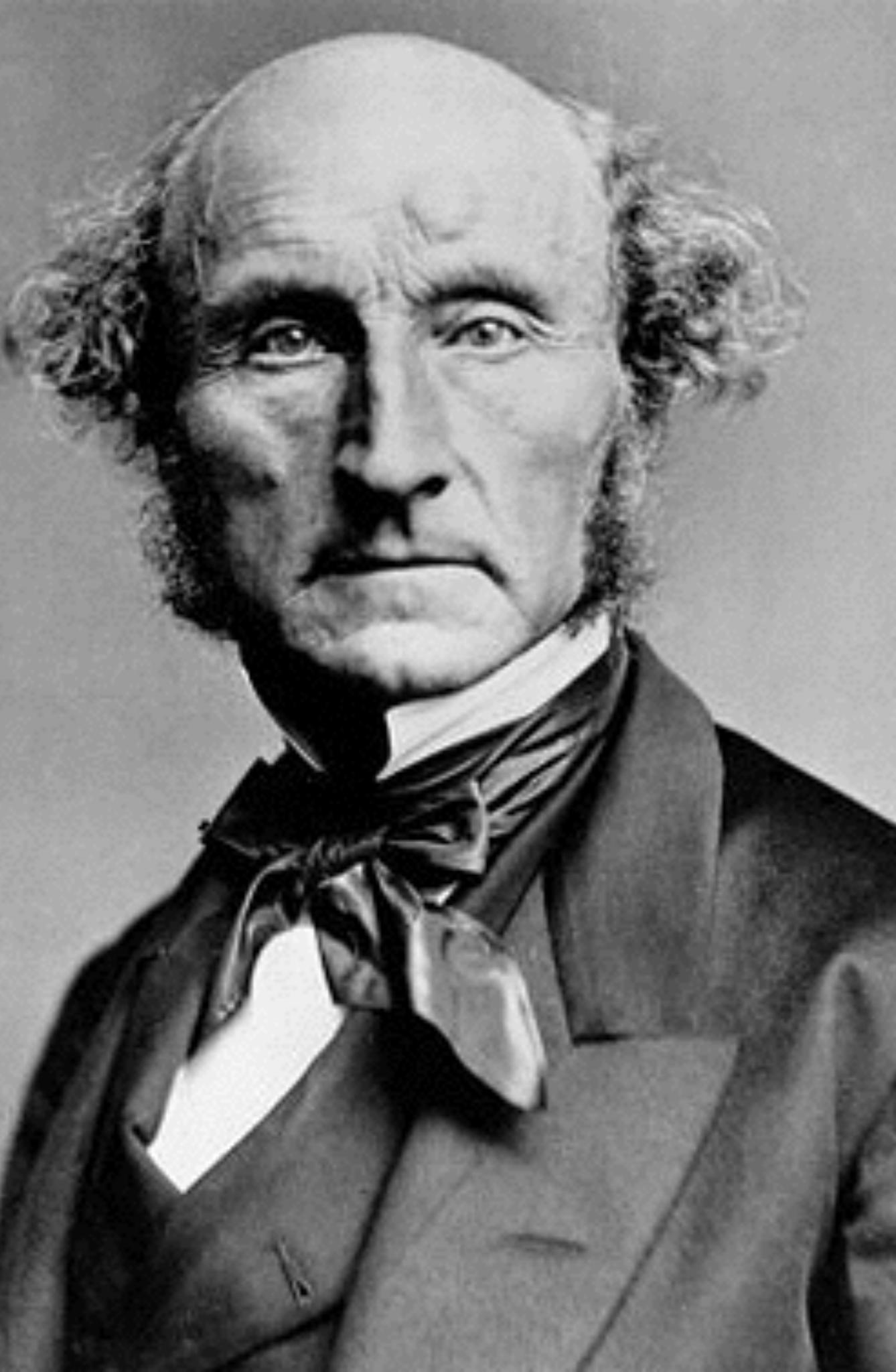
윌리엄 휴얼(1794-1866)

- ▶ 《귀납 과학의 철학》(1840)
- ▶ 관찰로부터 가설을 얻는 과정에서 ‘정신에서 비롯된 착상’이 도입된다고 주장
- ▶ 가설의 참을 추론하기 위한 조건
 - ▶ 예측 : 가설은 이미 관찰된 현상을 설명할 뿐 아니라 아직 관찰되지 않은 것도 예측해야 한다.
 - ▶ 통섭 : 가설은 “가설의 형성 과정에서 고려된 것과는 다른 종류의” 현상을 설명/예측해야 한다.
 - ▶ 정합성 : 이론은 시간이 갈수록 정합성이 높아져야 한다.

빛의 파동 이론: 예측과 통섭의 성공/정합성의 꾸준한 증가



반면 빛의 입자 이론은 현상마다 임시 방편의 가설을 도입하면서 점점 정합성 감소



존 스튜어트 밀(1806-1873)

- ▶ 『논리학 체계』(1843)
- ▶ 인과 법칙의 시험 : 통제된 실험의 필요성 강조
- ▶ 일치법 : 고려되는 원인은 동일하게 유지하고, 나머지 조건은 다양한 상황에서 동일한 결과가 산출되는지 확인
- ▶ 차이법 : 고려되는 원인 외에는 차이가 없는 두 그룹에서 서로 다른 결과가 산출되는지 확인
- ▶ 휴얼에 대한 비판
- ▶ 어떤 이론이 휴얼의 조건을 만족하더라도, 그 조건을 그만큼 만족하는 대안 가설이 존재할 수 있다.

발머의 사례 : 가상의 역사



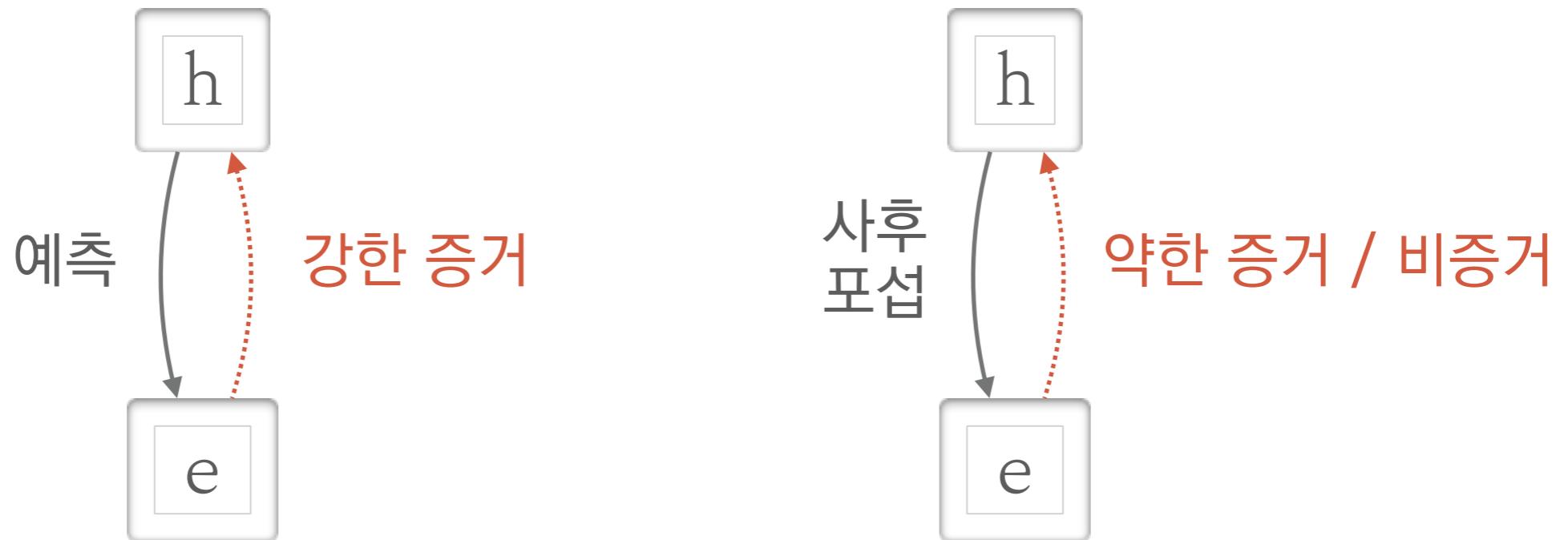
$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n=3,4,5,6$$

이후 발머의 규칙을 만족하는
나머지 31개의 스펙트럼선 확인

발머가 제안한 규칙

만약 발머가 자신의 규칙을 고안할 때
35개의 스펙트럼선 자료를 이용했다면?

동일 가설 & 동일 자료, 그러나 다른 정도의 증거?



가설의 예측이 성공하는 것은 놀라운 일이지만, 기존 자료를 설명하기 위해 고안된 가설이 자료를 설명하는 데 성공하는 것은 전혀 놀라운 일이 아니기 때문!

예측주의에 대한 옹호 논변 1: 잠재적 반증자 논변

- ▶ 가설 구성에 사용된 자료는 “**그 가설이 완전히 잘못되었다 하더라도 그 가설을 거부하게 만들 가능성이 전혀 없**”기 때문에 적절한 시험지가 될 수 없으며, 즉 가설에 대한 증거를 제공할 수 없다 (Giere 1983).
- ▶ [만약 T가 e를 설명하기 위해 구성되었다면], “**그것[e]은 실제로는 T의 잠재적 반증자가 아닌데**, 왜냐하면 T는 … e에 의해 기술된 사실에 의해 어떤 위험도 받지 않았기 때문이다.”(Worrall 1989)

예측주의에 대한 옹호 논변 2: 최선의 설명 논변

- ▶ 이론 T가 알려진 현상을 포섭하는 데 성공한 이유는?
- ▶ T가 그 현상을 설명할 수 있도록 정교하게 ‘설계’되었기 때문
- ▶ 이러한 설명의 성공은 T의 진위와 무관
- ▶ 이론 T가 새로운 현상을 예측하는 데 성공한 이유는?
- ▶ “우연의 일치” 또는 “T의 (근사적) 참”
- ▶ 그러나 “우연의 일치”는 좋은 설명이 아님!

No Miracle!

예측주의에 대한 반론들

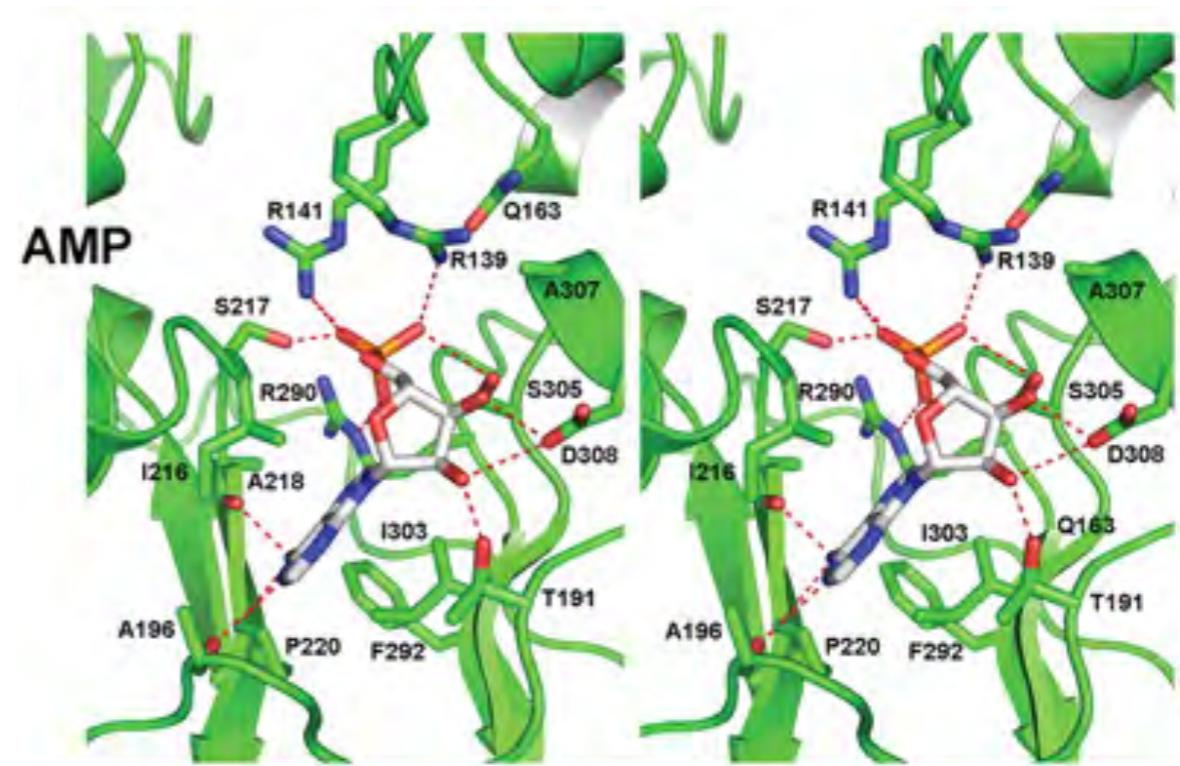
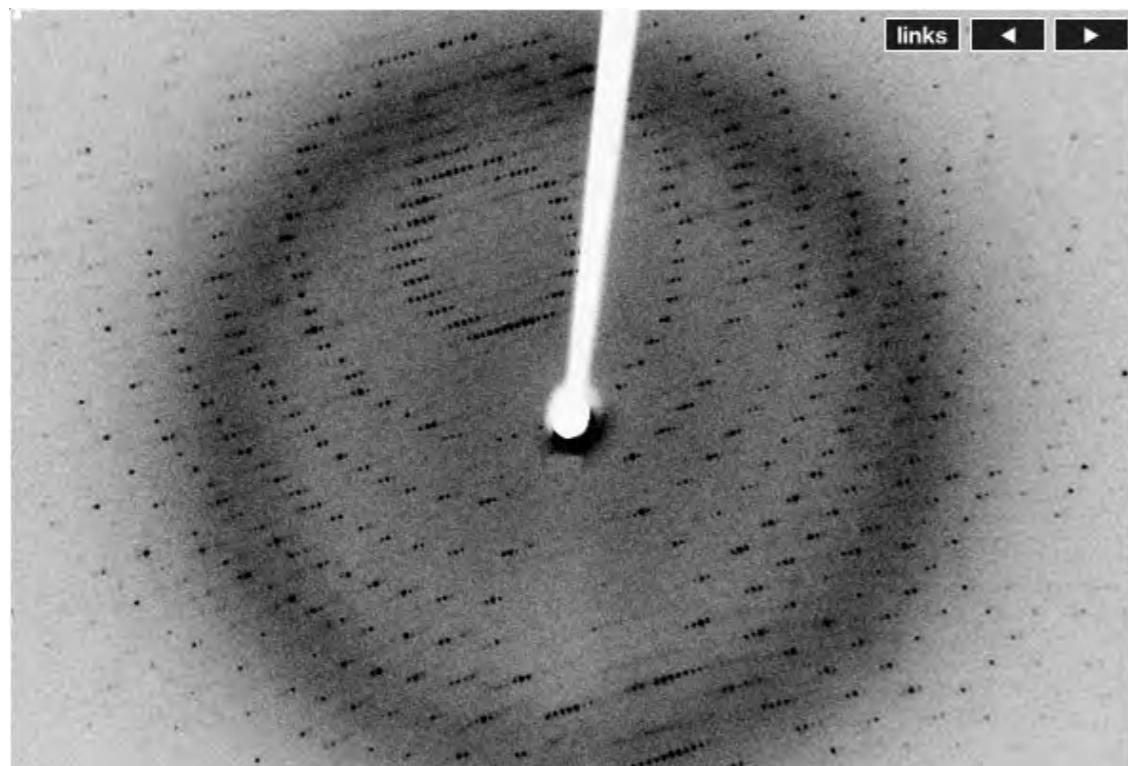
- ▶ 예측이든 포섭이든, 발머의 규칙은 35개의 자료를 “단순한” 법칙으로 환원하는 데 성공했다는 것이 중요한 점 아닐까? (헴펠)
- ▶ 증거란 가설과 자료 사이의 논리적 관계이므로, 가설과 자료 중 어느 쪽이 먼저 나타났는가라는 역사적 문제는 가설의 입증과 무관한 요인으로 취급해야 하지 않을까?
- ▶ 기존 자료라도 논리적으로 가능한 가설들 중에서 그 자료를 설명할 수 없는 가설들을 제거해준다는 점에서 가설에 대한 증거 제공.

예측주의의 반례들

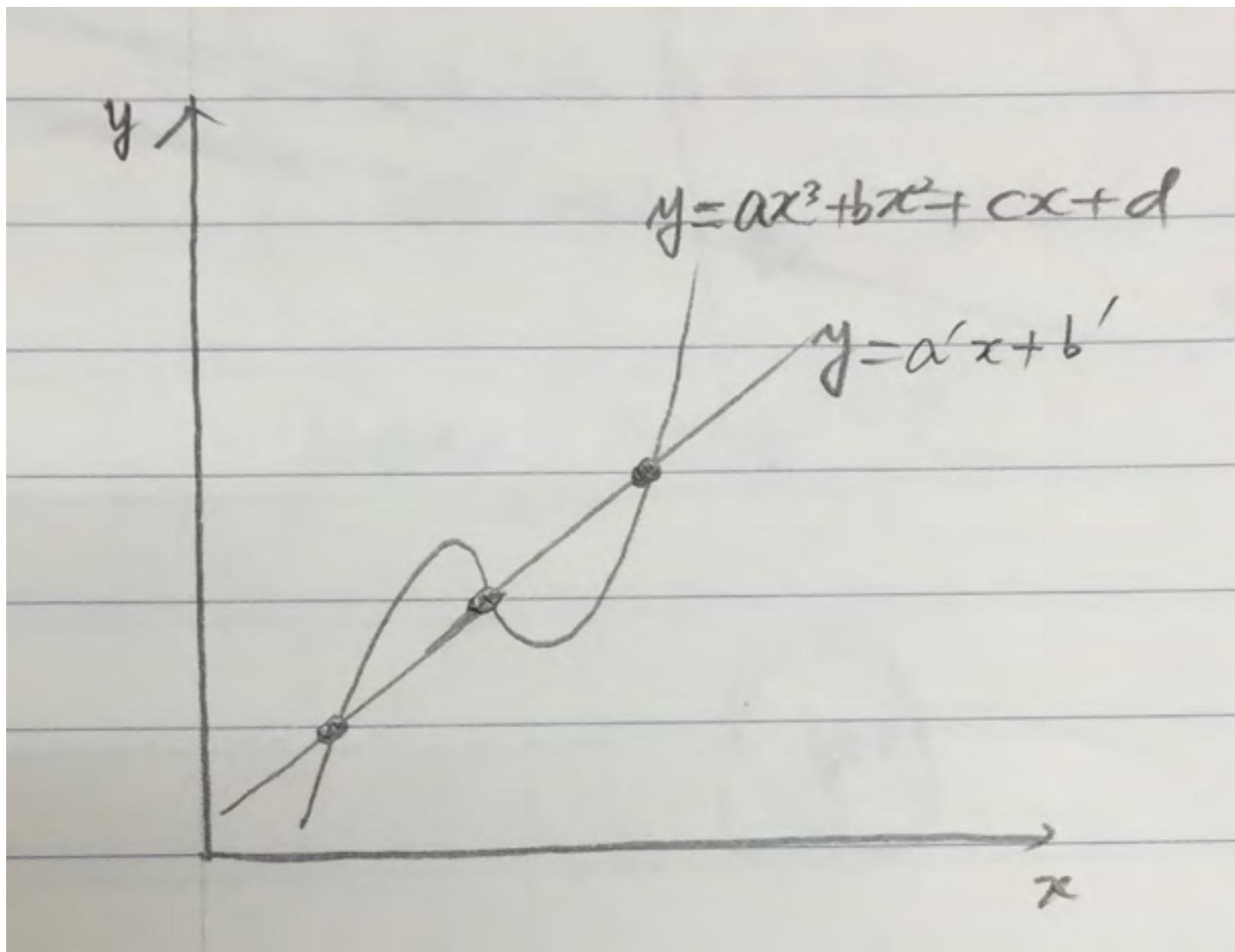
- ▶ 학생들의 시험 성적으로부터 평균에 대한 가설 세우기
 - ▶ 사용된 자료 : $x_1 \sim x_n$
 - ▶ 가설 : $\mu = (x_1 + \dots + x_n)/n$
- ▶ 표본자료로부터 모집단의 실제비율(p)에 대한 가설 세우기
 - ▶ 사용된 자료 : 표본빈도 f
 - ▶ 가설 : $p = f \pm \delta$
- ▶ 그림자의 방향으로부터 태양의 방향에 대한 가설 세우기
 - ▶ 사용된 자료 : “그림자의 방향이 동쪽이다.”
 - ▶ 가설 : “태양은 서쪽에 있다.”

예측주의에 반하는 실천들

- ▶ 단백질 구조에 대한 연구는 단백질 결정에 대한 X선 회절 사진을 찍는 것에서 시작된다. 단백질 구조에 대한 모형은 애초에 그 사진 자료를 설명하기 위해 만들어지지만, X선 회절 사진 자료는 그 모형이 실제 분자 구조를 잘 나타내고 있다는 중요한 증거로 채택된다.



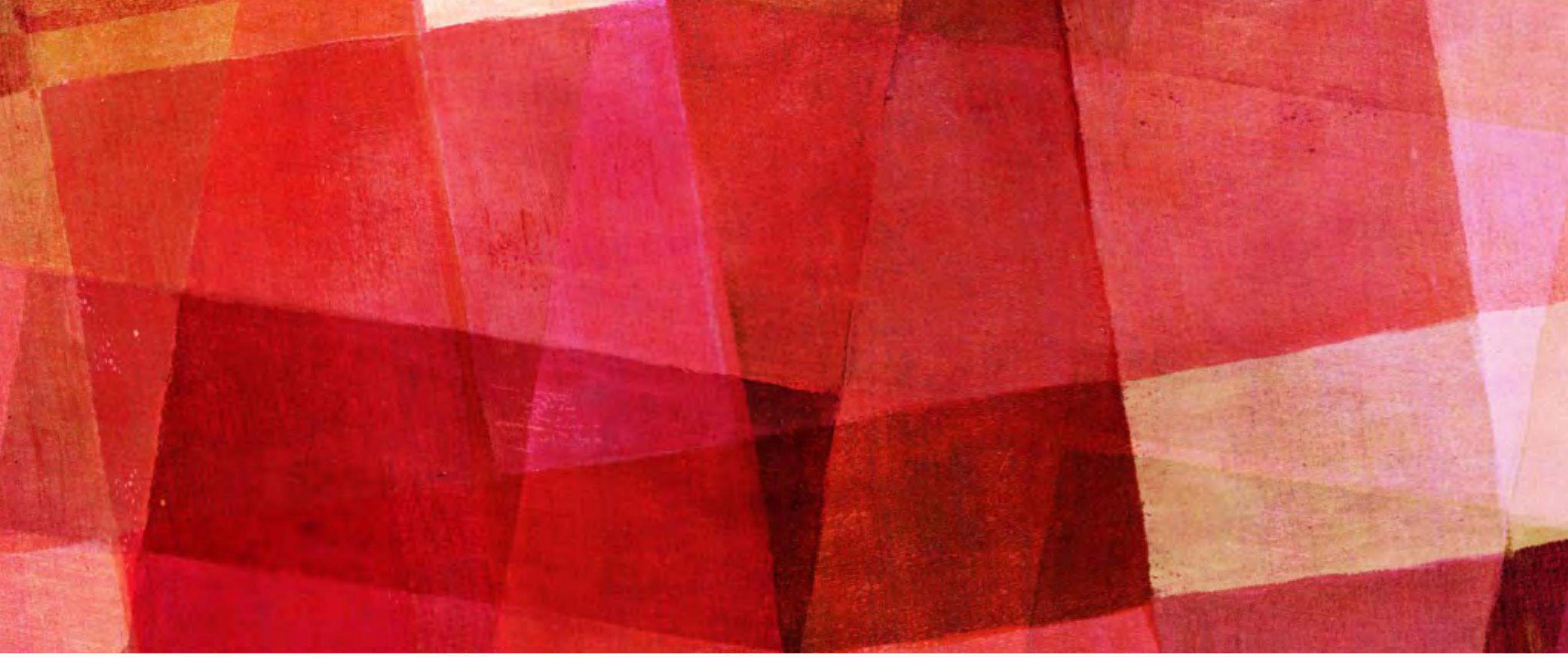
단순한 가설 VS. 복잡한 가설



세 점을 통과하도록 설계된 두 가설 중 어느 가설이 증거에 의해 더 많은 뒷받침을 받을까?

증거의 이원화 논변 (워털)

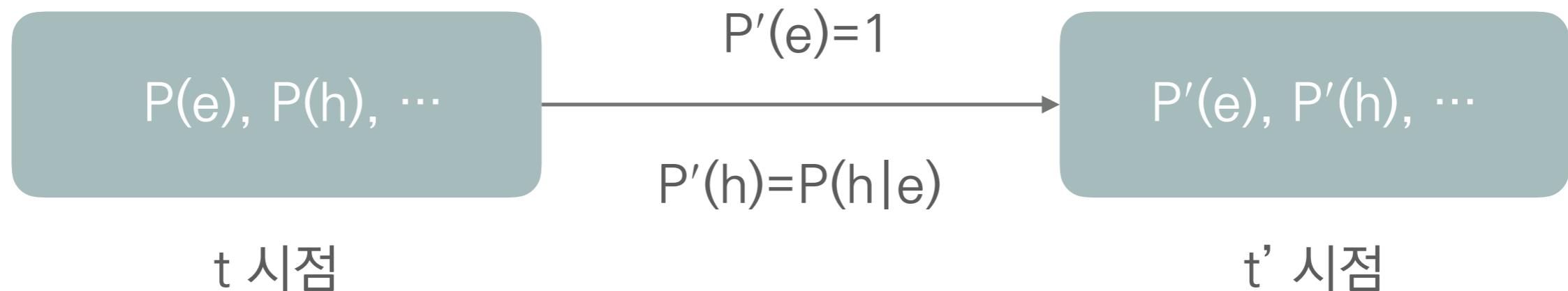
- ▶ 가설의 구성 과정에서 자료가 사용된다는 것의 의미
 - ▶ 더 일반적인 이론(T)과 자료(e)로부터 구체적 이론(T') 도출
 $T \ \& \ e \rightarrow T'$
- ▶ 조건부 증거와 무조건부 증거의 구분
 - ▶ 가설 구성에 사용된 자료 e 는 h 를 전제로 h' 에 대한 증거 제공
 - ▶ 가설 구성에 사용되지 않은 자료 e 만 h 에 대한 증거 제공 가능
- ▶ 이를 ‘해왕성 발견’의 사례에 적용한다면?
- ▶ 문제점
 - ▶ 사용의 의미 해명 불완전
 - ▶ 조건부 증거의 성립 근거는? (잠재적 반증자 논변 포기?)



베이즈주의 입증 이론

베이즈주의 확률 이론

- ▶ 확률 = 명제에 대한 (개인의) 믿음의 정도[신념도]
- ▶ 두 가지 일관성
 - ▶ 공시적 일관성 : 행위자의 믿음 체계는 확률의 공리와 정리 만족 예 : $P(A) \geq P(A \& B)$, $P(A) \leq P(A \& B)$
 - ▶ 통시적 일관성 : 정보가 추가될 때마다 행위자의 믿음 체계 갱신



베이즈 정리

$$P(h|e) = \frac{P(h \& e)}{P(e)} = \frac{P(e|h)}{P(e)} P(h)$$

사후확률

사전확률

기대값

가능도

베이즈주의에서 입증이란?

- ▶ $P(h|e) > P(h)$: e는 h를 입증한다.
- ▶ $P(h|e) < P(h)$: e는 h를 반입증한다.
- ▶ $P(h|e) = P(h)$: e는 h와 증거적으로 무관하다.

베이즈주의 입증 이론의 장점

- ▶ 까마귀의 역설 해결 : 하얀 분필에 의한 신념도 향상은 극히 미미
- ▶ 무차별적 입증의 문제 해결 : 특수귀결 조건 부정
- ▶ 무관한 연언의 문제 해결 : $P(h|e) \neq P(h \& h'|e) \neq P(h \& h''|e)$
- ▶ 참신한 예측과 다양한 증거에 대한 방법론적 선호 설명
- ▶ $P(e)$ 가 작을수록 입증도 향상하기 때문

$$P(h|e) = \frac{P(e|h)}{P(e)} P(h)$$

베이즈주의 입증 이론의 난점

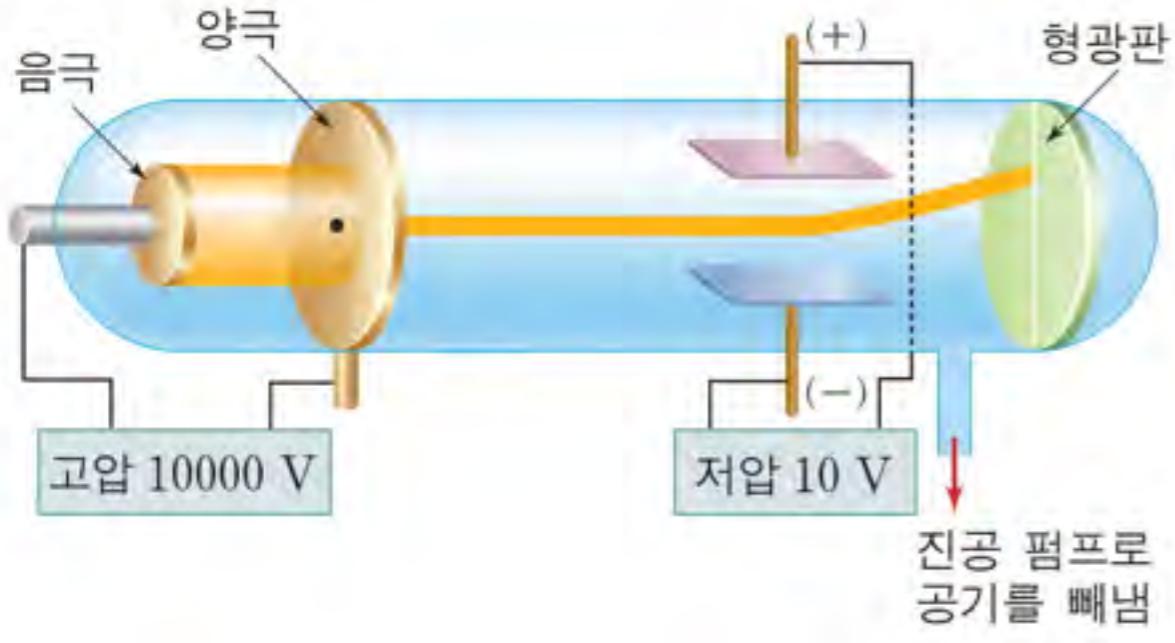
- ▶ 우리의 믿음이 확률 공리를 만족해야 하는 이유는?
- ▶ 사람들이 확률 공리를 지키지 않는다는 심리학적 연구들
- ▶ 사전확률의 문제와 주관성 : 사전확률의 부여는 개인의 주관적 판단
- ▶ 기타가설의 문제 : $P(e)$ 를 알려면 $P(\sim h)$ 를 알아야
 - ▶ $P(e) = P(e|h)P(h) + P(e|\sim h)P(\sim h)$
 - ▶ $P(e|\sim h)P(\sim h) = P(e|h_1)P(h_1) + P(e|h_2)P(h_2) + \dots$
 - ▶ 베이즈주의는 대안 가설에 대해 전지한 행위자 요구?
- ▶ 오래된 증거의 문제 : $P(e) = P(e|h) = 1$ 이므로, $P(h) = P(h|e)$
- ▶ 새로운 이론의 문제 : 대안 가설을 모두 알고 있는 행위자를 가정하지 않을 경우, 새로운 이론이 등장할 때마다 확률 재분배해야. 무슨 원칙으로?

린다는 현재 무엇을 하고 있을까?

린다는 서른한 살의 미혼 여성이다. 직설적인 화법을 구사하고 매우 똑똑하다. 철학을 전공했다. 학생 때는 차별과 사회 정의 문제에 매우 관심이 많았고 반핵 데모에도 참가했다. 린다는 다음 중 무엇일 확률이 더 높을까?

- a. 린다는 소설가이다. ()
- b. 린다는 은행원이다. ()
- g. 린다는 학원 강사이자 진보정당의 당원이다. ()
- h. 린다는 은행원이자 여성운동가이다. ()

증거 판단의 진위 문제



그렇다면 헤르츠의 증거 판단은 거짓?

- ▶ 헤르츠 : 음극선이 전기장에서 휘지 않았다. 이러한 실험 결과는 음극선이 전하를 띠지 않는다는 증거를 제공한다.
- ▶ J. J. 톰슨 : 성능이 좋은 진공 펌프로 공기를 빼고 나니, 음극선이 전기장에서 휘었다. 이러한 실험 결과는 음극선이 전하를 띠고 있다는 증거를 제공한다.