

Or whether *gasted* by the noise I made, full suddenly he fled. —William Shakespeare, King Lear

GA(uge and) S(tring) T(heory)

Solitoni, Istantoni e Particelle Quantistiche

Davide Fioravanti (coordinatore)

Assemblea di Sezione INFN BOLOGNA



Theory and Phenomenology
of Fundamental Interactions

UNIVERSITY AND INFN · BOLOGNA

Dinamica non perturbativa in teorie di gauge e di stringa: chi siamo?

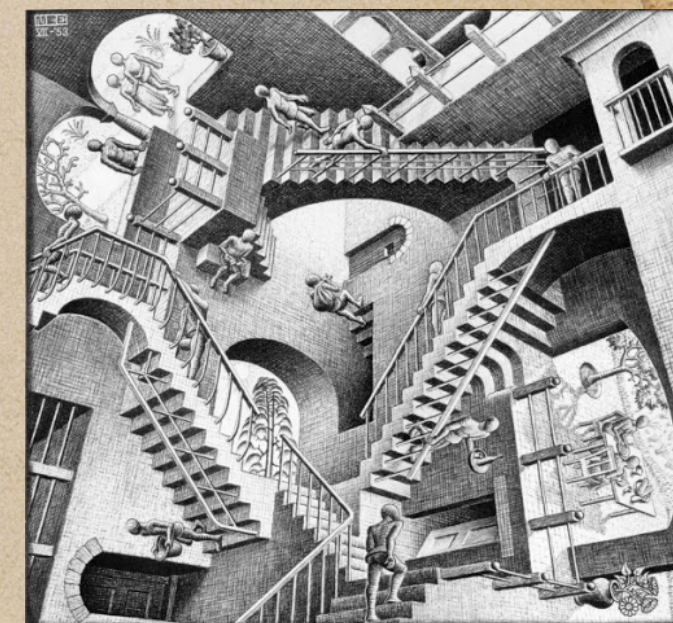
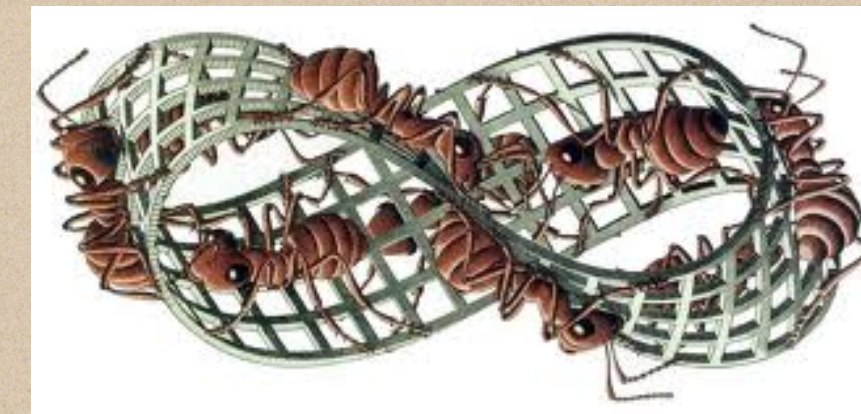
- ◆ Dottorandi: F. M. Balli (UNIMORE, 34 ciclo), F. Comberiati (36), D. Gregori (34), M. Muratori (UNIMORE, 35), O. Pomponio (34)
- ◆ Post-Doc: Leonardo de la Cruz (Unibo con IS QFT@Colliders), Ratul Mahanta (con IS STEFI)
- ◆ Fiorenzo Bastianelli (Unibo)
- ◆ Roberto Zucchini (Unibo)
- ◆ Francesco Ravanini (Unibo)
- ◆ Olindo Corradini (UnimoRe)
- ◆ Marco Rossi, (Unical, Cosenza)
- ◆ Diego Trancanelli (UnimoRe)
- ◆ Emanuele Latini (Unibo, Matematica)
- ◆ DF (INFN)

+FI+PI+PG+TS

Teorie dei Campi Quantistici

cfr. seminari di Peraro e Ercolessi

- ◆ Verde: classico, lo capiamo. Rosso: quantistico, lo sperimentiamo ma capiamo molto meno. Ma l' Universo è decisamente quantistico!
- ◆ Esempio: campo elettro-magnetico (gauge) = elettricità + luce \longrightarrow fotone
- ◆ Aspetti fondamentali di costruzione e sensatezza delle teorie quantistiche. Calcoli quantistici, oltre perturbativo muro (quantistico), esatti.
- ◆ Modello standard e oltre: particelle e particelle (interazioni).
- ◆ Esperimenti di particelle: LHC, Gran Sasso.....VIRGO.....
- ◆ Anche, in prospettiva unificante: TEORIA DEI CAMPI STATISTICI (G.Parisi)



Stringa ovvero Gravità Quantistica

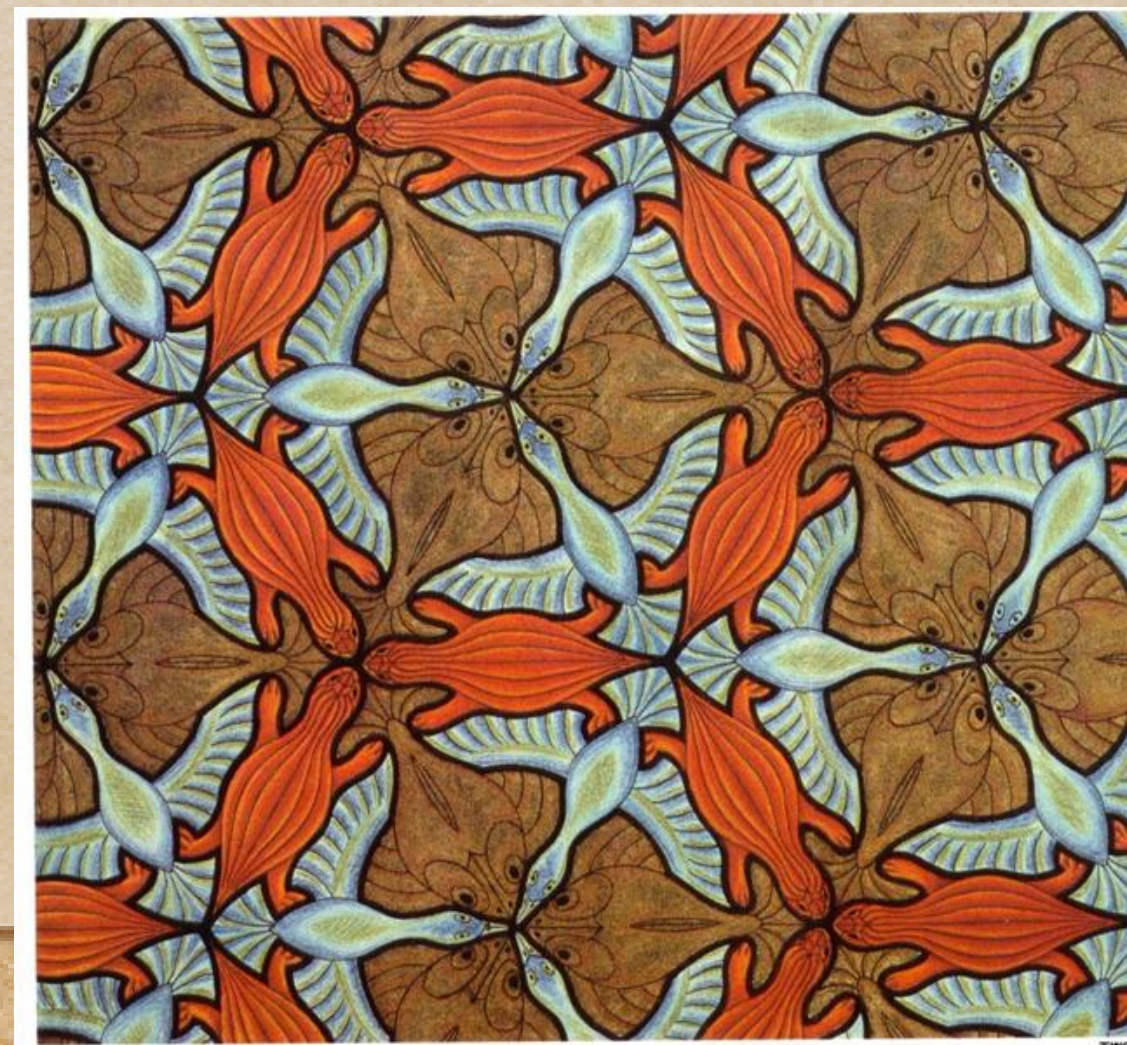
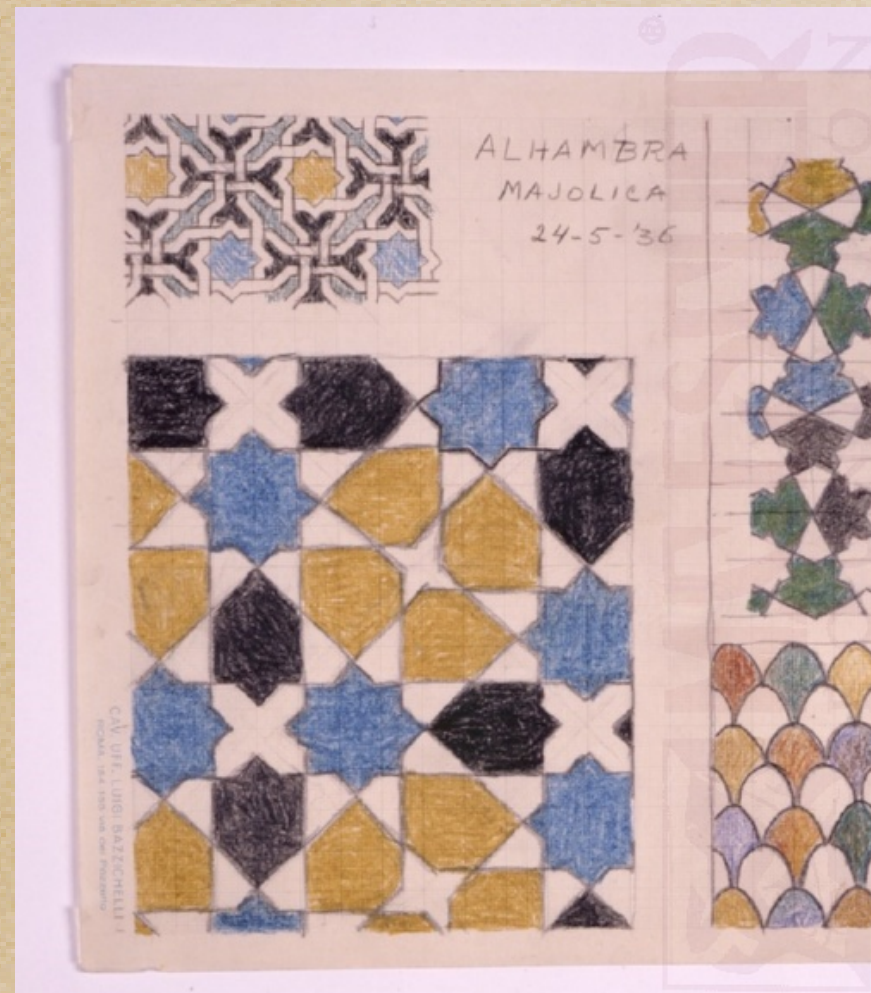
- ◆ L'insostenibile leggerezza della Gravità. Non-rinormalizzabile.
- ◆ Aspetti contraddittori e paradossali. Risolvibili, affascinanti.
- ◆ Climax dei problemi: rendere la Relatività Generale una buona teoria quantistica. Teoria/e di stringa? Pro e contra.
- ◆ Investigando la Gravità si finisce nelle Interazioni Forti. E viceversa: 'stringa' di Veneziano. Dualità grande/piccolo come in uno specchio deformante.

Corrispondenza Gauge/Gravità

- ◆ AdS/CFT correspondence or DUALITY: J. Maldacena
- ◆ HOLOGRAPHY
- ◆ Pletora di applicazioni anche oltre la Fisica delle Particelle! Ad es. Fisica del Plasma, Materia condensata, ecc.
- ◆ Se volete idea progenitrice o nella stessa 'famiglia' della DUALITÀ CAMPO ELETTRICO/MAGNETICO (Maxwell poi Montonen-Olive, Seiberg-Witten.....): SIMMETRIA !!

SIMMETRIE

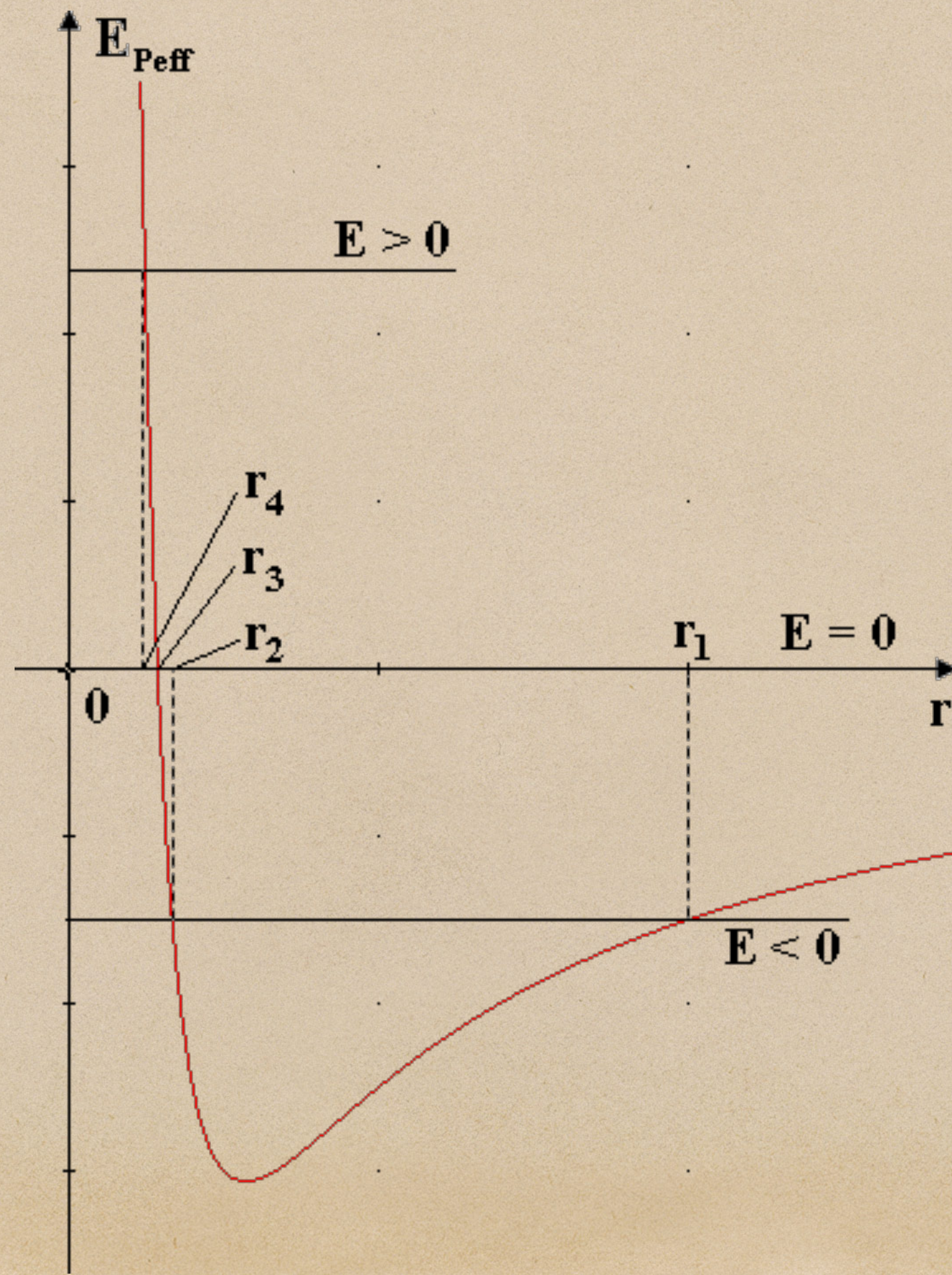
Invarianze dei sistemi fisici



SIMMETRIE

- ◆ Vincolano tantissimo i nostri sistemi fisici come anticipato da Dirac e Wigner. Th. Coleman-Mandula, Maldacena-Zhiboedov
- ◆ Abbandoniamo le traiettorie di Keplero (Equazioni del moto) e quantizziamo le simmetrie!
- ◆ Regola di quantizzazione: preservare le simmetrie (rilevanti).

Buca di potenziale di Keplero (simmetria rotazionale)



Simmetria materia/antimateria o il positrone

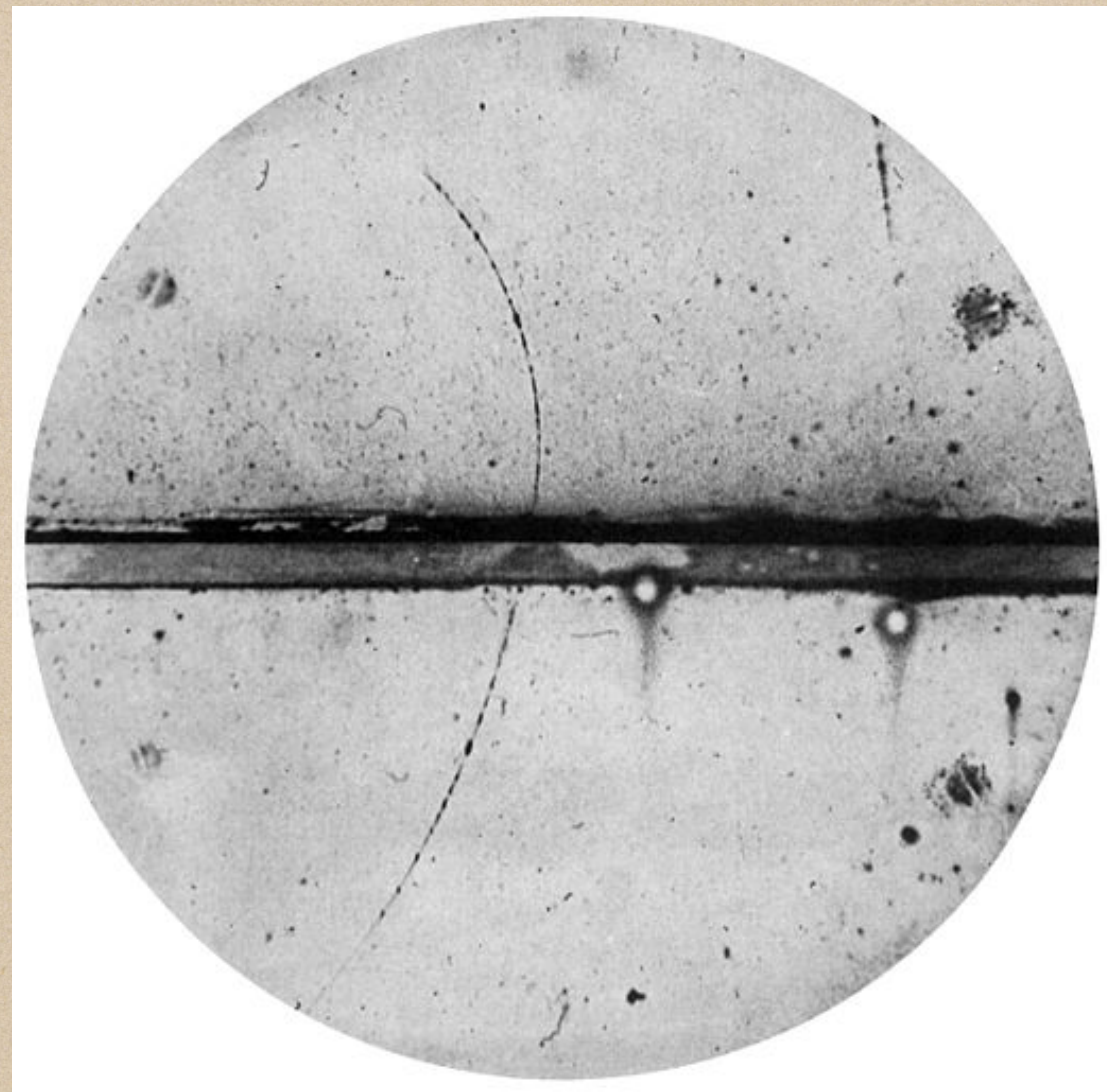


Foto di Carl D Anderson 1932



Soluzione di P Dirac 1928: radice quadrata di 1 è +1 e -1

L'importanza di essere simmetrico o il

TEOREMA DI NOETHER

Emmy Noether

(1882-1935)

L' unico físico matematico in grado di mettere d' accordo Einstein e Dirac, classico e quantístico



Emmy equals Einstein squared

NewScientist

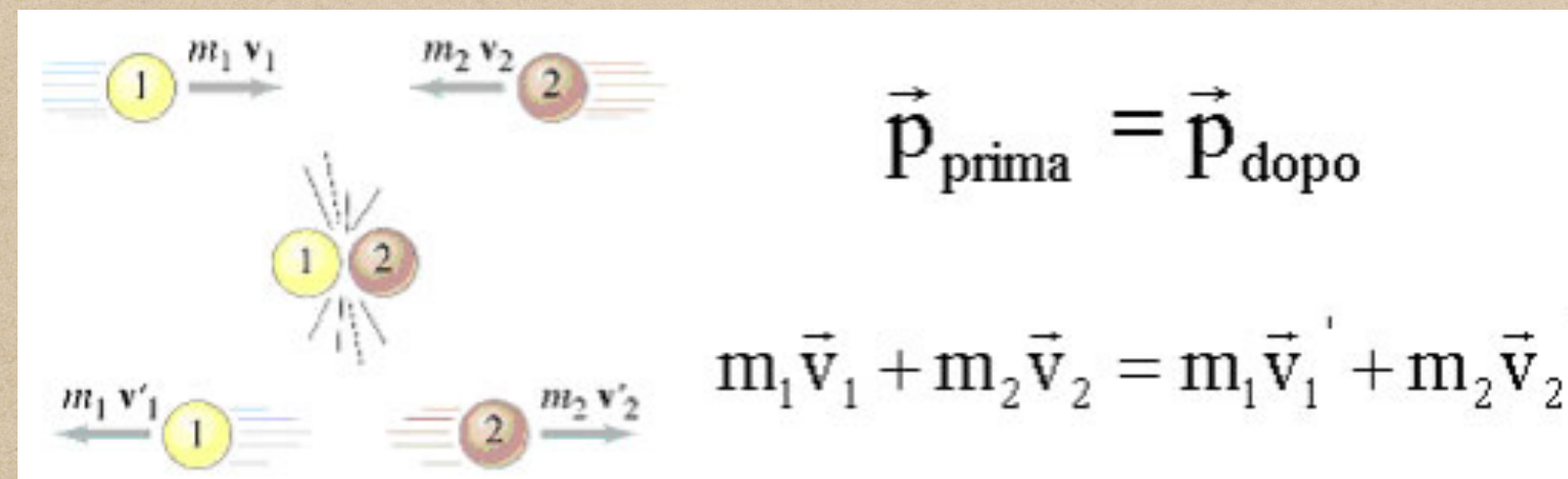
<https://www.newscientist.com/article/mg21929272-400-emmy-equals-einstein-squared/>

$$E = mc^2$$

Ad ogni SIMMETRIA corrisponde una
QUANTITÀ CONSERVATA

Quantità conservate, fondamentali in Fisica

flusso, corrente



in generale
→

$$DQ = Q_{\text{dopo}} - Q_{\text{prima}} = 0$$



Emmy Noether


Leggi di
conservazione
sono
conseguenze di
simmetrie.

Simmetrie \leftrightarrow *quantità conservata*

traslazioni spaziali \leftrightarrow Quantità di moto

traslazioni temporali \leftrightarrow Energia

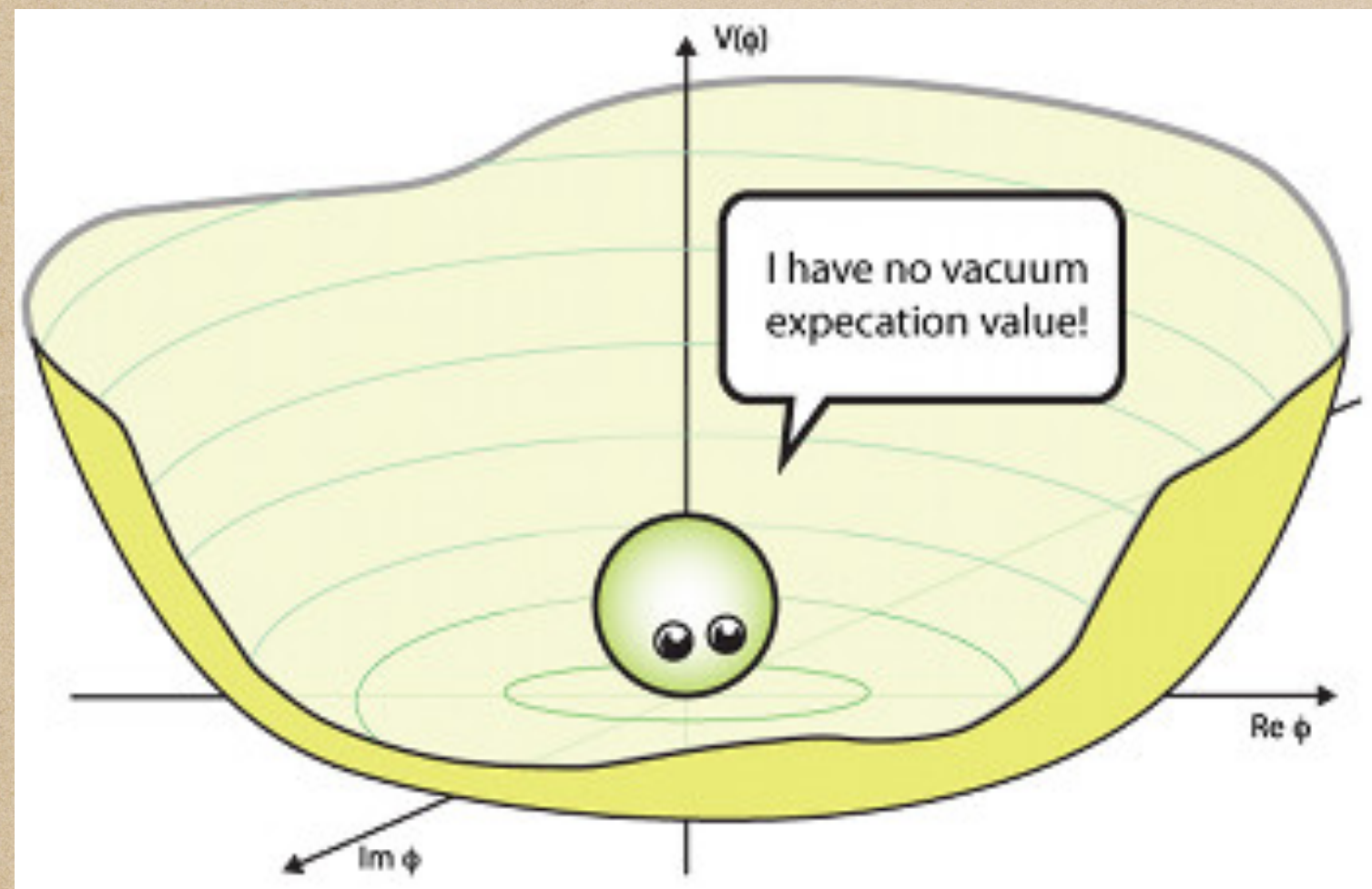
Rotazioni \leftrightarrow Momento della
quantità di moto

- ◆ Lega geometria (simmetria) a proprietà fisica.
- ◆ Simmetria per traslazione (sistema non cambia se mi muovo un po' a destra o a sinistra)  momento conservato
- ◆ Leggi di continuità. Correnti, come nei circuiti.

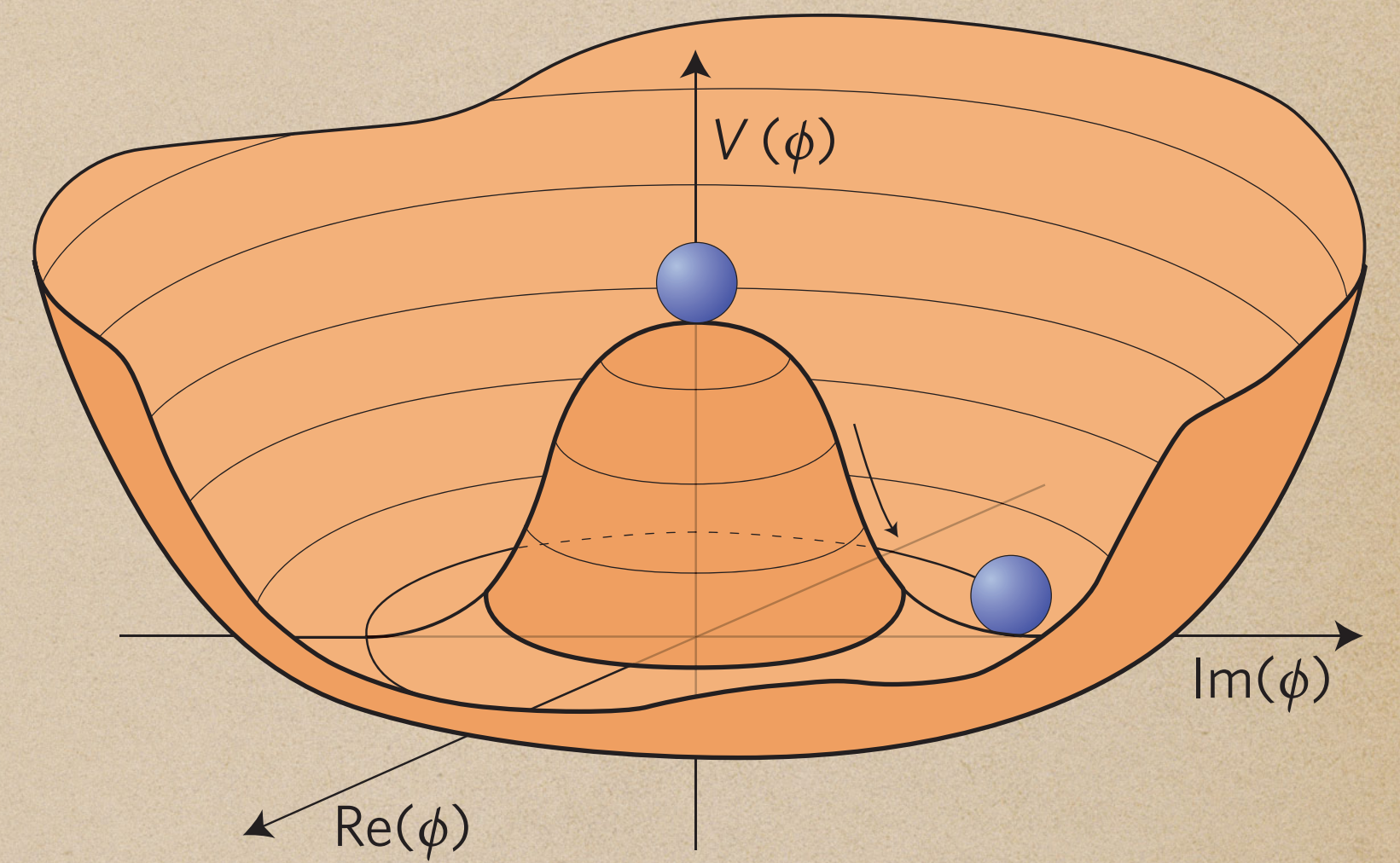
Anomalie quantistiche

- ◆ $DQ = Q_{\text{dopo}} - Q_{\text{prima}} = A$ non zero nella teoria quantizzata che è teoria nuova (che capiamo meno)
- ◆ A è veramente non nulla per motivi fisici: simmetria violata
- ◆ Impongo $A=0$, simmetria ripristinata: vincolo importante sui parametri (anche in teorie di stringa).

Rottura spontanea della Simmetria



ROTTURA



Eyes on a prize particle

Luis Álvarez-Gaumé and John Ellis

The search for the Higgs boson could soon prove successful. Although the particle bears the name of a single physicist, many more were involved in devising the theory behind it — so which of them should share a potential Nobel Prize?

Bosone di Higgs

Osessionati!!!
Unificanti

The story of the Higgs boson begins with symmetry. Physicists are obsessed with the notion of symmetry — it enables them to relate phenomena that may at first sight seem very disparate — and with the notion of symmetry breaking, because many of nature's symmetries are not exact but only approximate or otherwise concealed. One example of an exact symmetry (or rather, exact so far) is Lorentz invariance, which first appeared in Maxwell's equations that unify electricity and magnetism, and was subsequently elevated to a general principle by Einstein in his special theory of relativity. On the other hand, there are two distinct possibilities for breaking a symmetry: either it was never really there at all, because there are parts of the underlying equations that are not symmetric; or the breaking originates not in the equations themselves, but rather in the solution that nature chooses, an option known as spontaneous symmetry breaking or hidden symmetry.

An example of a 'really broken' symmetry is provided by nuclear physics: protons and neutrons experience very similar strong nuclear forces but have different electric charges and slightly different masses. We now understand the small differences in their masses and nuclear forces as being due largely to the small differences between the masses of the two types of quark they contain. On the other hand, an example of

Related ideas were introduced into particle physics by Nambu⁵ in 1960, earning him a share in the Nobel Prize for physics finally in 2008. He suggested that the low mass and the low-energy interactions of pions — the lightest nuclear particle — could be understood as a reflection of an approximate 'hidden' symmetry that would have been exact if the quarks they contain were actually massless. In the real world, the masses of the quarks that make up protons, neutrons and pions are much smaller than a typical nuclear mass. Nambu's insight was that, even if the quark masses vanished, the corresponding symmetry would be 'hidden'.

This happens because the light quarks condense in pairs in the vacuum, breaking the symmetry 'spontaneously' much like Cooper pairs of electrons inside a superconductor (Fig. 1). Consequently, the 'hidden' symmetry causes the pions' masses to vanish, in accord with a general theorem proven in 1961 and 1962 by Goldstone, Salam and Weinberg^{6,7}, and fixes their low-energy couplings to protons, neutrons and each other. A key difference between the cases of superconductivity and Nambu's theory of pions is that the former breaks a 'gauge' symmetry — that is, one whose transformations can be made locally — and the latter breaks a 'global' symmetry, in which the same transformation must be made over all space and time.

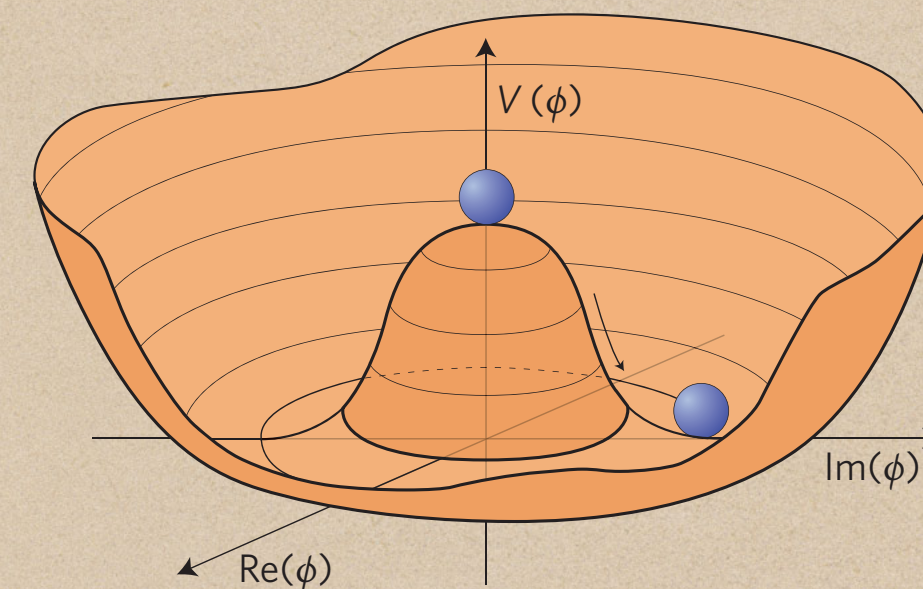


Figure 1 | An effective potential, $V(\phi)$, in the form of a 'Mexican hat' leads to spontaneous symmetry breaking. The vacuum — that is, the lowest-energy state — is described by a randomly chosen point around the bottom of the hat. In a global symmetry, movements around the bottom of the hat correspond to a massless, spin-zero, Nambu-Goldstone boson⁵⁻⁷. In the case of a local (gauge) symmetry, as was pointed out by Englert and Brout⁸, by Higgs¹⁰ and by Guralnik, Hagen and Kibble¹¹, this boson combines with a massless spin-one boson to yield a massive spin-one particle. The Higgs boson¹⁰ is a massive spin-zero particle corresponding to quantum fluctuations in the radial direction, oscillating between the centre and the side of the hat in the direction of the arrow.

theoretical stone, by combining would-be massless spin-one and spin-zero bosons to obtain massive spin-one particles in gauge theories with either Abelian or

Rottura della SUPERSIMMETRIA

Perché alle nostre energie non la osserviamo (?) in teorie di campo.

Complicatissima in stringa: instabilità del vuoto, necessità di
comprensione non perturbativa ecc.

PRIN 2019: <http://susybreaking.sns.it/index.html>

Astrazione Matematica e Bellezza



Arianna (ellenística, III a C)

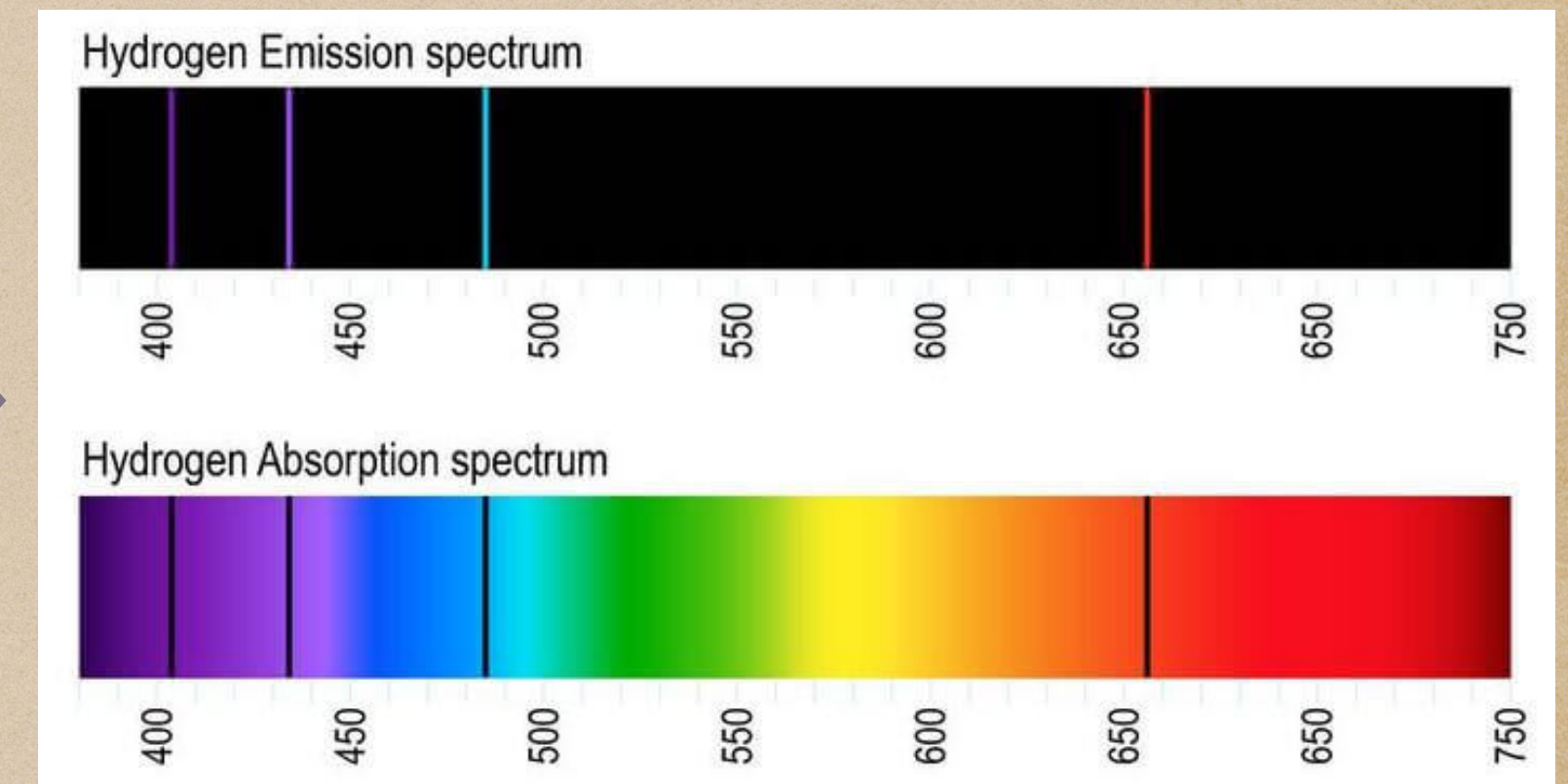
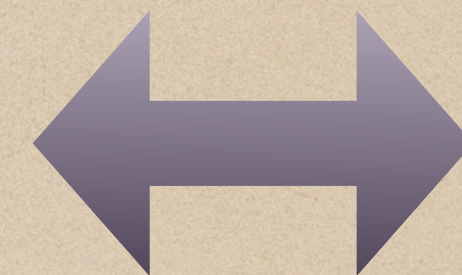
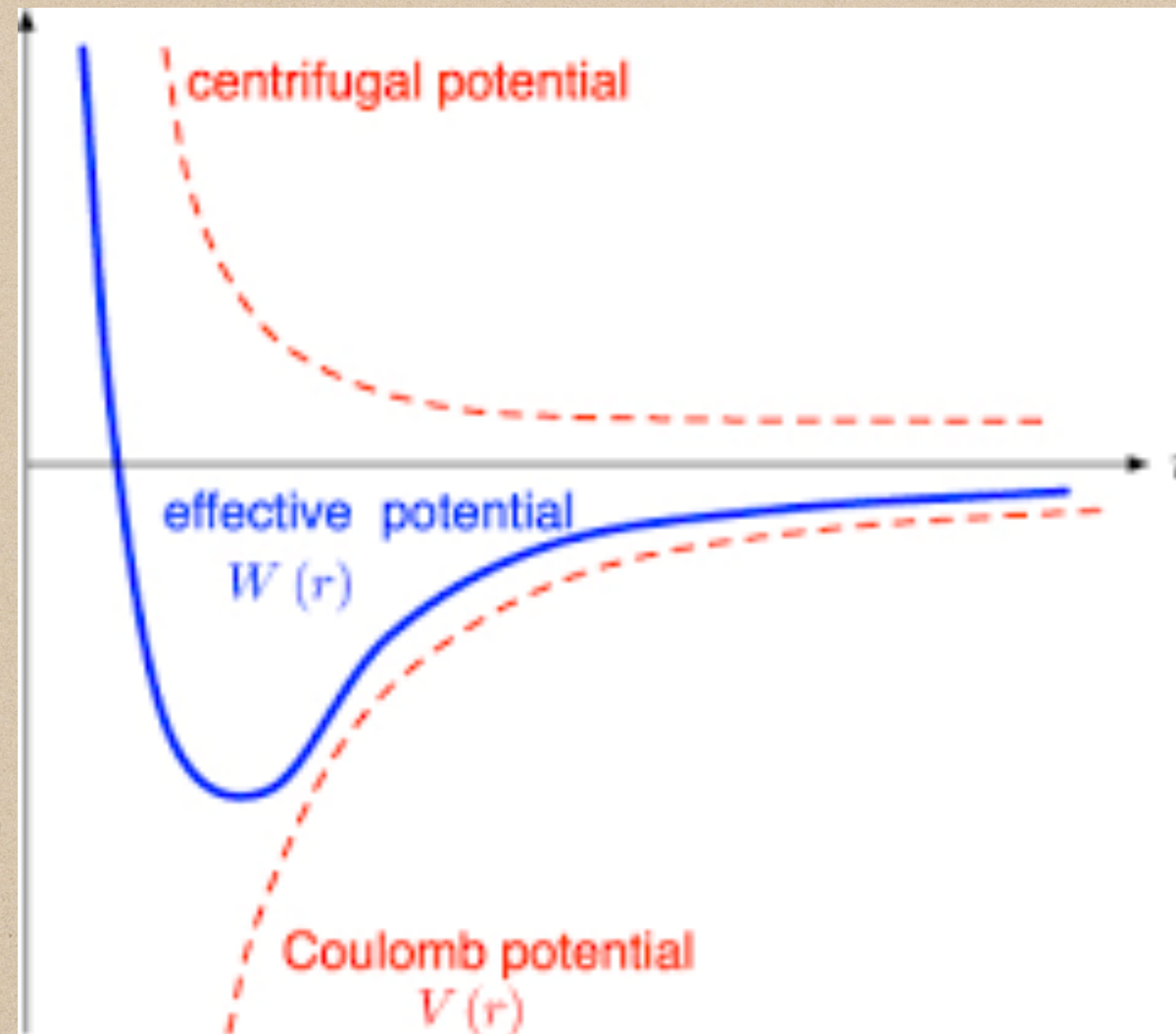
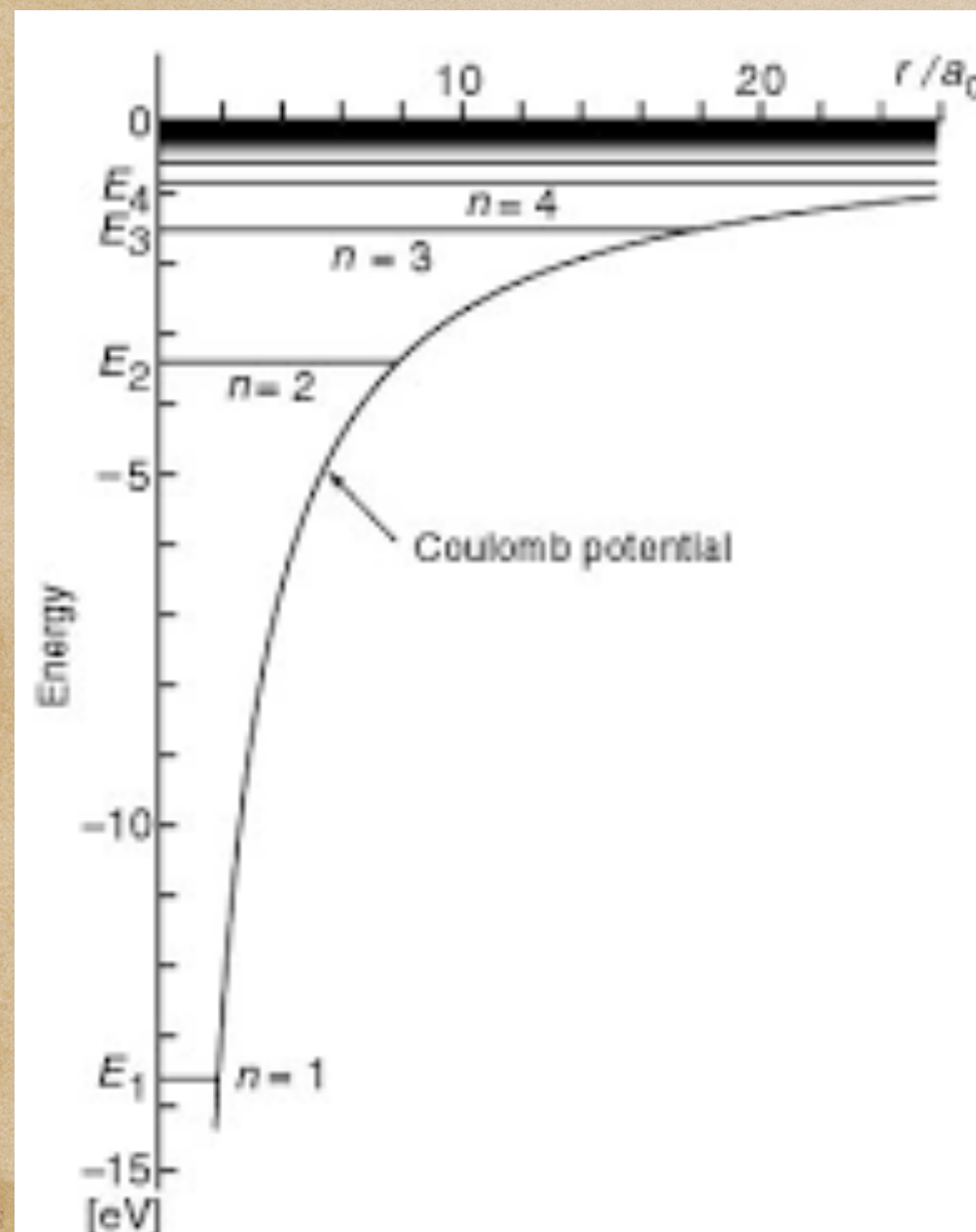


Aurora (Michelangelo, 1530)

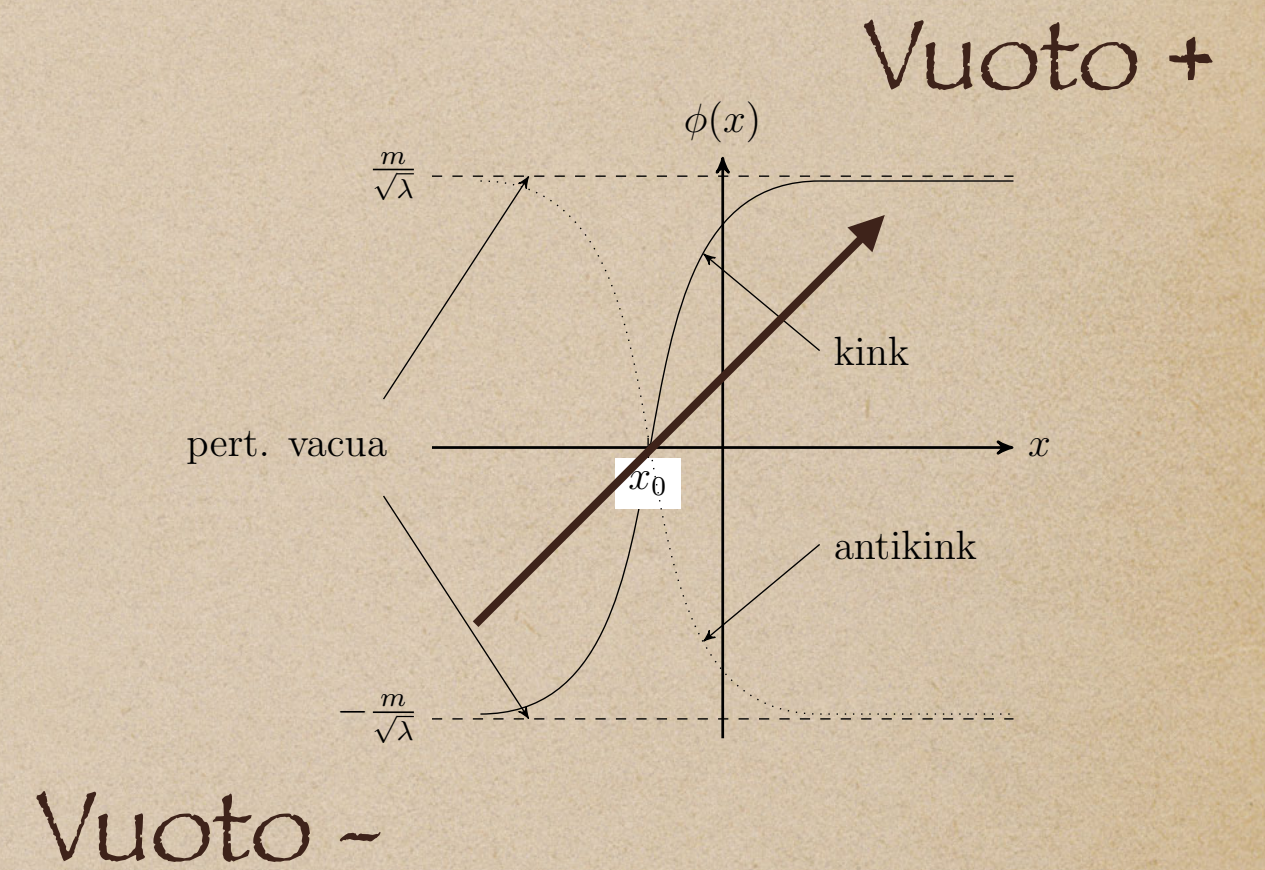
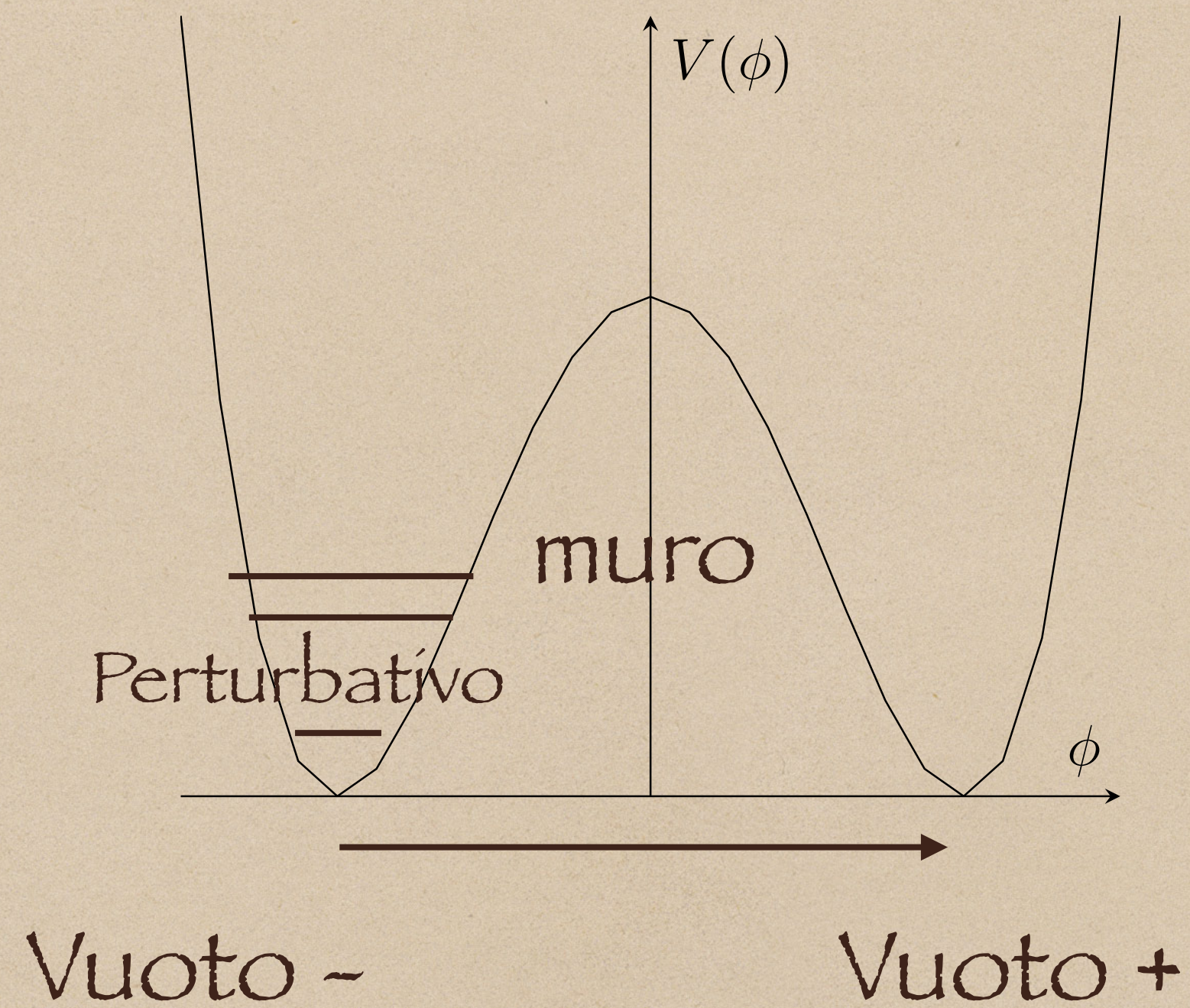
Sí dice che una volta toccato il fondo
non puoi che risalire. A me capita di
cominciare a scavare (Freak Antoni)

Mi disse: Abba nella vita a volte sí precipita e sí va a fondo. Gli risposi:
Lo so ma coraggio! Andando a fondo sí scoprono le fondamenta
(Enzo Bianchi)

Spettro o eccitazioni sul vuoto



Scavare un tunnel sotto (per connettere vuoti)



Kink, Solitoni, Istantoni

- ◆ Soluzioni classiche della teoria che aprono la via al tunneling quantistico, qualcosa di squisitamente QUANTISTICO!
- ◆ Quindi hanno rilevanza per una vera comprensione quantistica!
- ◆ Numero sterminato di applicazioni: dall'ottica all'idrodinamica!

Solítóni

J. Scott Russel (Union Canal, Edinburgo, 1834): "...la forma di una grande elevazione solitaria, un ammasso d'acqua di forma arrotondata, liscia e ben definita, che ha continuato il suo cammino lungo il canale senza visibile cambiamento di forma o diminuzione di velocità."

- ◆ Perché stabile: compensazione tra dispersione e non-linearità
- ◆ Esperimento/paradosso numerico di Fermi-Ulma-Pasta (1955), spiegato poi (1965) da Zabusky&Kruskal (Bell Lab.): INTERAZIONE!!
- ◆ Compensazione molto delicata, instabile! Facilmente shock!
- ◆ Ragione moderna e profonda: tante cariche conservate danno stabilità. Tornano alla caricale cariche, utilizzabili come signature.
- ◆ Studio della rottura e ripristino della stabilità in tantissime branche della Scienza, dai Sistemi Complessi alle fibre ottiche all' epidemiologia

Grazie mille!!!