

Το Αποτύπωμα της Πραγματικότητας στη Δομή

Σπύρος Τσέρκης

3 Δεκεμβρίου 2025





Αντίλημμα/Percept

Έννοια/Concept

Αυτό που αντιλαμβανόμαστε/παρατηρούμε

Η έννοια που το περιγράφουμε

1. κύμα
2. μάζα
3. φάση
4. ...

Πραγματικό όταν
επιβεβαιώνεται πειραματικά

Πραγματικό όταν...???

Οντολογική Προσέγγιση

Ινστρομενταλισμός

Οι επιστημονικές θεωρίες λειτουργούν
ως προγνωστικά εργαλεία και όχι ως
περιγραφές της πραγματικότητας

Οντολογική Προσέγγιση

Ινστρουμενταλισμός

Οι επιστημονικές θεωρίες λειτουργούν
ως προγνωστικά εργαλεία και όχι ως
περιγραφές της πραγματικότητας

Ρεαλισμός

Οι επιστημονικές έννοιες μαζί με τις
σχέσεις στις οποίες υπεισέρχονται
αντιστοιχούν στην πραγματικότητα

Οντολογική Προσέγγιση

Ινστρομενταλισμός

Οι επιστημονικές θεωρίες λειτουργούν
ως προγνωστικά εργαλεία και όχι ως
περιγραφές της πραγματικότητας

Ρεαλισμός

Οι επιστημονικές έννοιες μαζί με τις
σχέσεις στις οποίες υπεισέρχονται
αντιστοιχούν στην πραγματικότητα

Δομικός Ρεαλισμός

Η πραγματικότητα εκδηλώνεται μόνο μέσω των σχέσεων
ανάμεσα στις έννοιες



Henri Poincaré

“Η επιστήμη [...] είναι ένα σύστημα σχέσεων. [...] μόνο στις σχέσεις πρέπει να αναζητηθεί η αντικειμενικότητα· θα ήταν μάταιο να την αναζητήσει κανείς σε οντότητες απομονωμένες η μία από την άλλη.”

“Όχι μόνο η επιστήμη δεν μπορεί να μας διδάξει τη φύση των πραγμάτων αλλά τίποτα δεν είναι ικανό να μας τη διδάξει.”

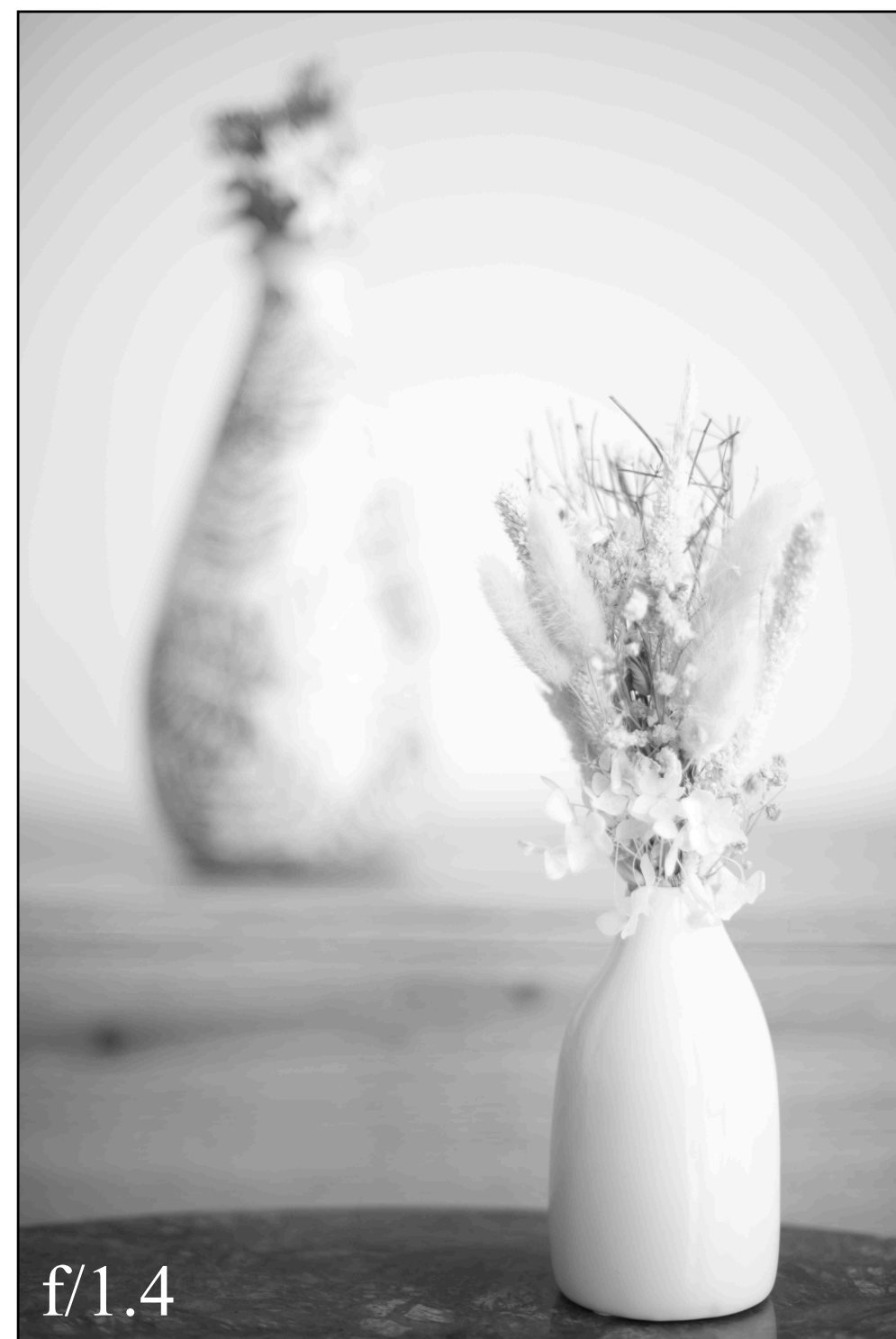
Henri Poincaré, The Value of Science (1907)



f/5.6



f/2.8



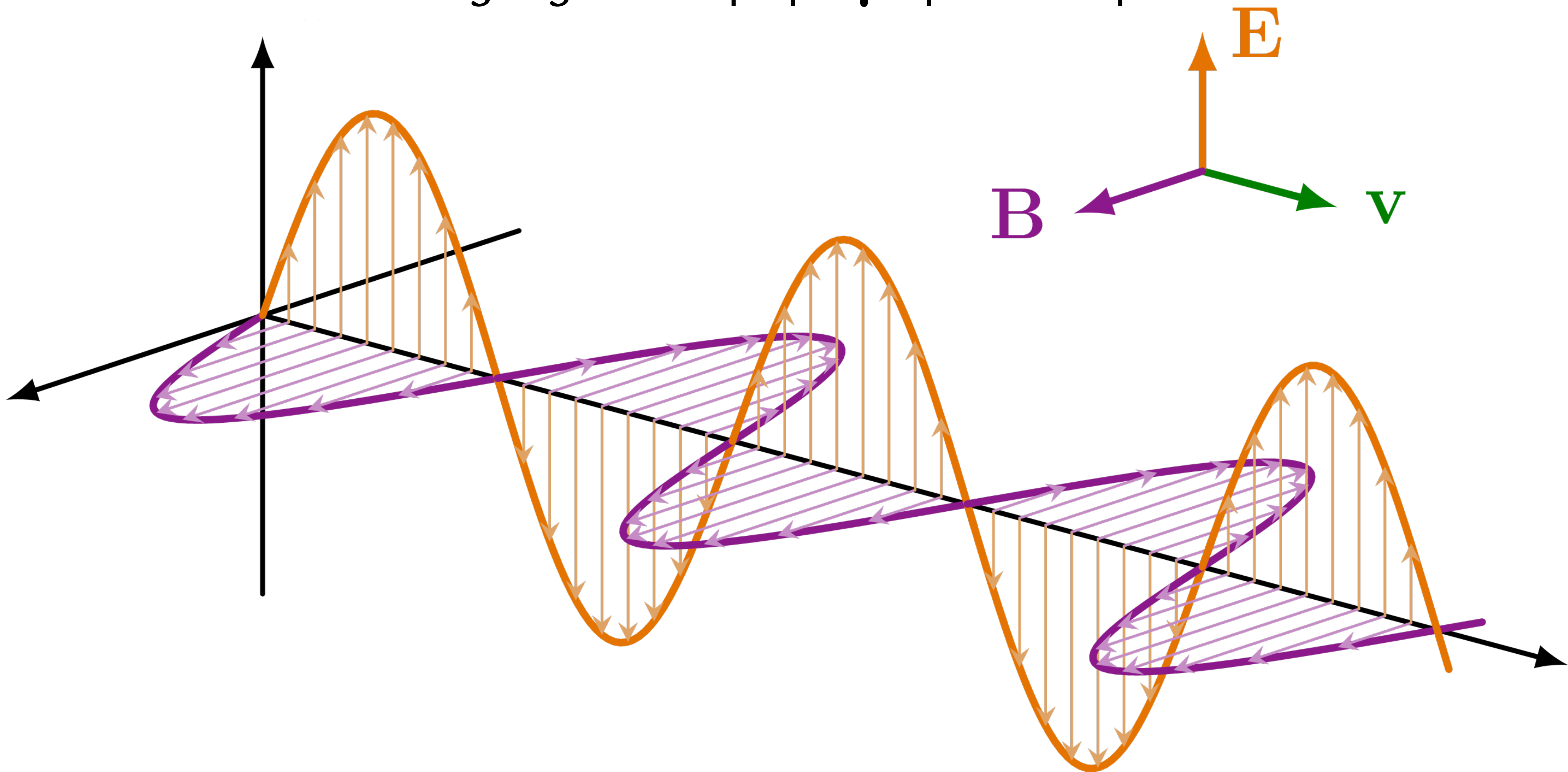
f/1.4

Η φωτεινότητα και το
βάθος πεδίου είναι
συμπληρωματικές
ιδιότητες



Η σκληρότητα και η
ευθραυστότητα είναι
συμπληρωματικές
ιδιότητες

Φως Ως Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα



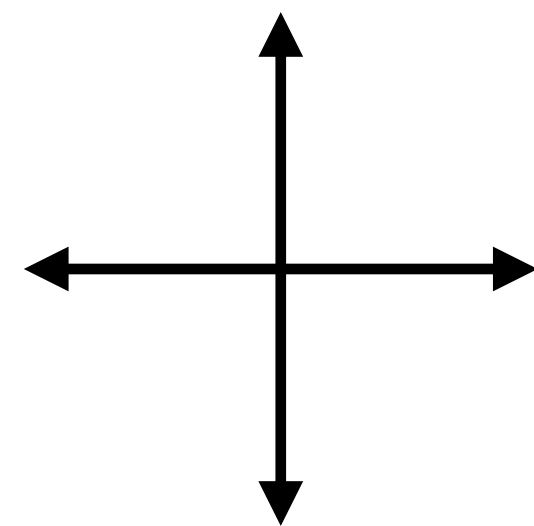
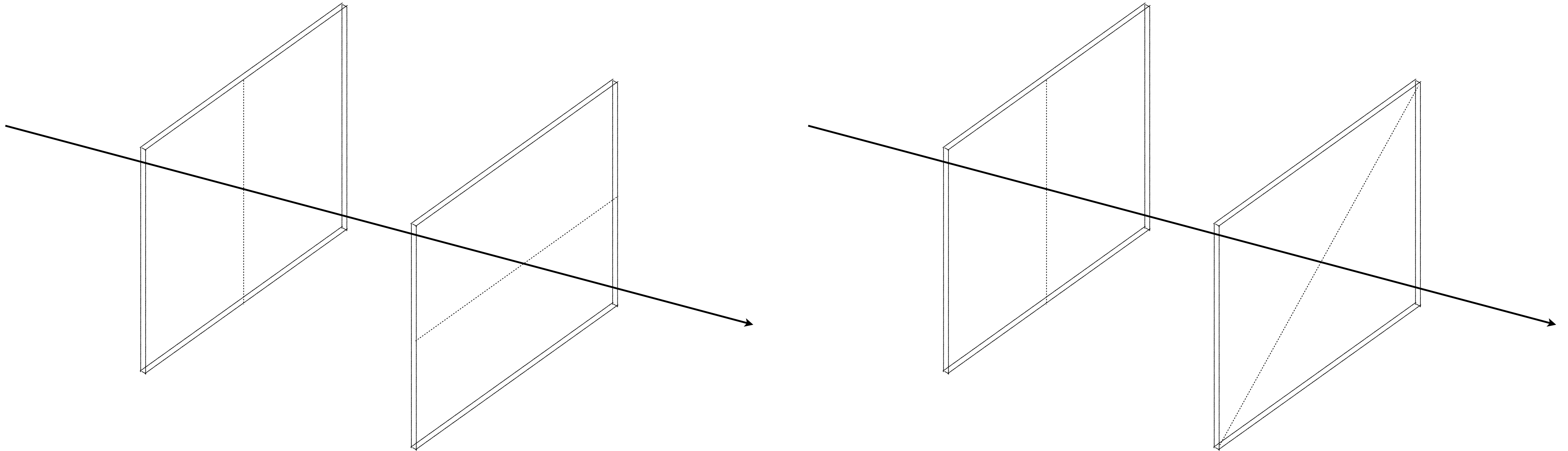


Κανονικοί Φακοί

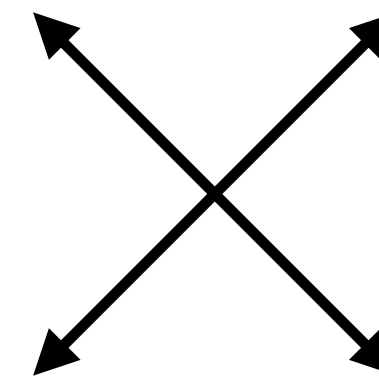


Πολωτικοί Φακοί

Πόλωση Φωτονίου



συμπληρωματική με



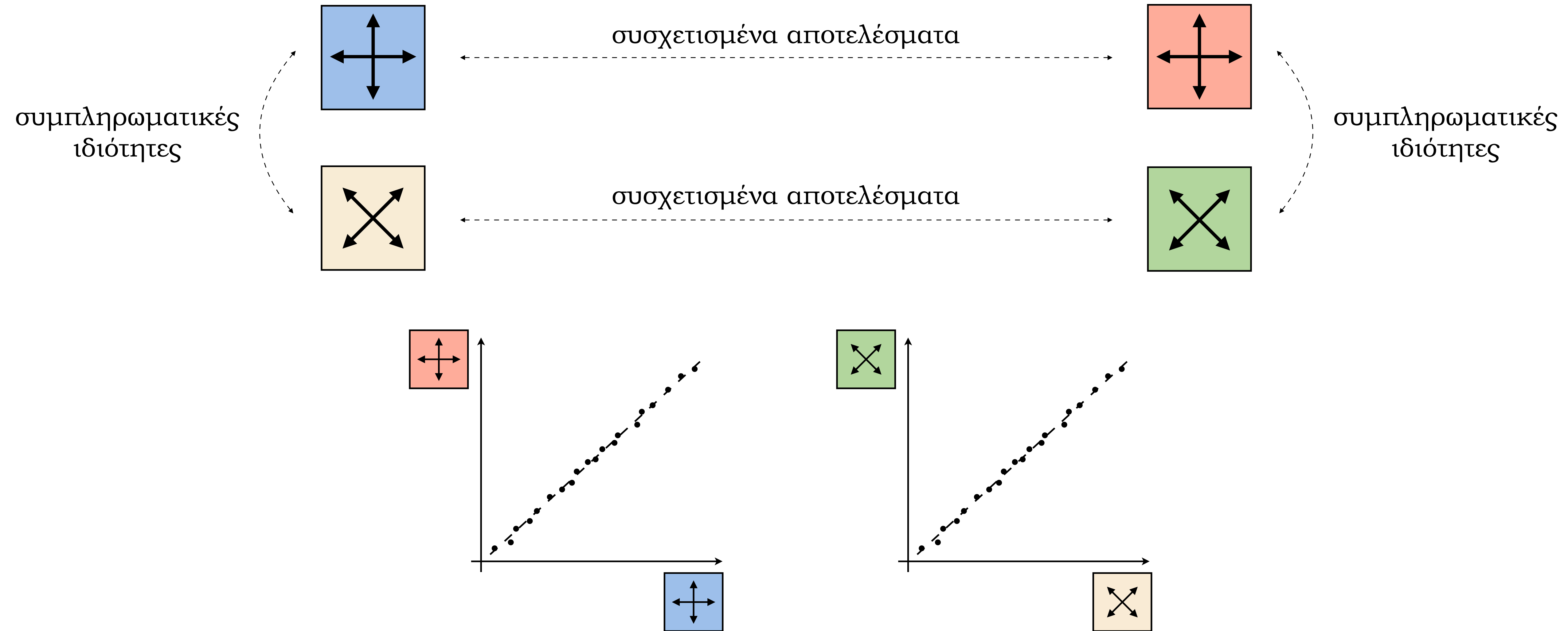
Παράδοξο EPR



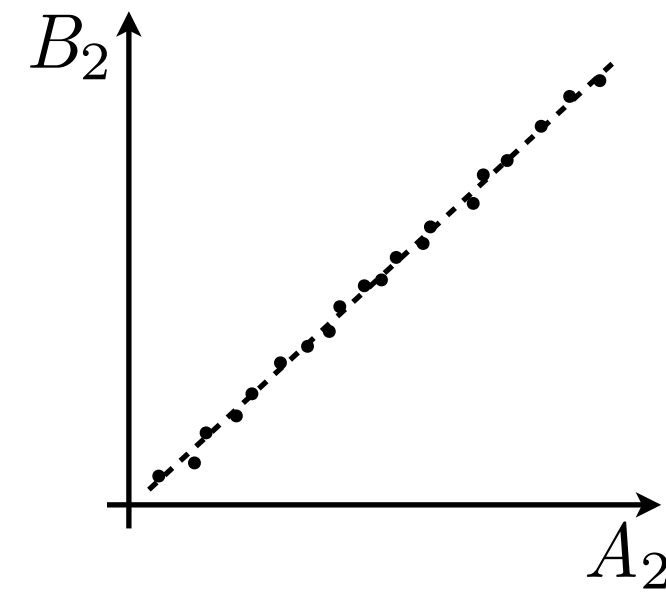
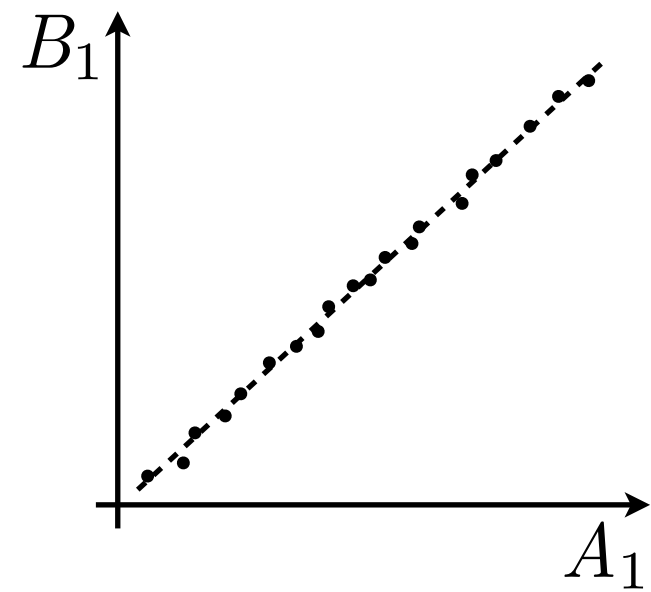
“Εάν, χωρίς να διαταράξουμε ένα σύστημα, μπορούμε να προβλέψουμε με βεβαιότητα την τιμή μιας φυσικής ποσότητας, τότε υπάρχει ένα στοιχείο φυσικής πραγματικότητας που αντιστοιχεί σε αυτήν τη φυσική ποσότητα.”

A. Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen, Phys. Rev. 47, 777–780 (1935)

Διεμπλοκή



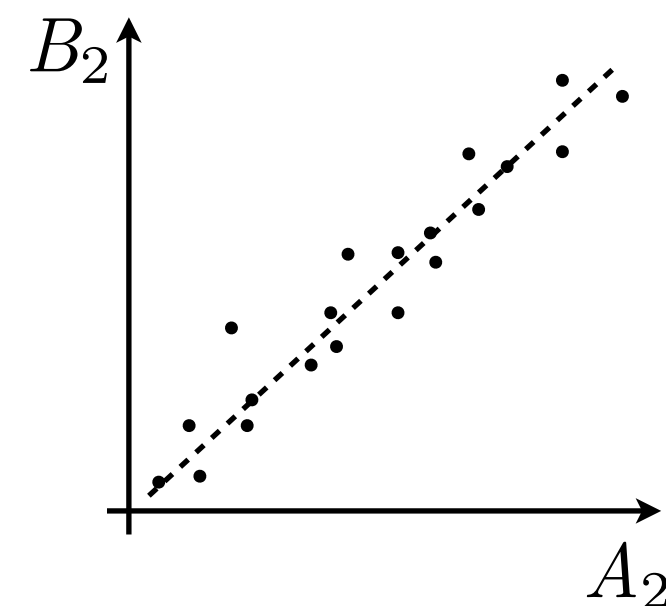
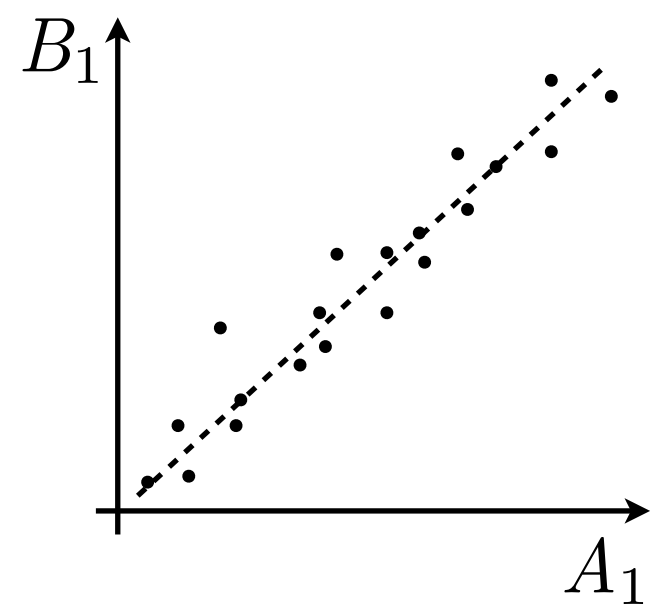
Ανίχνευση Διεμπλοκής



Ορισμός. Η γραμμική συσχέτιση δύο ιδιοτήτων μετράται από τον συντελεστή συσχέτισης Pearson

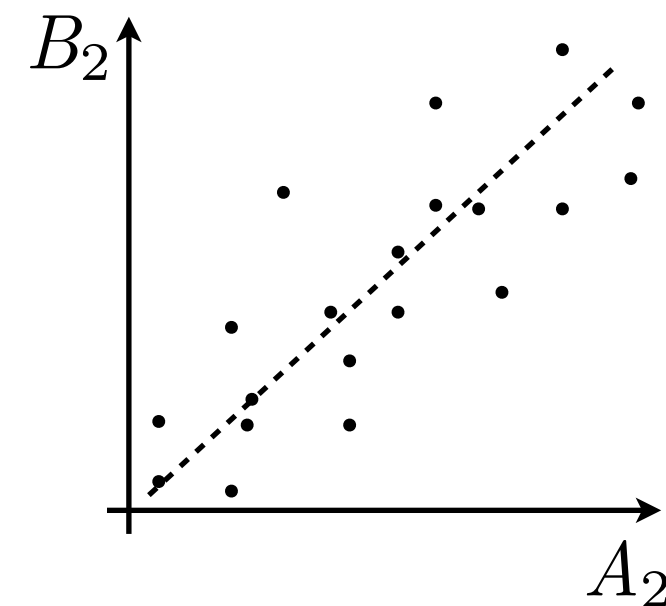
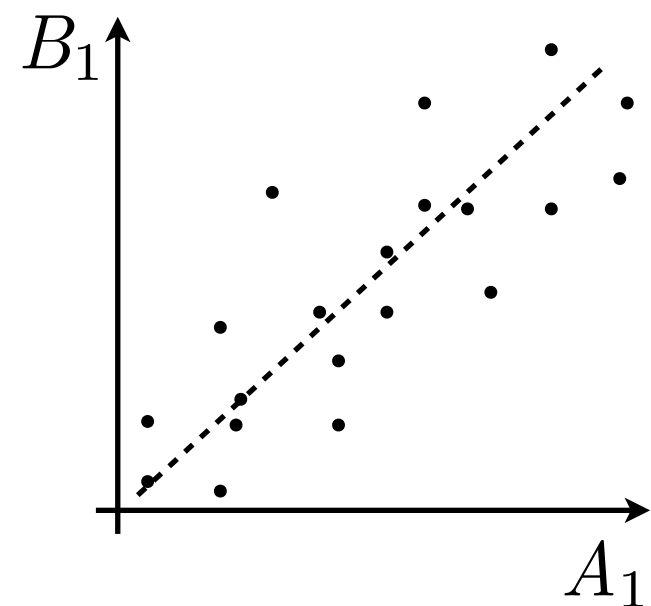
$$\text{Cor}(A, B) = \frac{\mathbb{E}(A, B) - \mathbb{E}(A)\mathbb{E}(B)}{\sqrt{\mathbb{V}(A)\mathbb{V}(B)}}$$

$$0 \leq |\text{Cor}(A, B)| \leq 1$$

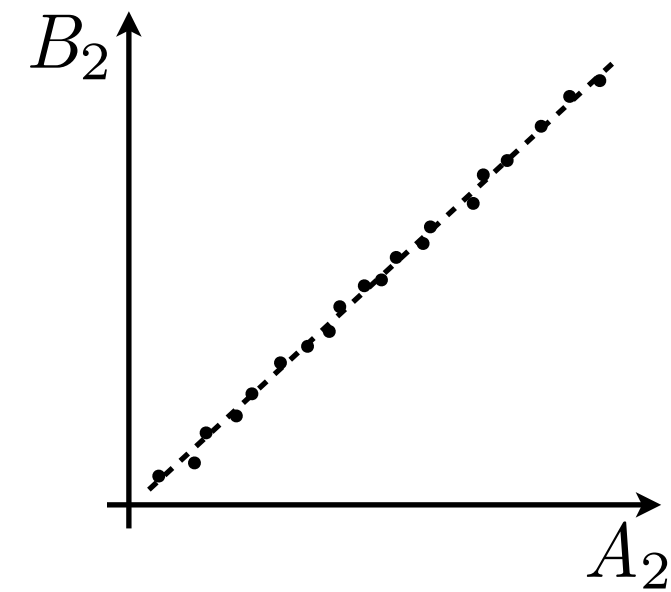
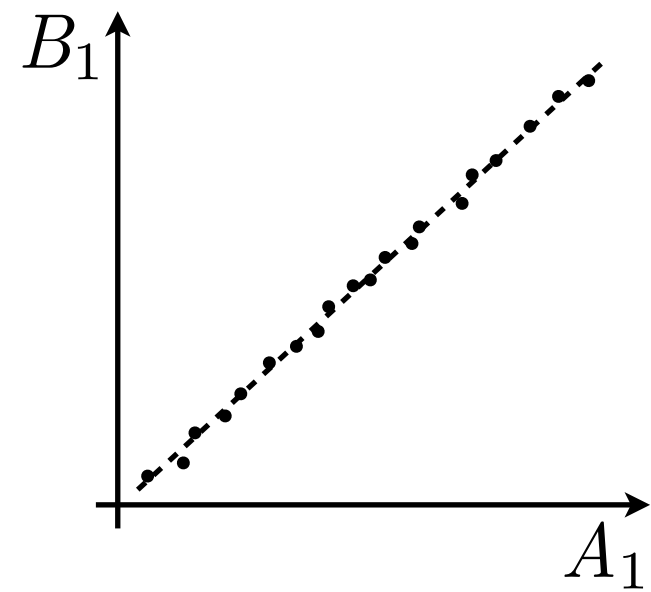


Εικασία. Δύο δισδιάστατα κβαντικά σωματίδια είναι διεμπλεγμένα όταν:

$$|\text{Cor}(A_1, B_1)| + |\text{Cor}(A_2, B_2)| > 1$$



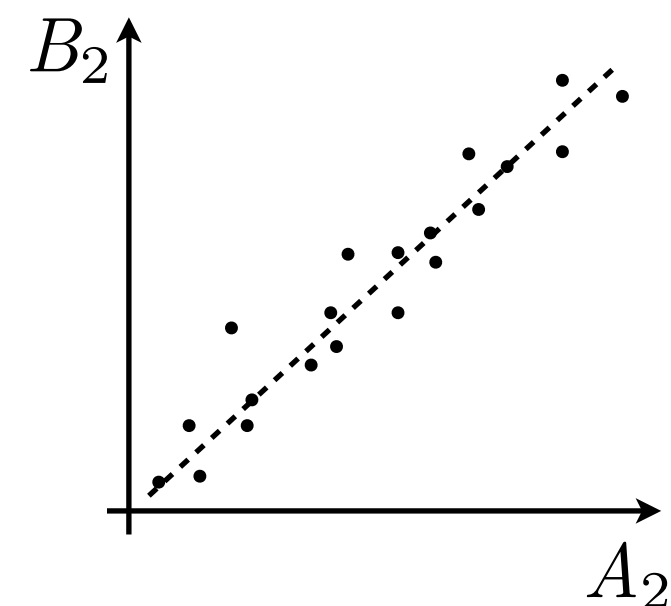
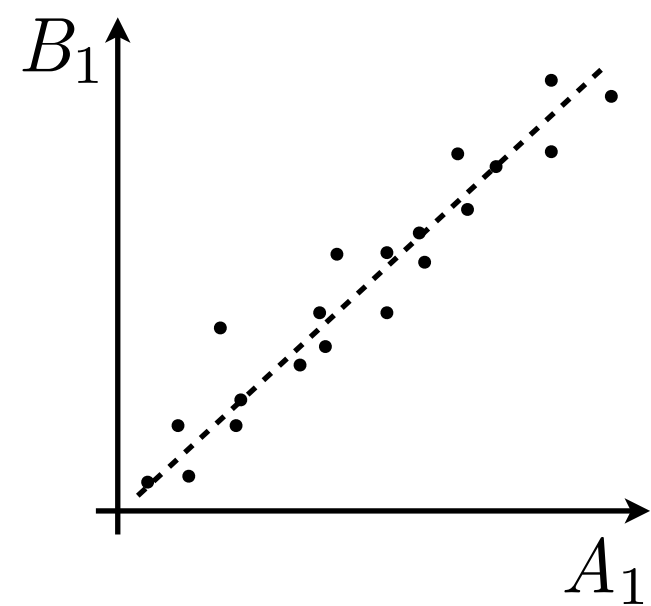
Ανίχνευση Διεμπλοκής



Ορισμός. Η γραμμική συσχέτιση δύο ιδιοτήτων μετράται από τον συντελεστή συσχέτισης Pearson

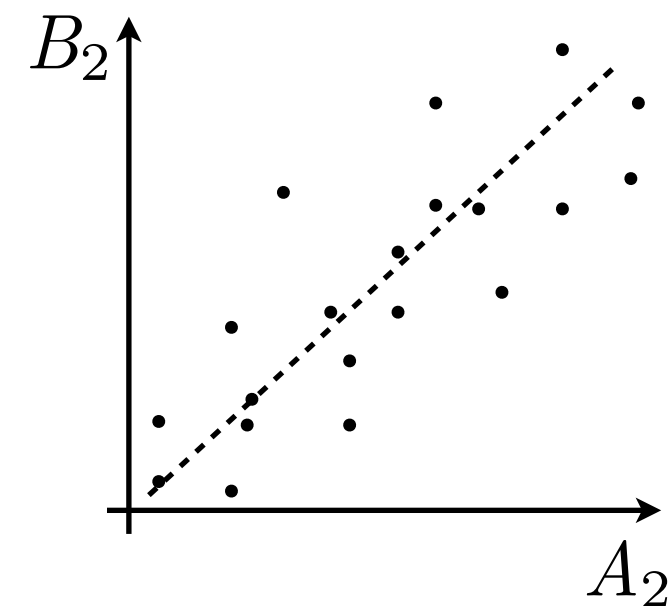
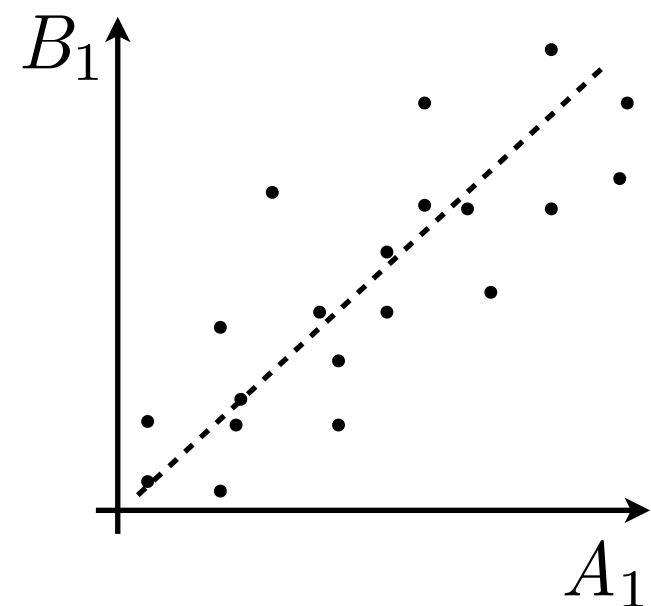
$$\text{Cor}(A, B) = \frac{\mathbb{E}(A, B) - \mathbb{E}(A)\mathbb{E}(B)}{\sqrt{\mathbb{V}(A)\mathbb{V}(B)}}$$

$$0 \leq |\text{Cor}(A, B)| \leq 1$$

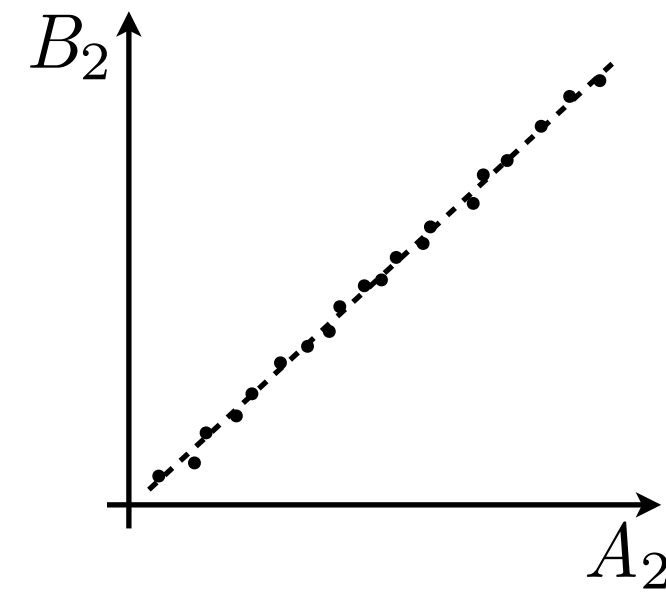
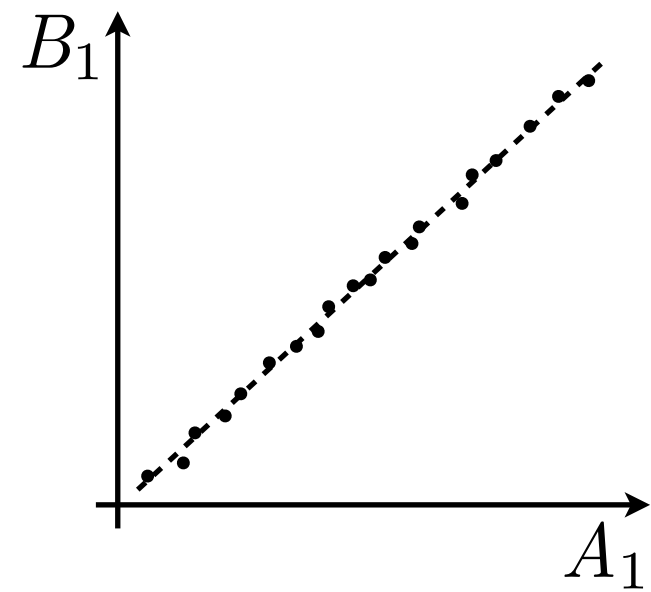


Θεώρημα. Δύο δισδιάστατα κβαντικά σωματίδια είναι διεμπλεγμένα όταν:

$$|\text{Cor}(A_1, B_1)| + |\text{Cor}(A_2, B_2)| > 1$$



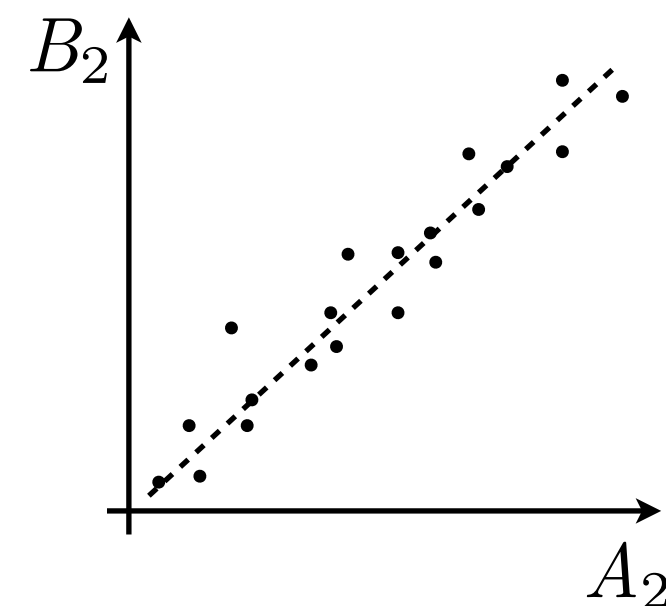
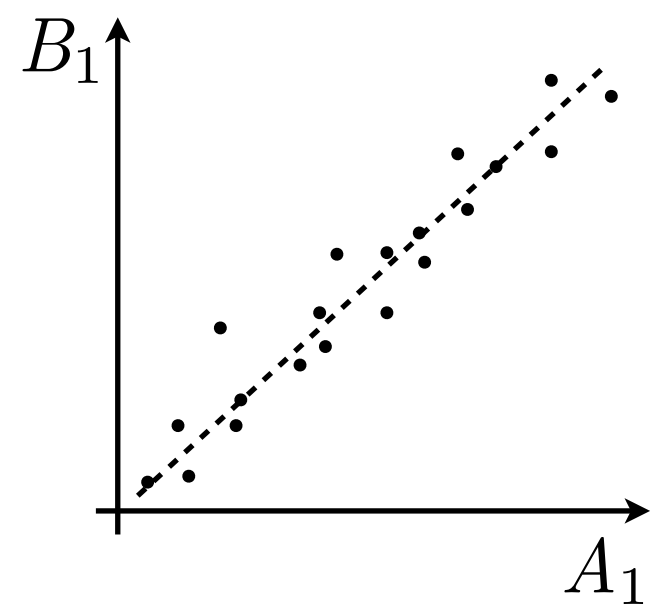
Ανίχνευση Διεμπλοκής



Ορισμός. Η γραμμική συσχέτιση δύο ιδιοτήτων μετράται από τον συντελεστή συσχέτισης Pearson

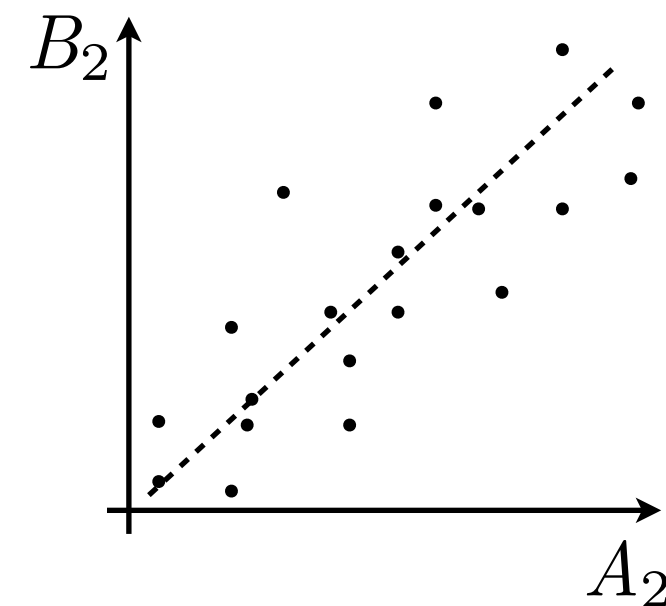
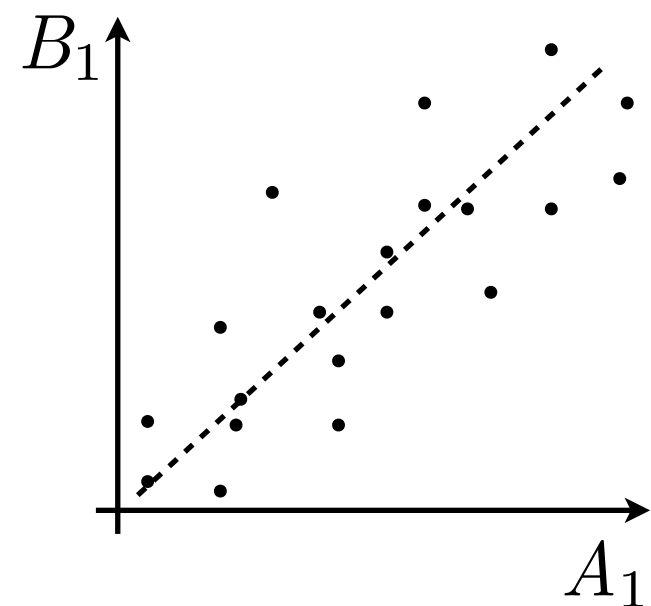
$$\text{Cor}(A, B) = \frac{\mathbb{E}(A, B) - \mathbb{E}(A)\mathbb{E}(B)}{\sqrt{\mathbb{V}(A)\mathbb{V}(B)}}$$

$$0 \leq |\text{Cor}(A, B)| \leq 1$$



Εικασία. Δύο d-διάστατα κβαντικά σωματίδια είναι διεμπλεγμένα όταν:

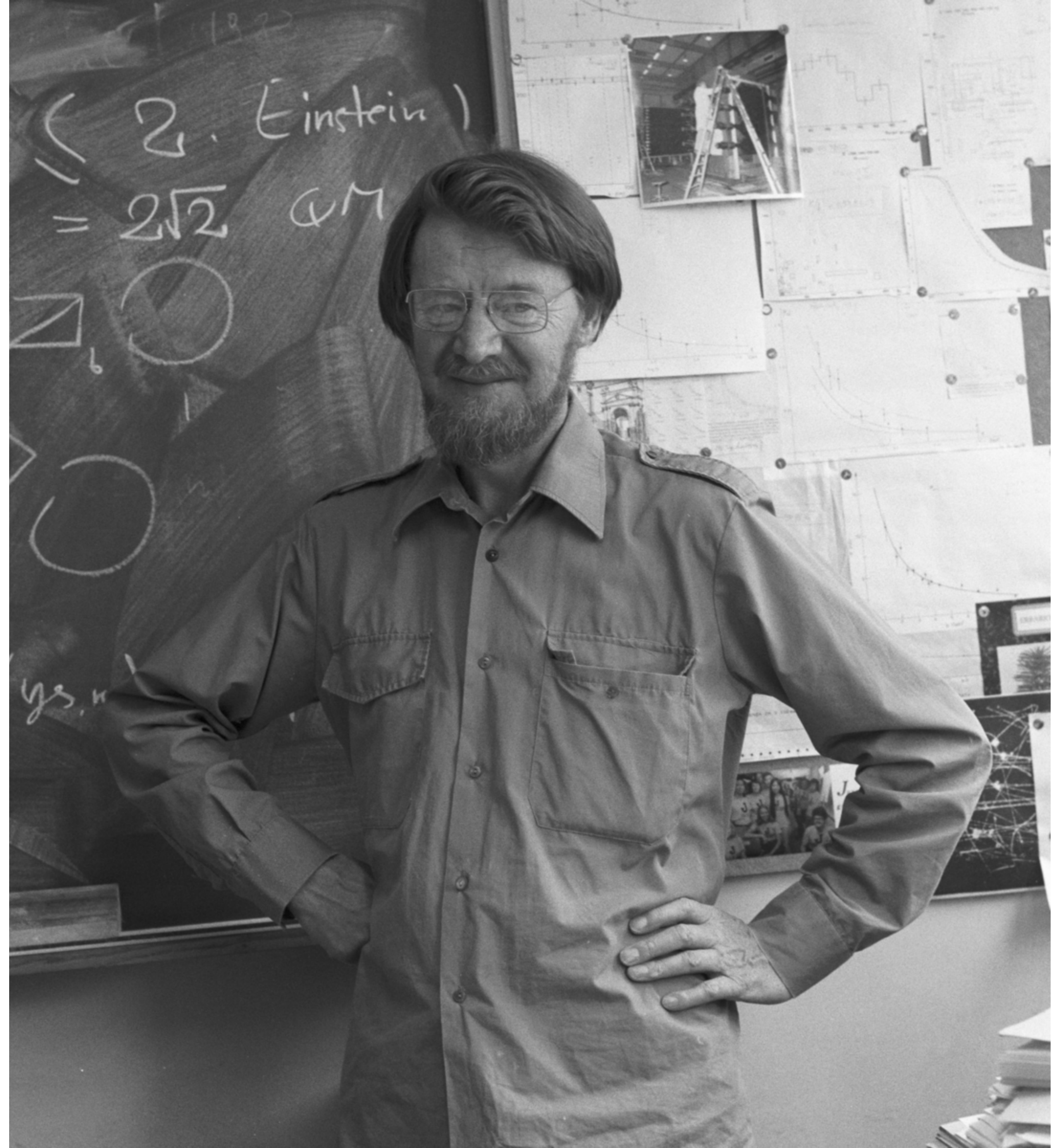
$$|\text{Cor}(A_1, B_1)| + |\text{Cor}(A_2, B_2)| > 2 - \frac{4}{2 + d}$$



John Bell

“Ανισότητα Bell”

John S. Bell, “On the Einstein Podolsky Rosen paradox,” *Physics Physique Fizika* 1, 195–200 (1964)

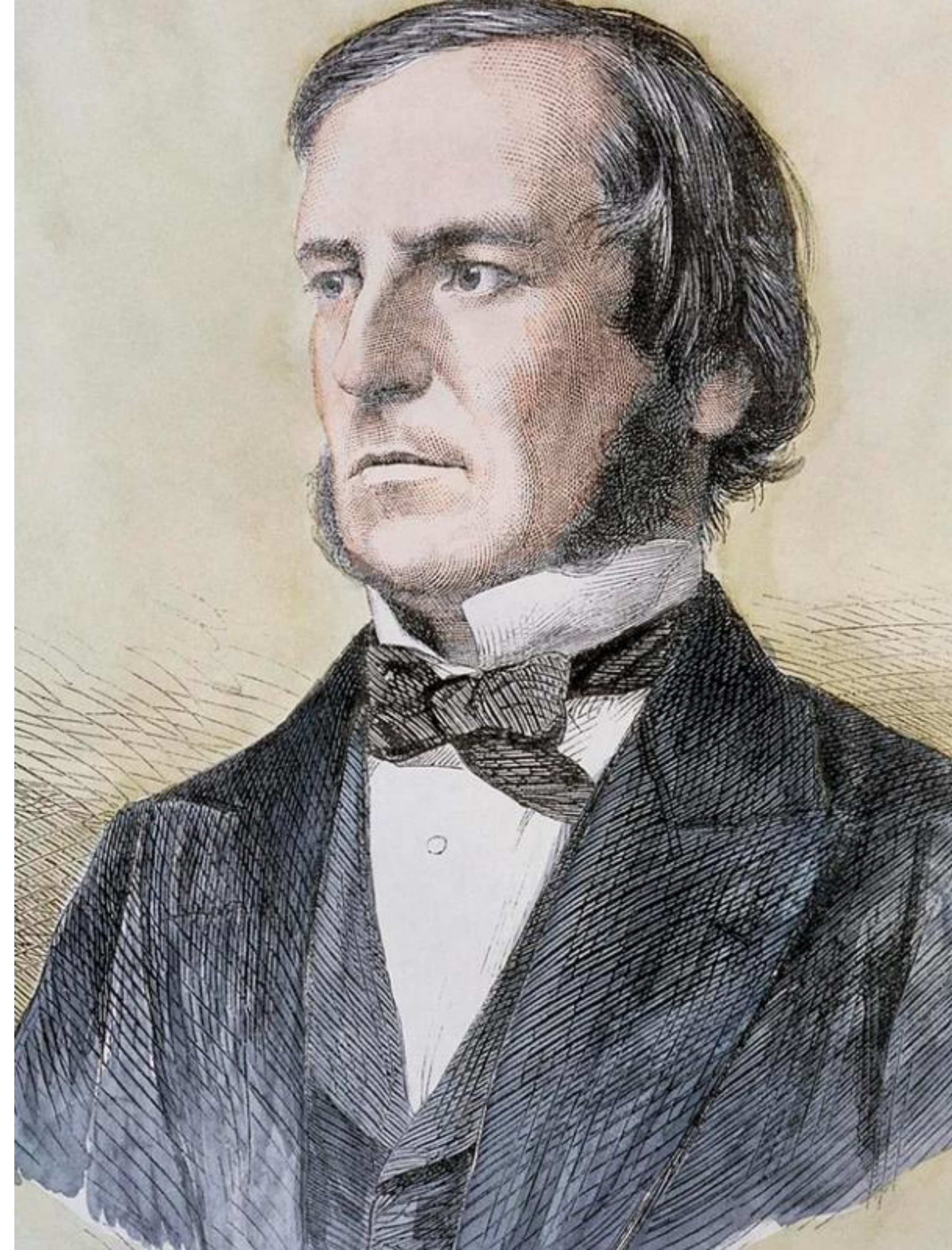


George Boole

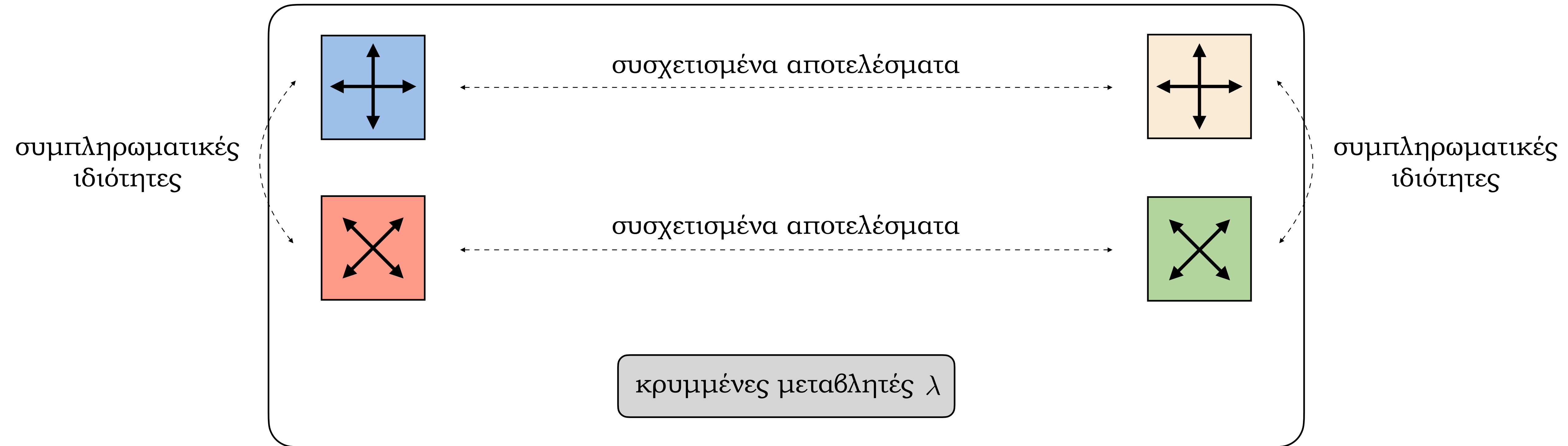
“Conditions of possible experience”

G. Boole "On the theory of probabilities"
Phil. Trans. R. Soc. 152, 225–252 (1862)

Itamar Pitowsky, “George Boole’s ‘Conditions of Possible Experience’
and the Quantum Puzzle,” Br. J. Philos. Sci. 45, 95–125 (1994)



Ανισότητες Bell

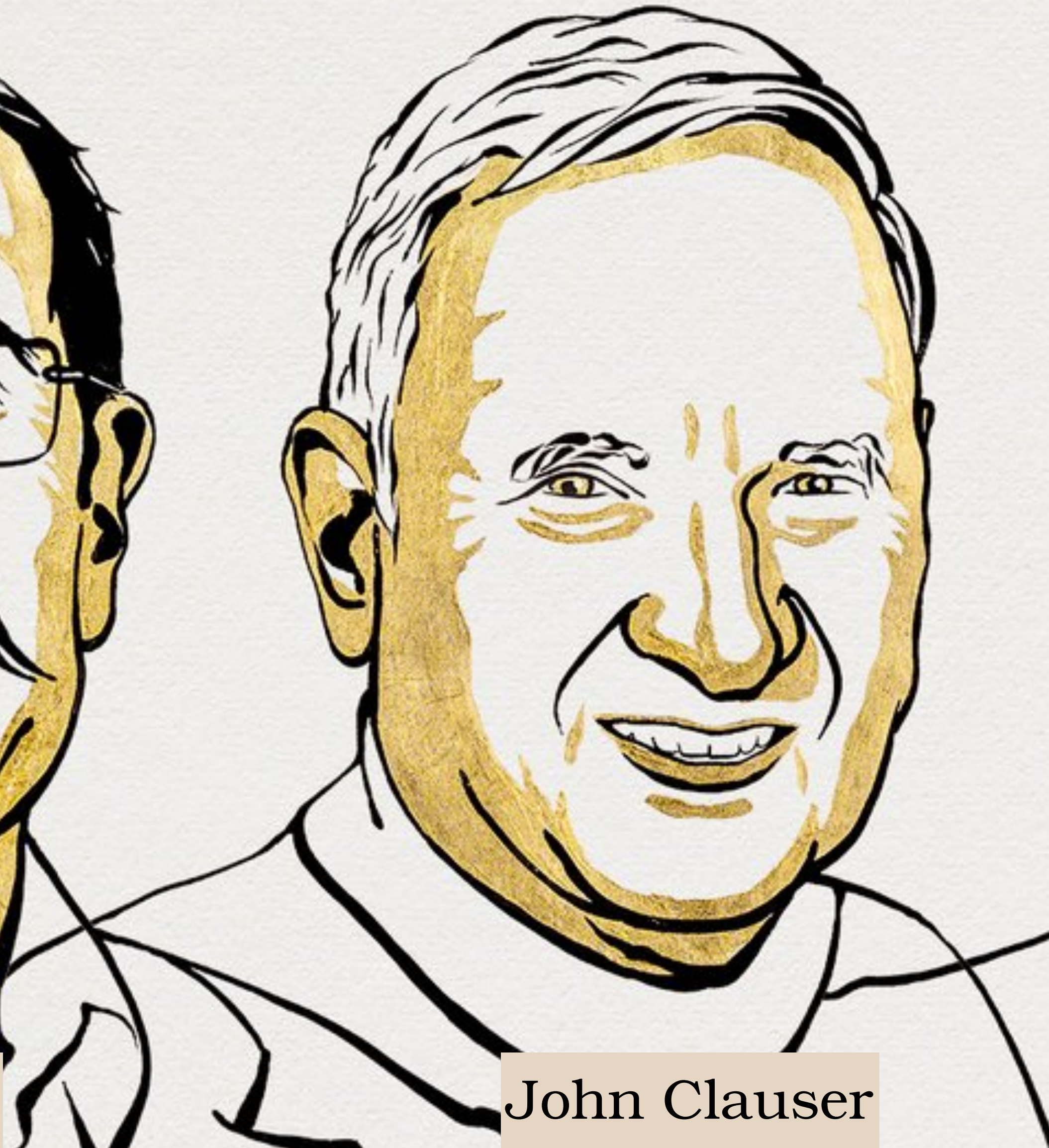


$$\mathbb{C}or(\leftrightarrow, \nearrow) + \mathbb{C}or(\updownarrow, \nearrow) + \mathbb{C}or(\leftrightarrow, \nwarrow) - \mathbb{C}or(\updownarrow, \nwarrow) \leq 2$$

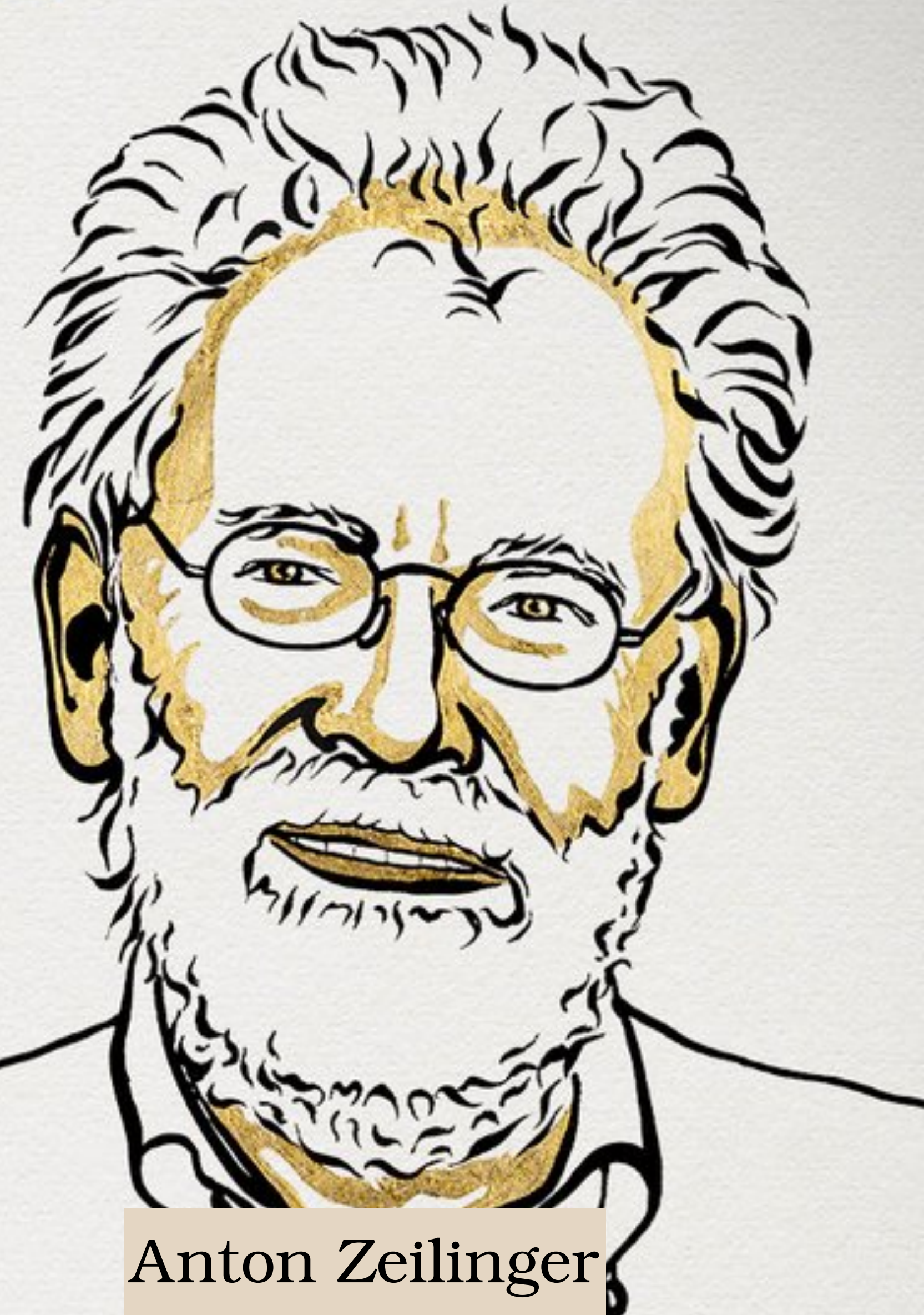
THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2022



Alain Aspect



John Clauser



Anton Zeilinger

Η Συλλογιστική του Bell

Αντιπραγματική Συλλογιστική

Τα αποτελέσματα ασυμβίβαστων πειραμάτων μπορούν
να ληφθούν υπόψη σε υπολογισμούς

Η Συλλογιστική του Bell

~~Αντιπραγματική Συλλογιστική~~

~~Τα αποτελέσματα ασυμβίβαστων πειραμάτων μπορούν να ληφθούν υπόψη σε υπολογισμούς~~

Η κβαντομηχανική μπορεί να θεωρηθεί πλήρης
αλλά αυστηρά στατιστική θεωρία

Ινστρουμενταλισμός 

Ρεαλισμός 

Δομικός Ρεαλισμός 

Υποθέσεις του Bell

Ανεξαρτησία Αποτελέσματος

Τα αποτελέσματα των
μετρήσεων είναι ανεξάρτητα
μεταξύ τους όταν ληφθούν
υπόψη οι κρυφές μεταβλητές

Υποθέσεις του Bell

Ανεξαρτησία Αποτελέσματος

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους όταν ληφθούν υπόψη οι κρυφές μεταβλητές

Ανεξαρτησία Παραμέτρου

Το αποτέλεσμα για το ένα σωματίδιο είναι ανεξάρτητο από την παράμετρο μέτρησης που επιλέγεται για το άλλο

Υποθέσεις του Bell

Ανεξαρτησία Αποτελέσματος

Τα αποτελέσματα των
μετρήσεων είναι ανεξάρτητα
μεταξύ τους όταν ληφθούν
υπόψη οι κρυφές μεταβλητές

Ανεξαρτησία Παραμέτρου

Το αποτέλεσμα για το ένα
σωματίδιο είναι ανεξάρτητο
από την παράμετρο μέτρησης
που επιλέγεται για το άλλο

Ανεξαρτησία Μέτρησης

Οι κρυφές μεταβλητές του
συστήματος είναι ανεξάρτητες
από τις επιλεγμένες
παραμέτρους μέτρησης

Υποθέσεις του Bell

~~Ανεξαρτησία
Αποτελέσματος~~

Τα διεμπλεγμένα σωματίδια δε
μπορούν να περιγραφούν
ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

Ινστρουμενταλισμός 

Ρεαλισμός 

Δομικός Ρεαλισμός 

Υποθέσεις του Bell

Ανεξαρτησία
Αποτελέσματος

Τα διεμπλεγμένα σωματίδια δε
μπορούν να περιγραφούν
ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

Ινστρουμενταλισμός



Ρεαλισμός



Δομικός Ρεαλισμός



~~Ανεξαρτησία
Παραμέτρου~~

Εξάρτηση ανάμεσα στο αποτέλεσμα
του ενός σωματιδίου και στην
παράμετρο μέτρησης του άλλου

Ινστρουμενταλισμός



Ρεαλισμός



Δομικός Ρεαλισμός



Υποθέσεις του Bell

Ανεξαρτησία Αποτελέσματος

Τα διεμπλεγμένα σωματίδια δε
μπορούν να περιγραφούν
ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

Ινστρουμενταλισμός



Ρεαλισμός



Δομικός Ρεαλισμός



Ανεξαρτησία Παραμέτρου

Εξάρτηση ανάμεσα στο αποτέλεσμα
του ενός σωματιδίου και στην
παραμέτρο μέτρησης του άλλου

Ινστρουμενταλισμός



Ρεαλισμός



Δομικός Ρεαλισμός



~~Ανεξαρτησία Μέτρησης~~

Οι κρυφές μεταβλητές
εξαρτώνται από τις επιλεγμένες
παραμέτρους μέτρησης

Ινστρουμενταλισμός



Ρεαλισμός



Δομικός Ρεαλισμός



Πεσιμιστική Επαγωγή

Θεωρίες που κάποτε θεωρούνταν αληθείς εγκαταλείφθηκαν ή ενσωματώθηκαν σε νέες θεωρίες.

Ο παραδοσιακός ρεαλισμός αναγκάζεται συνεχώς να αναθεωρεί το τι θεωρούμε πραγματικό.

Ο δομικός ρεαλισμός υποστηρίζει ότι παρόλο που οι έννοιες που χρησιμοποιούν οι θεωρίες αλλάζουν η δομή που περιγράφουν τείνει να διατηρείται.

Πεσιμιστική Επαγωγή

Θεωρίες που κάποτε θεωρούνταν αληθείς εγκαταλείφθηκαν ή ενσωματώθηκαν σε νέες θεωρίες.

Ο παραδοσιακός ρεαλισμός αναγκάζεται συνεχώς να αναθεωρεί το τι θεωρούμε πραγματικό.

Ο δομικός ρεαλισμός υποστηρίζει ότι παρόλο που οι έννοιες που χρησιμοποιούν οι θεωρίες αλλάζουν η δομή που περιγράφουν τείνει να διατηρείται.

Πεσιμιστική Επαγωγή

Θεωρίες που κάποτε θεωρούνταν αληθείς εγκαταλείφθηκαν ή ενσωματώθηκαν σε νέες θεωρίες.

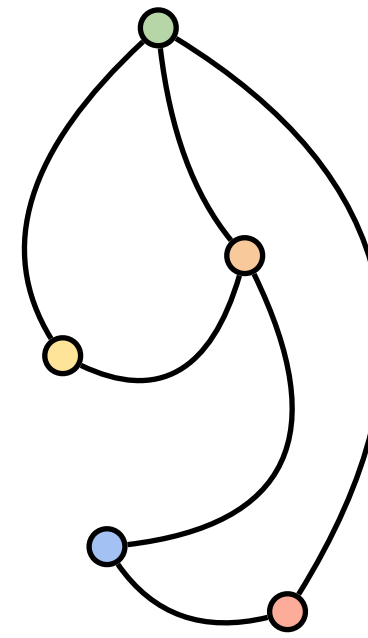
Ο παραδοσιακός ρεαλισμός αναγκάζεται συνεχώς να αναθεωρεί το τι θεωρούμε πραγματικό.

Ο δομικός ρεαλισμός υποστηρίζει ότι παρόλο που οι έννοιες που χρησιμοποιούν οι θεωρίες αλλάζουν η δομή που περιγράφουν τείνει να διατηρείται.

Παρατήρηση

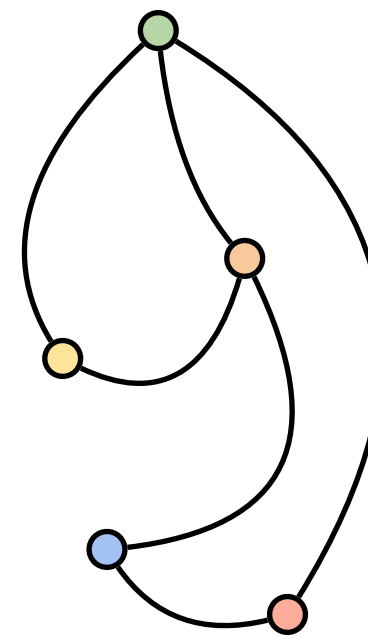
Πραγματικότητα

Ινστρουμενταλισμός

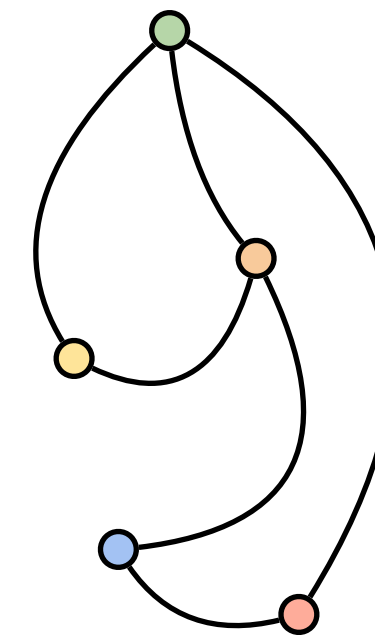


?

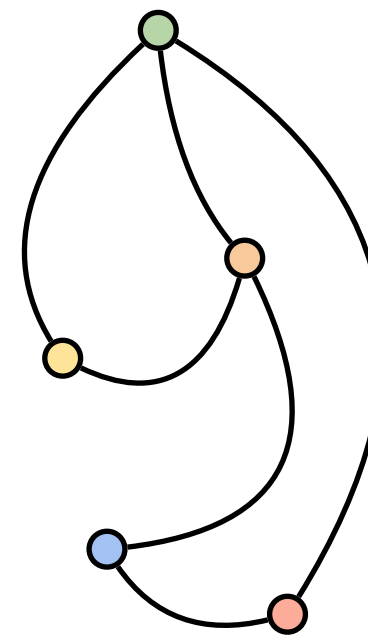
Ρεαλισμός



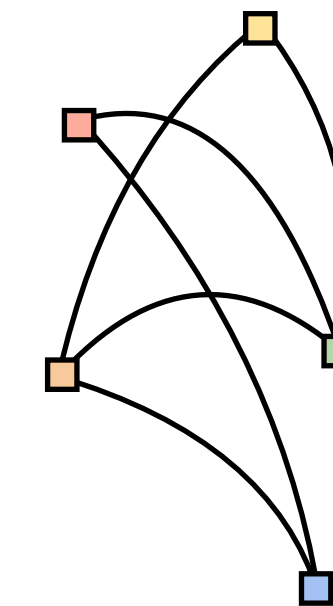
ισοδυναμία
 $\equiv$



Δομικός Ρεαλισμός

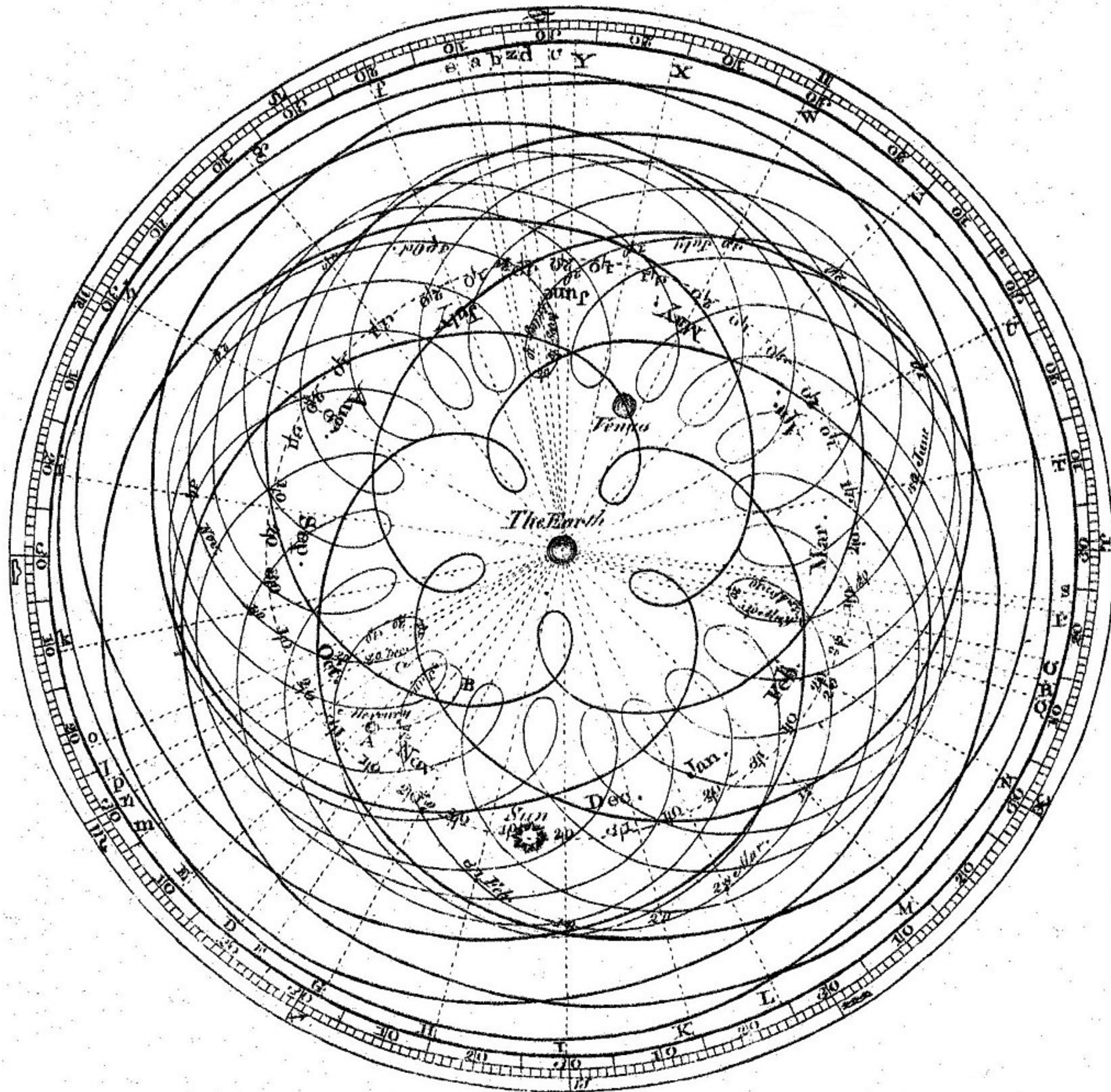


ισομορφισμός
 $\cong$

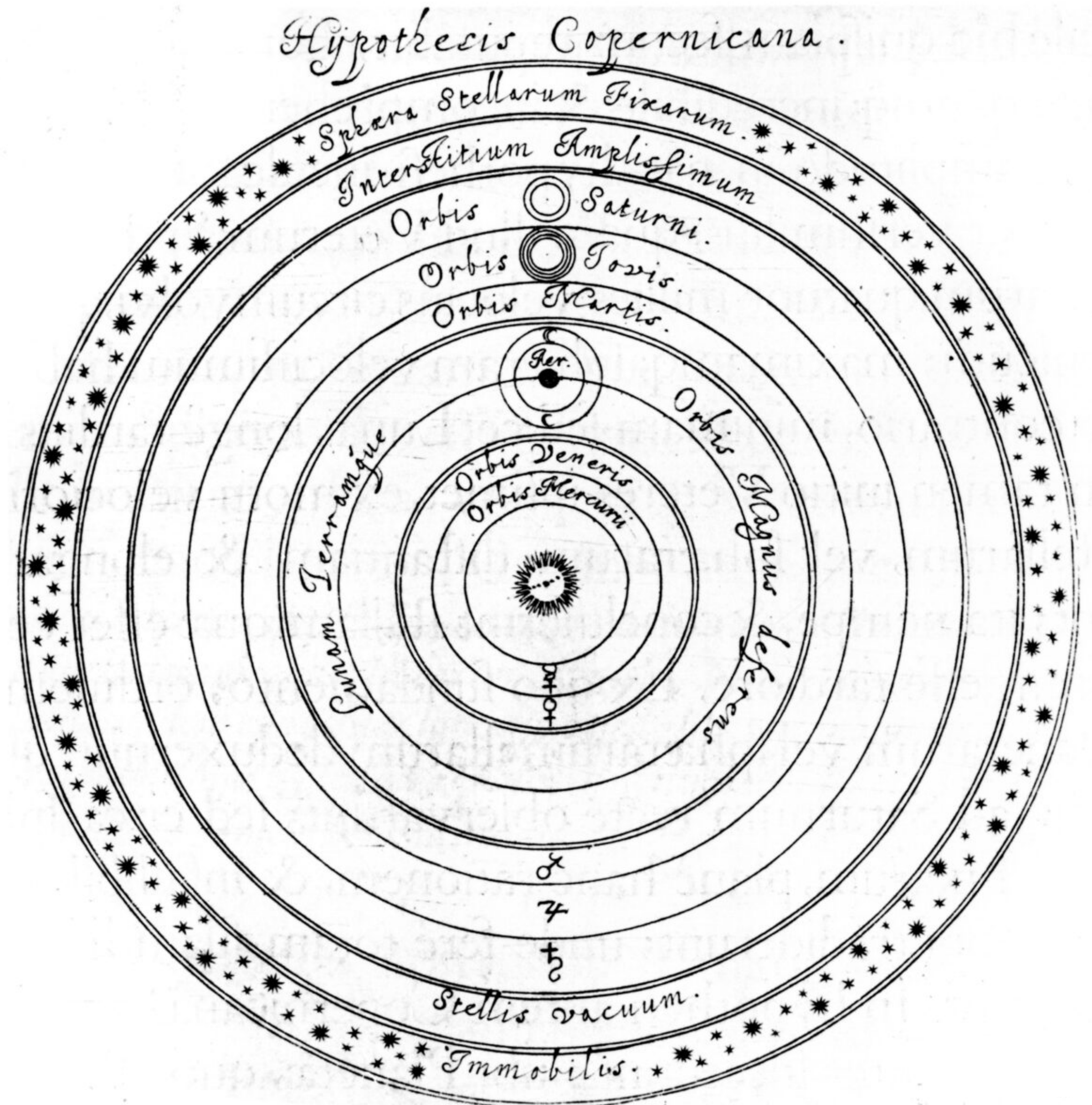




Γεωκεντρικό Μοντέλο



Ηλιοκεντρικό Μοντέλο





TUNING

MHz

KHz

MHz

PLAY/PAUSE PREV NEXT REPEAT

USB

Εξηγήσεις Fine Tuning

Ύπαρξη πολλαπλών
συμπάντων, καθένα με το
δικό του σύνολο
θεμελιωδών παραμέτρων

Εξηγήσεις Fine Tuning

Ύπαρξη πολλαπλών
συμπάντων, καθένα με το
δικό του σύνολο
θεμελιωδών παραμέτρων

Το σύμπαν έτυχε να
διαθέτει τις κατάλληλες
συνθήκες για τη ζωή

Εξηγήσεις Fine Tuning

Ύπαρξη πολλαπλών
συμπάντων, καθένα με το
δικό του σύνολο
θεμελιωδών παραμέτρων

Το σύμπαν έτυχε να
διαθέτει τις κατάλληλες
συνθήκες για τη ζωή

Το σύμπαν έχει έναν
δημιουργό ο οποίος
ρύθμισε τις φυσικές
παραμέτρους

Εξηγήσεις Fine Tuning

Ύπαρξη πολλαπλών
συμπάντων, καθένα με το
δικό του σύνολο
θεμελιωδών παραμέτρων

Το σύμπαν έτυχε να
διαθέτει τις κατάλληλες
συνθήκες για τη ζωή

Το σύμπαν έχει έναν
δημιουργό ο οποίος
ρύθμισε τις φυσικές
παραμέτρους

Από την οπτική του δομικού ρεαλισμού οι τιμές των θεμελιωδών
παραμέτρων είναι ποσοτικές εκφράσεις της υπάρχουσας δομής

$$1 + 2 = 3$$

$$1 + 2.0000000001 \neq 3$$

$$01 + 10 = 11$$

Συνοψίζοντας

Οι έννοιες εισάγονται αξιωματικά και λειτουργούν ως σημεία αναφοράς μέσω των οποίων αναδύονται σχέσεις αποκαλύπτοντας τη δομή της πραγματικότητας.



Baruch Spinoza

Τι υπάρχει πέρα από αυτήν τη δομή?

Μία ενιαία ουσία με αναρίθμητα χαρακτηριστικά, ένα αδιαίρετο όλον, ενωμένο και εκφρασμένο μέσα από καθετί που παρατηρείται.

Περισσότερες Πληροφορίες

Η διάλεξη βασίστηκε σε δοκίμιο το οποίο δημοσιεύτηκε στο resorttoreason.com

Τα slides υπάρχουν στο spyrostserkis.com

Περαιτέρω Βιβλιογραφία

M. Jammer, The Philosophy of Quantum Mechanics (1974)

A. Plotnitsky, Reading Bohr: Physics and Philosophy (2006)

A. Shimony, Foundations of quantum mechanics in the light of new technology, 225-230 (1984)

M. J. W. Hall, Chapter 11 of At the Frontier of Spacetime (2016)

M. S. Longair, Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data (1974)