

# L'intreccio tra filosofia e scienza: sviluppo della concezione atomica della materia da Democrito ad Einstein

Nino Zanghi  
Dipartimento di Fisica  
Università di Genova

V secolo a.C.

# La scuola ionica

1. La consapevolezza che il mondo può essere compreso da chi si dà la pena di osservarlo nel modo dovuto senza dover ricorrere alle azioni arbitrarie degli dei, degli spiriti o ad altre superstizioni. Questa era l'idea di Talete.
2. Il riconoscimento che tutta la materia di cui è formato il mondo, nonostante la sua infinita varietà, ha tanti caratteri in comune da dover essere considerata intrinsecamente un'unica sostanza. Anche questo passo è dovuto a Talete.
3. L'ipotesi che le più ovvie trasformazioni della materia siano rarefazioni e condensazioni e che ogni specie di materia può assumere, nelle opportune circostanze, lo stato solido, liquido, o aeriforme. Questo passo è dovuto ad Anassimene.

# La scuola ionica

Come sostanza fondamentale Anassimene designò l'aria.

Se [Anassimene] avesse detto "idrogeno gassoso dissociato" (ciò che proprio non poteva dire), non sarebbe stato molto lontano dalla nostra concezione attuale. Disse comunque che dall'aria potevano avere origine per ulteriore rarefazione corpi più leggeri [...], mentre la nebbia, le nubi, l'acqua e la terra solida risultavano da fasi successive di condensazione. Queste affermazioni rappresentano ciò che di più corretto si poteva formulare con le conoscenze ed entro le concezioni del tempo (E. Schrödinger, *La natura e i greci*)

# La scuola ionica

Le condensazioni non riguardano piccoli cambiamenti di volume. Nel passaggio dallo stato gassoso ordinario a quello solido o liquido la densità si moltiplica per un fattore che sta fra mille e duemila. Per esempio un centimetro cubo di vapor d'acqua alla pressione atmosferica, quand'è condensato si restringe formando una goccia d'acqua di poco più di un millimetro di diametro.

Oggi noi riteniamo che un gas si trovi nello stato più semplice, (non aggregato) in cui le molecole che formano il gas si muovono quasi liberamente, a differenza da quel che accade per solidi e liquidi.

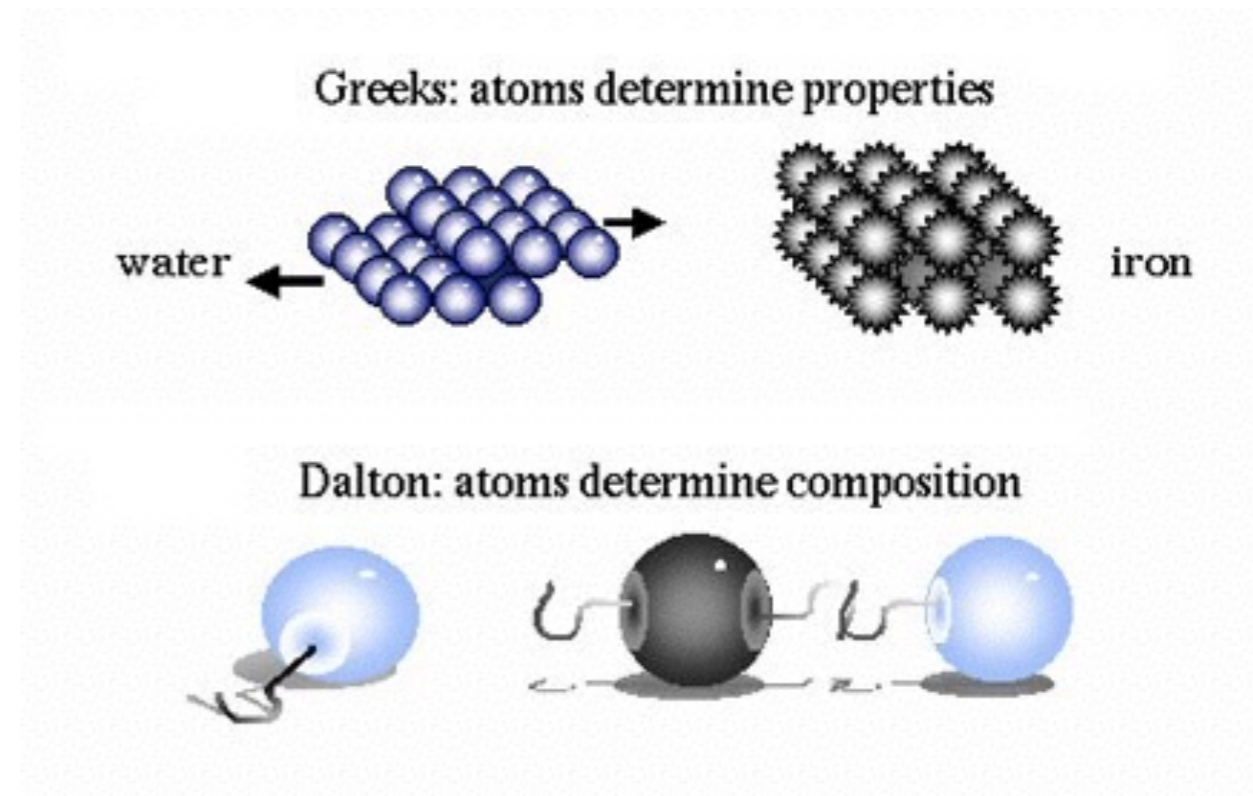
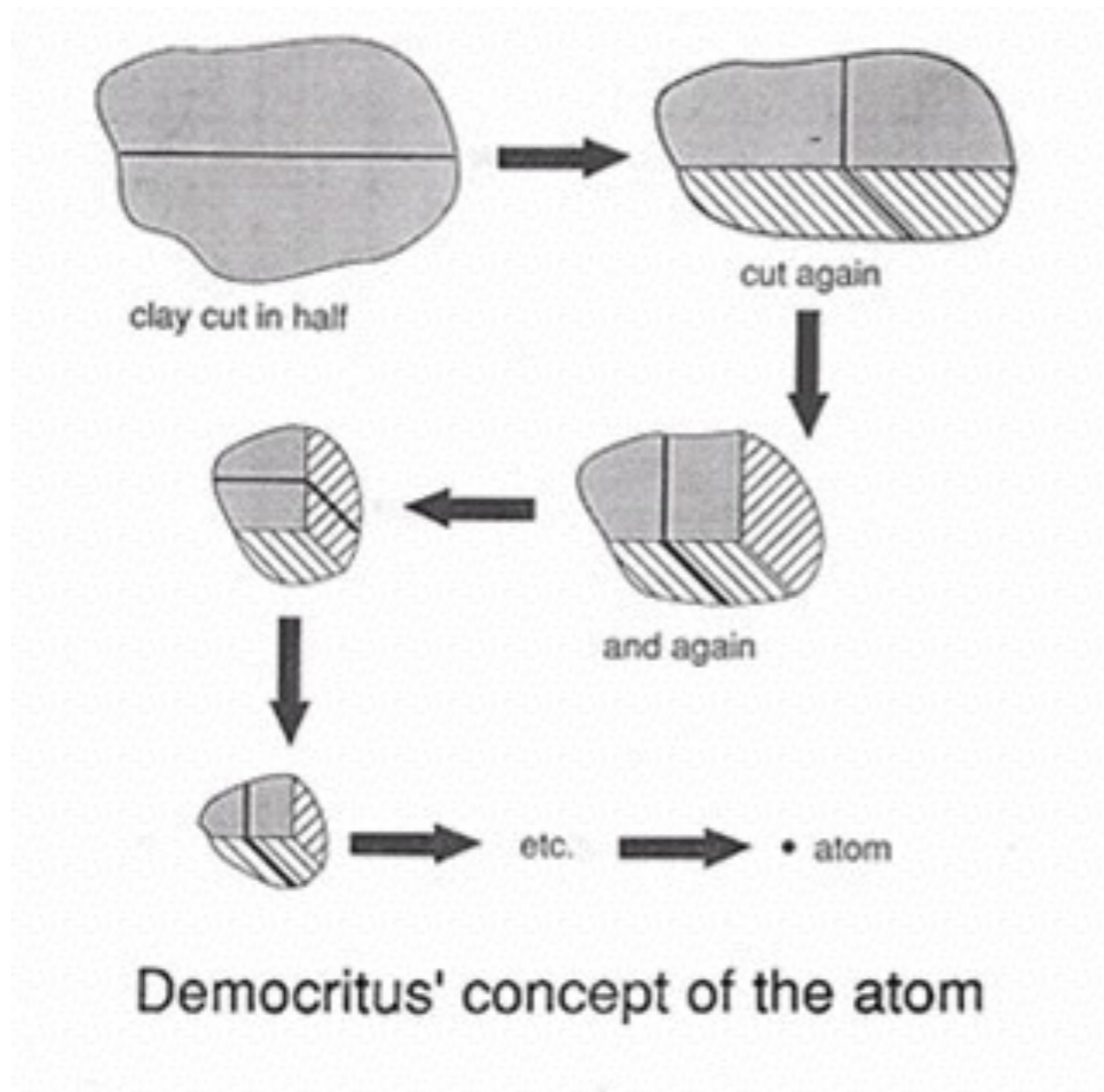
# Leucippo e Democrito

Solo in apparenza una cosa è dolce o amara, solo in apparenza è calda o fredda, solo in apparenza ha un colore; in realtà esistono solo gli atomi e lo spazio vuoto (Democrito).

1. Gli atomi sono invisibilmente piccoli
2. Gli atomi sono perpetuamente in moto
3. Il loro continuo movimento persiste da solo e non cessa mai ( -> principio di inerzia)
4. Il peso o gravità non è considerato una proprietà primitiva dell'atomo (-> Cartesio)

# Leucippo e Democrito

**Atomo= indivisibile (ciò che non ha parti)**



# Democrito

Democrito non solo conosceva le opinioni dei filosofi ionici, ma si può dire che continuasse la loro tradizione ... che tutti i grandi cambiamenti nella materia sono solo apparenti, in realtà dovuti alla rarefazione e condensazione. **Ma ha senso dire che la sostanza rimane immutata, se in realtà ogni briciola di essa, diventa più tenue o più densa?** Il geometra Democrito concepì molto bene questo ... La via più ovvia è di pensare che ogni corpo fisico sia composto in realtà d'innumerabili **corpuscoli, che restano sempre immutati**, e che abbia luogo una rarefazione quando questi si allontanano l'uno dall'altro, una condensazione quando questi si affollano entro un piccolo volume. Affinché ciò possa accadere, entro certi limiti, è **indispensabile** che lo spazio tra un corpuscolo e l'altro sia vuoto, cioè che non contenga assolutamente nulla (E. Schrödinger, op. cit.).



# Il dialogo di Democrito tra la ragione e i sensi

RAGIONE: Solo in apparenza una cosa è dolce o amara, solo in apparenza è calda o fredda, solo in apparenza ha un colore; in realtà esistono solo gli atomi e lo spazio vuoto.

# Il dialogo di Democrito tra la ragione e i sensi

RAGIONE: Solo in apparenza una cosa è dolce o amara, solo in apparenza è calda o fredda, solo in apparenza ha un colore; in realtà esistono solo gli atomi e lo spazio vuoto.

SENSI: O misera ragione, tu che attingi da noi tutta l'evidenza tenti di rovesciarci? Il tuo successo significherebbe la tua rovina.

# Il dialogo di Democrito tra la ragione e i sensi

Democrito comprese che ... questa immagine [scientifica] del mondo, che aveva soppiantato il mondo reale della luce e dei colori, dei suoni e dei profumi, della dolcezza, dell'amarezza e della bellezza, era in realtà basata proprio su quelle percezioni sensibili che sembravano essere scomparse da esso (E. Schrödinger, op. cit).

Tra XVI e XVIII secolo

# Galileo

SALVIATI: ... ed ammetter questa composizione del continuo di atomi assolutamente indivisibili, e massime essendo questa una strada forse più d'ogni altra corrente per trarci fuori di molto intrigati laberinti, quali sono, oltre a quello già toccato dalla coerenza delle parti de i solidi, il comprender come stia il negozio della **rarefazione e della condensazione**, senza incorrer per causa di quella nell'inconveniente di dovere ammettere spazii vacui, e per questa la penetrazione de i corpi: inconvenienti, che amendue mi pare ch'assai destramente vengano schivati con l'ammetter detta composizione d'indivisibili (G. Galilei, Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a Due Nuove Scienze).

# Galileo

Ma che ne' corpi esterni, per eccitare in noi i sapori, gli odori e i suoni, si richiegga **altro che grandezze, figure, moltitudini e movimenti tardi o veloci, io non lo credo;** e stimo che, **tolti via gli orecchi le lingue e i nasi, restino bene le figure, i numeri e i moti, ma non già gli odori né i sapori né i suoni,** li quali fuor dell'animal vivente non credo che siano altro che nomi, come appunto altro che nome non è il solletico e la titillazione, rimosse le ascelle e la pelle attorno al naso [...] sì che rimosso l'animale, sieno levate ed annichilate tutte queste qualità.

Galileo Galilei, Il Saggiatore

# Newton

$$ma = \mathbf{F}$$

(Chiusura causale del mondo fisico)

# Leibniz

Immaginiamo una macchina strutturata in modo tale che sia capace di pensare, di sentire, di avere percezioni; supponiamola ora ingrandita, con le stesse proporzioni, in modo tale che vi si possa entrare come in un mulino. Fatto ciò, visitando la macchina al suo interno, troveremo sempre e soltanto pezzi che si spingono a vicenda, ma nulla che sia in grado di spiegare una percezione.

Monadologia



# Leibniz

Cartesio ha riconosciuto che le anime non possono assolutamente imprimere forza ai corpi: nella materia, infatti, la quantità di moto è sempre la stessa. Egli ha però errato nel credere che l'anima fosse in grado di cambiare la direzione dei corpi. Ora, questa sua convinzione era dovuta al fatto che ai suoi tempi non si conosceva per nulla la seguente legge naturale: Nella materia si conserva anche la stessa direzione totale. Se Cartesio avesse conosciuto tale legge, sarebbe senz'altro giunto al mio sistema dell'Armonia prestabilita. Il sistema dell'armonia prestabilita fa sì che:

- (a) i corpi agiscono come se – per assurdo – non ci fossero anime;
- (b) le anime agiscono come se non ci fossero i corpi;
- (c) l'anima e il corpo agiscono come se si influenzassero a vicenda.

(La Monadologia)

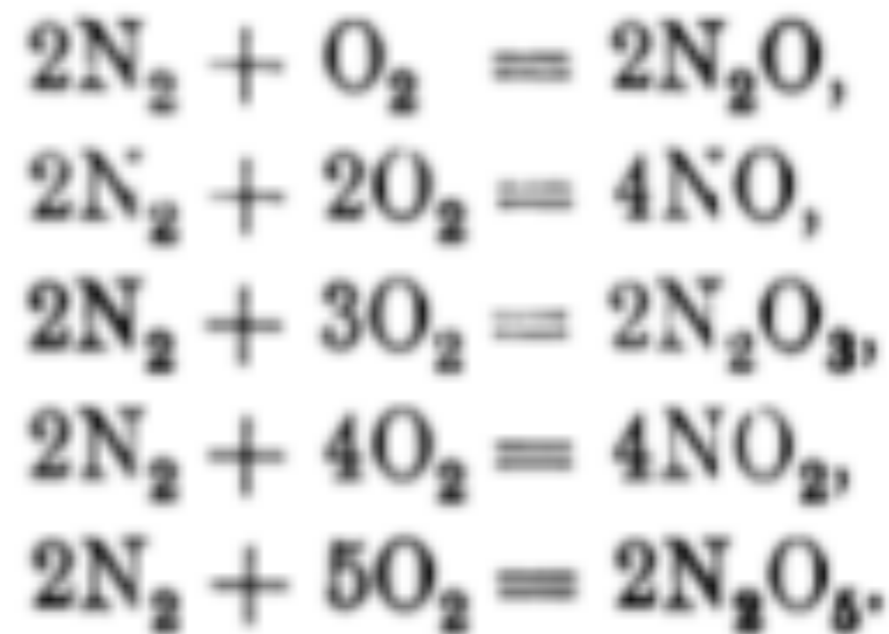
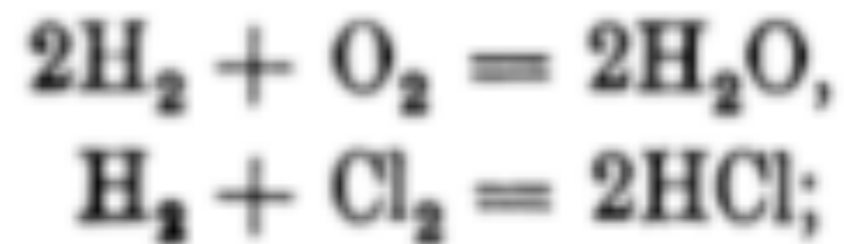
Tra XIX e XX secolo

Se, per qualche cataclisma, tutta la conoscenza scientifica fosse distrutta, e solo una frase potesse passare alla generazione successiva, quale affermazione conterrebbe il massimo di informazione con il minimo di parole? Credo che sia l'ipotesi atomica (o il fatto atomico, o comunque lo vogliate chiamare) che le cose sono fatte d'atomi – piccole particelle che si muovono intorno in moto perpetuo, attraendosi l'un l'altra quando sono abbastanza vicine, ma respingendosi quando sono schiacciate l'una contro l'altra. In questa sola frase vedrete un'enorme quantità di informazione sul mondo, se soltanto un po' di immaginazione e pensiero sono applicati.

Richard Feynman (1918–1988)

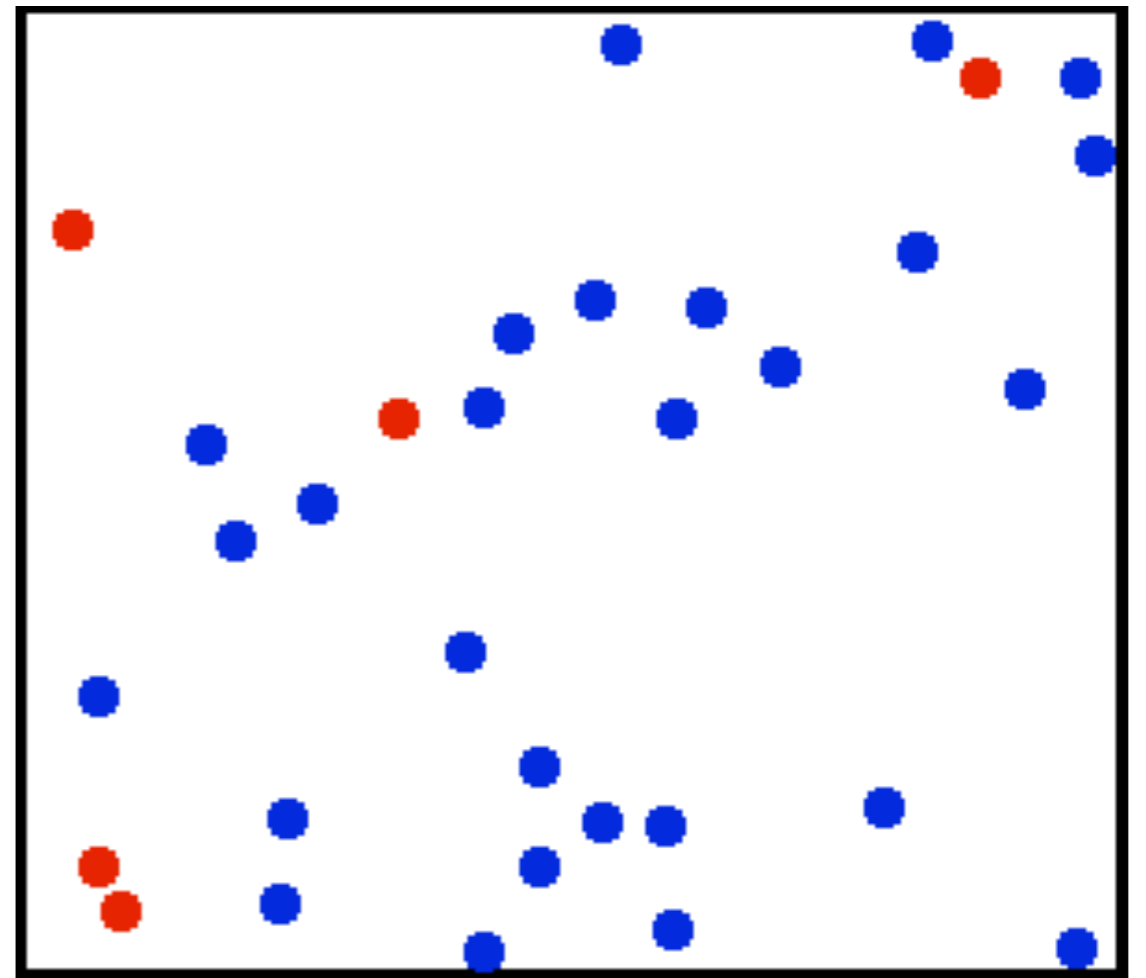
# L'ipotesi atomica in chimica

Dalton (1800), Avogadro (1811)



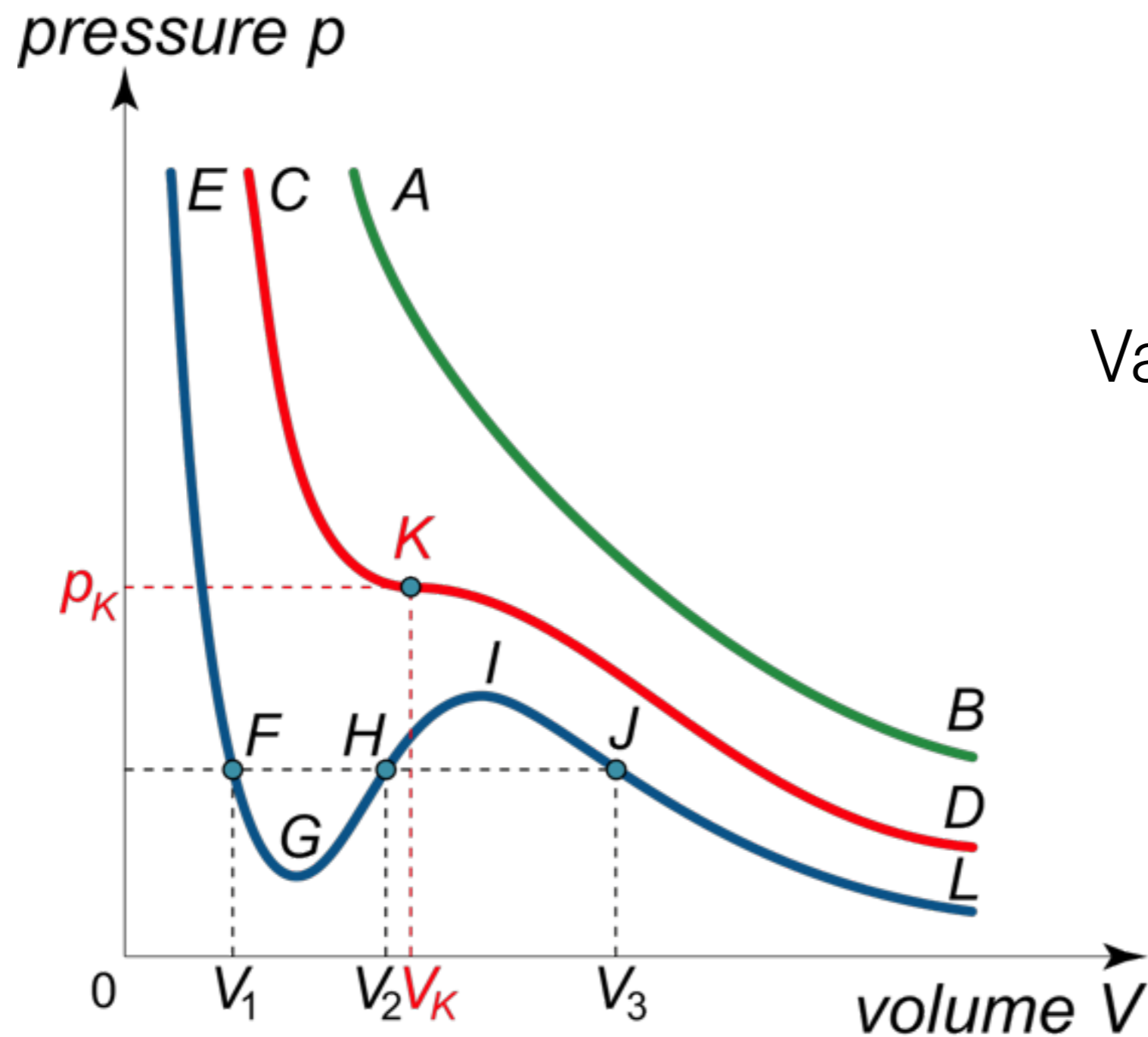
# Sviluppi della concezione atomica della materia in fisica

1. Il problema di Anassimene-Democrito (spiegare le transizioni di stato in termini del movimento degli atomi)
2. Il problema dell'irreversibilità (spiegare l'irreversibilità macroscopica in termini delle leggi microscopiche reversibili che governano il movimento degli atomi)



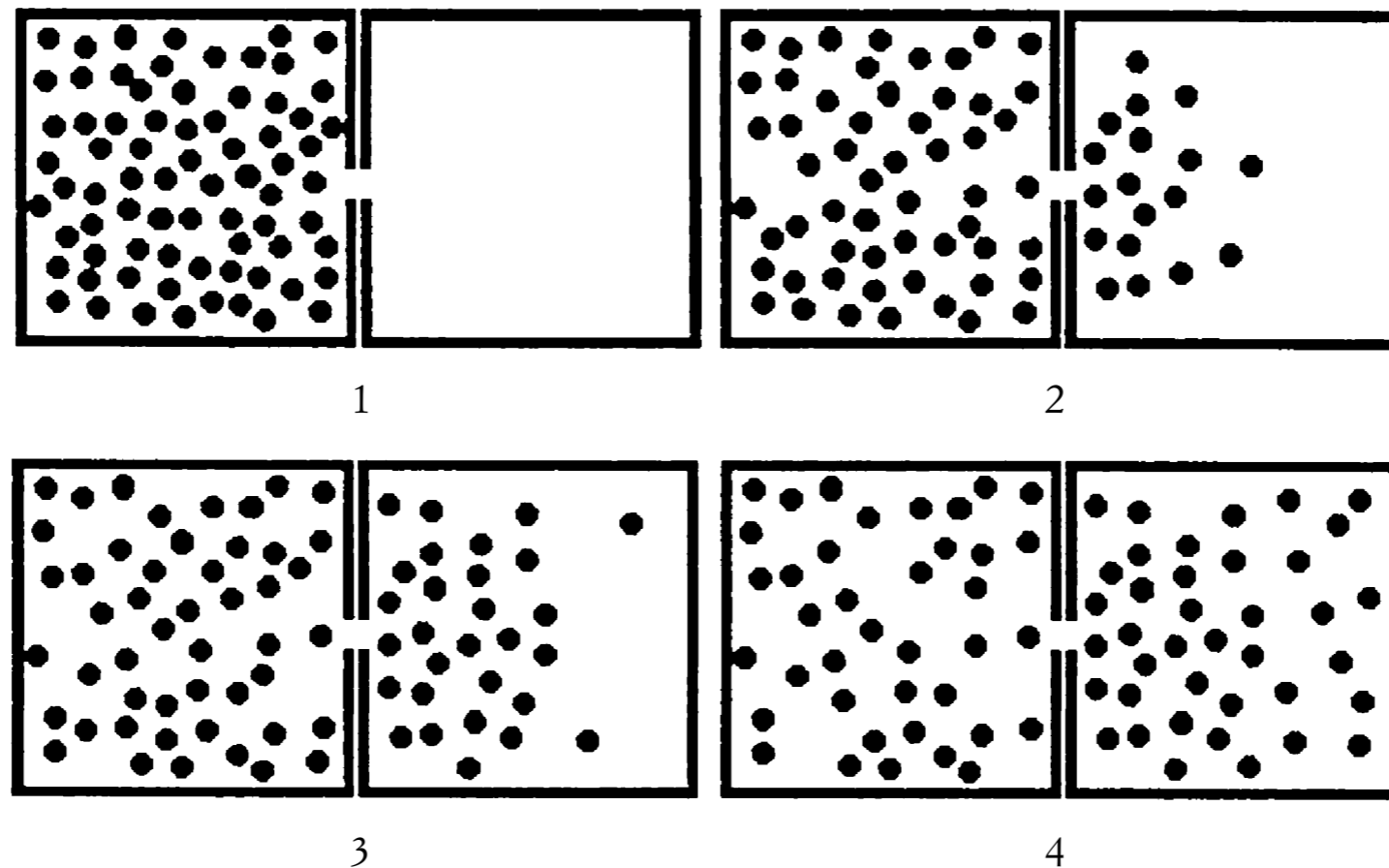
$$m\mathbf{a} = \mathbf{F}$$

# 1. Transizioni di stato



Van der Waals (1873)

## 2. Spiegazione microscopica della seconda legge della termodinamica



**la spiegazione delle leggi macroscopiche irreversibili in termini delle leggi microscopiche reversibili che regolano il movimento degli atomi.**

Boltzmann (1972)

# Analisi statistica delle equazioni differenziali che descrivono il movimento degli atomi

L'applicabilità della teoria delle probabilità ad un caso particolare non può naturalmente essere dimostrata rigorosamente. [...] Malgrado questo, ogni società di assicurazioni conta sulla teoria delle probabilità. [...] Il presupposto che questi casi rari non sono osservati in natura non è rigorosamente dimostrabile (né lo è a rigore l'intera immagine meccanica), ma, in considerazione di quel che si è detto, è così naturale ed evidente e così tanto in accordo con tutta l'esperienza con le probabilità [...] che alcun dubbio su questo punto certamente non può mettere in questione la validità della teoria quando è al contrario così utile.

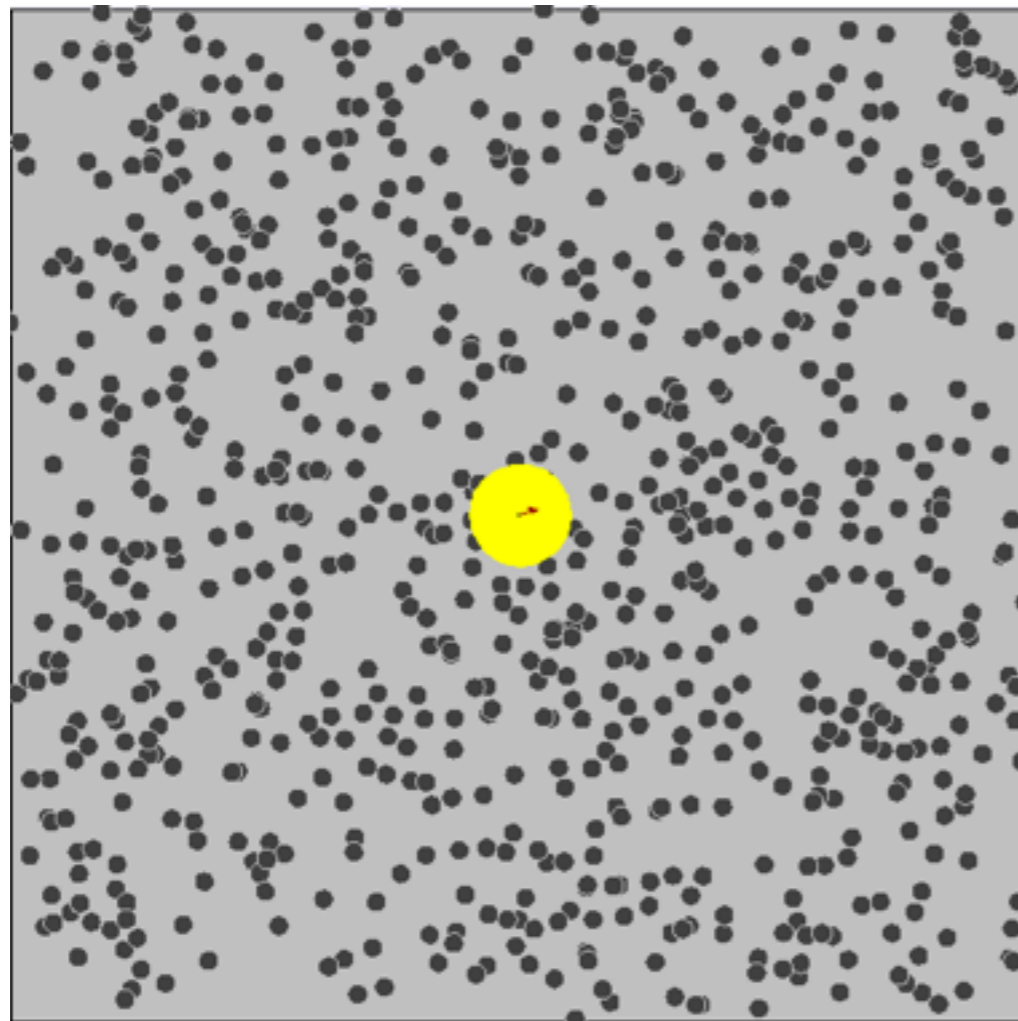
Mi è completamente incomprensibile come qualcuno possa vedere una confutazione dell'applicabilità della teoria delle probabilità nel fatto che un qualche altro argomento indica che in un periodo di eoni di tempo ogni tanto delle eccezioni devono accadere; perché proprio la teoria delle probabilità ci insegna esattamente la stessa cosa.

**Boltzmann, 1897**

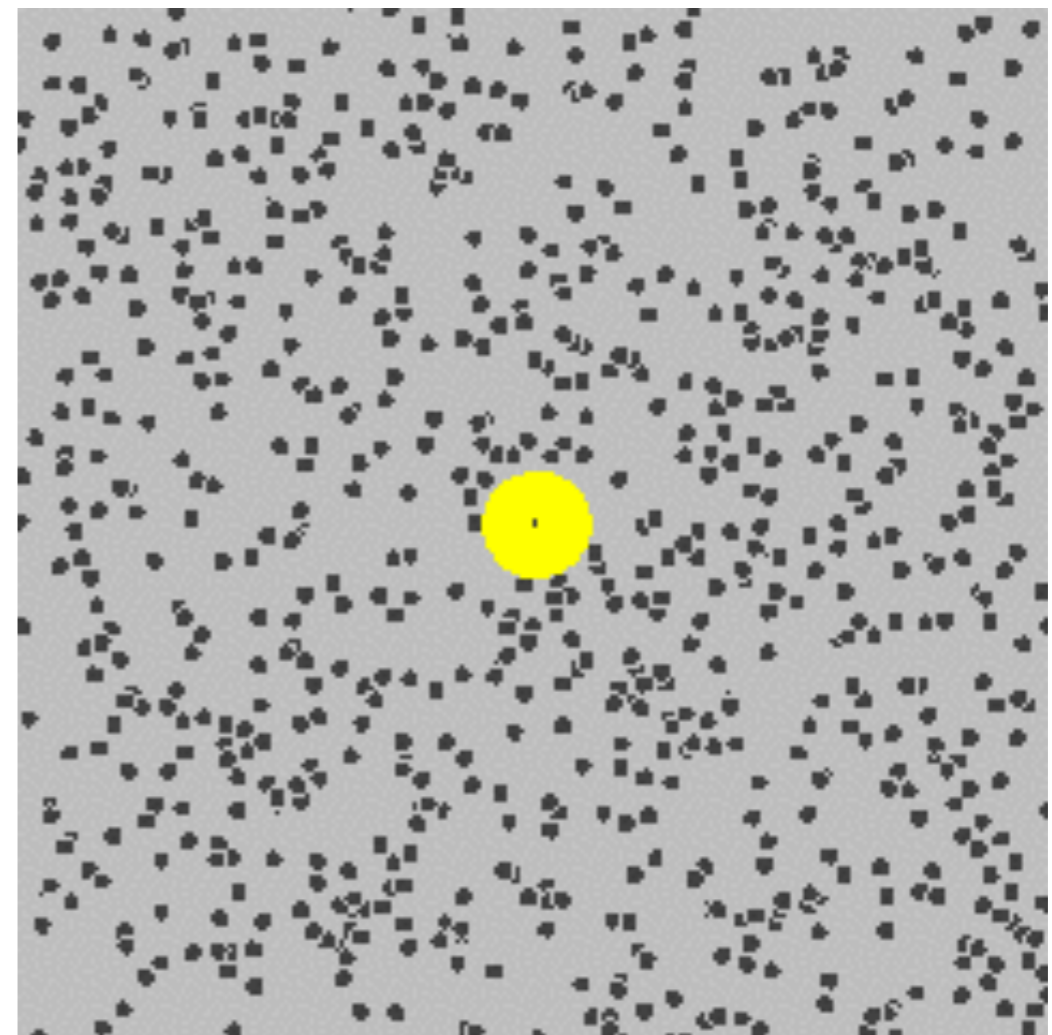


Evidenza sperimentale definitiva  
dell'esistenza degli atomi (Einstein 1905,  
Perrin, 1908)

**Moto browniano** (Brown, 1827)



$a \sim 0.01 - 0.001 \text{ mm}$



$$\frac{X^2}{t} = \frac{RT}{N_A(6\pi\eta a)}$$

Qualche morale  
filosofica conclusiva

# L'Irragionevole Efficacia della Matematica nelle Scienze Naturali (E. Wigner, 1960)

È importante sottolineare che la formulazione matematica dell'esperienza spesso rozza del fisico conduce in un inquietante numero di casi ad una descrizione incredibilmente accurata di un'ampia classe di fenomeni

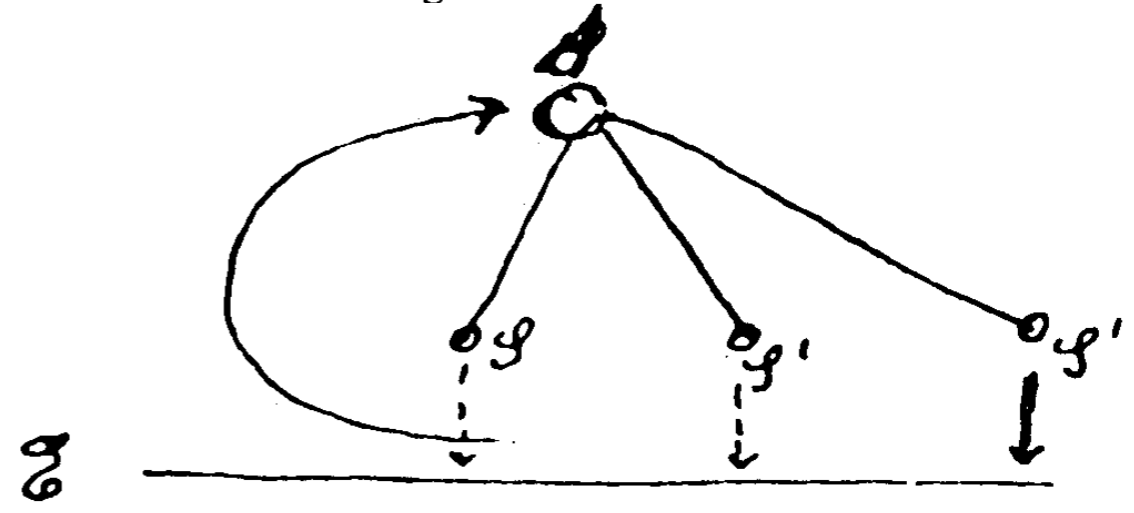
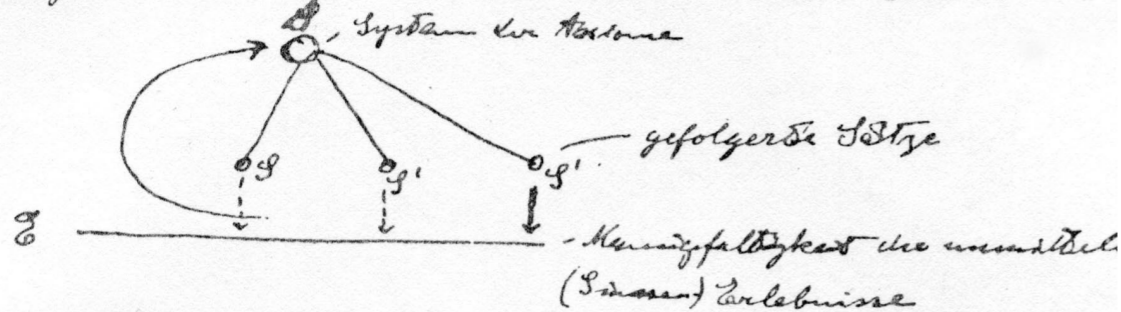
La legge fondamentale della gravitazione per esempio. Usata in origine per modellare corpi in caduta libera sulla superficie terrestre, tale legge fu estesa sulla base di quelle che Wigner chiama osservazioni **molto esigue** per descrivere il moto dei pianeti, dove si è dimostrata **accurata oltre ogni ragionevole aspettativa**.

Il miracolo dell'appropriatezza del linguaggio della matematica per la formulazione delle leggi della fisica è un dono meraviglioso che noi non comprendiamo né meritiamo. Dovremmo esserne grati e sperare che esso rimarrà valido nelle ricerche future e che si estenderà, nel bene o nel male, a nostro piacimento, anche se forse a nostro turbamento, alle più ampie branche del sapere.

# Einstein a Solovine (1952)

Per quel che riguarda la questione epistemologica, Lei mi ha del tutto frainteso; probabilmente mi sono espresso male. Io vedo la cosa nel modo seguente:

Mit der erkenntnis-theoretischen Sache haben Sie mich freilich missverstanden; wahrscheinlich habe ich mich nicht schlecht ausgedrückt. Ich sehe die Sache schematisch so



- (1) Die  $\mathcal{E}$  (Erlebnisse) sind uns gegeben.
  - (2)  $A$  sind die Axiome, aus denen wir Folgerungen ziehen. Psychologisch beruhen die  $A$  auf  $\mathcal{E}$ . Es gibt aber keinen logischen Weg von den  $\mathcal{E}$  zu  $A$ , sondern nur einen intuitiven Zusammenhang, der immer „auf Wiederauf“ ist.
  - (3) Aus  $A$  werden auf logischem Wege Einzel-Aussagen  $S$  abgeleitet welche Ableitungen dem Ausspruch auf Richtigkeit erheben.
  - (4) Die  $S$  werden mit den  $\mathcal{E}$  in Beziehung gebracht (Prüfung an der Erfahrung). Diese Procedure gehört genau betrachtet ebenfalls der extra-logischen Sphäre an, weil die Beziehe die in den  $S$  auftretenden Begriffe zu den Erlebnissen  $\mathcal{E}$  nicht logischer Natur sind.
- Diese Beziehung der  $S$  zu den  $\mathcal{E}$  ist aber viel weniger unmittelbar als die Beziehung der  $A$  zu den  $\mathcal{E}$ . (Beispiel der Begriff Hund und die entsprechenden Erlebnisse). Wenn solches Entsprechen nicht mit grosser Sicherheit regelbar (obwohl nicht logisch fassbar), so wäre die logische Maschinerie für das „Begriffen der Wirklichkeit“ völlig nutzlos (Beispiel Theologie).
- Die Ursprungslösung ist der ewig problematische Zusammenhang alles Gedanklichen mit den Erlebnissen (Sinn-Erlebnisse).

- 1) Ci sono date le  $E$  (esperienze immediate).
  - 2)  $A$  sono gli assiomi, dai quali traiamo conclusioni. Dal punto di vista psicologico gli  $A$  poggiano sulle  $E$ . Ma non esiste alcun percorso logico<sup>2</sup> che dalle  $E$  conduca agli  $A$ ; c'è solamente una connessione intuitiva (psicologica) e sempre «sino a nuovo ordine».
  - 3) Dagli  $A$  si ricavano, con procedimento deduttivo, enunciati particolari  $S$  che possono pretendere di essere veri.
  - 4) Gli  $S$  sono messi in relazione con le  $E$  (verifica per mezzo dell'esperienza). Questa procedura, a ben vedere, appartiene essa stessa alla sfera extralogica (intuitiva), non essendo di natura logica la relazione tra i concetti che intervengono negli enunciati e le esperienze immediate. Questa relazione tra gli  $S$  e le  $E$  è tuttavia (pragmaticamente) molto meno incerta di quella che sussiste tra gli  $A$  e le  $E$  (ad esempio, tra il concetto di cane e le corrispondenti esperienze immediate). Se una tale corrispondenza, pur restando inaccessibile alla logica, non potesse essere stabilita con un elevato grado di certezza, tutto l'armamentario logico non avrebbe alcun valore ai fini della «comprensione della realtà» (esempio, la teologia).
- L'aspetto essenziale è qui il legame, eternamente problematico, fra il mondo delle idee e ciò che può essere sperimentato (l'esperienza sensibile).

## Ancora Einstein

Dalla sua chiara critica Hume ha non solo fatto progredire la filosofia in modo decisivo, ma anche, anche se non per colpa sua, ha creato un pericolo per la filosofia che, dopo la sua critica, fece emergere una disastrosa “paura della metafisica”, che è diventata una malattia della filosofia empirista contemporanea (A. Einstein, Ideas and Opinions)

La vera difficoltà sta nel fatto che la fisica è un tipo di metafisica perché la fisica descrive la realtà. Ma noi non sappiamo cosa sia “la realtà”, se non attraverso la descrizione fisica che diamo di essa (Einstein in una lettera di a Schrödinger del 1935).