

---

# *Le Meraviglie della Fisica Quantistica*



***Roberto Passante***  
**Dipartimento di Scienze Fisiche ed  
Astronomiche, Università di Palermo**

---

**ITI Mottura, Caltanissetta, 24 Ottobre 2007**

## *La Fisica Classica*

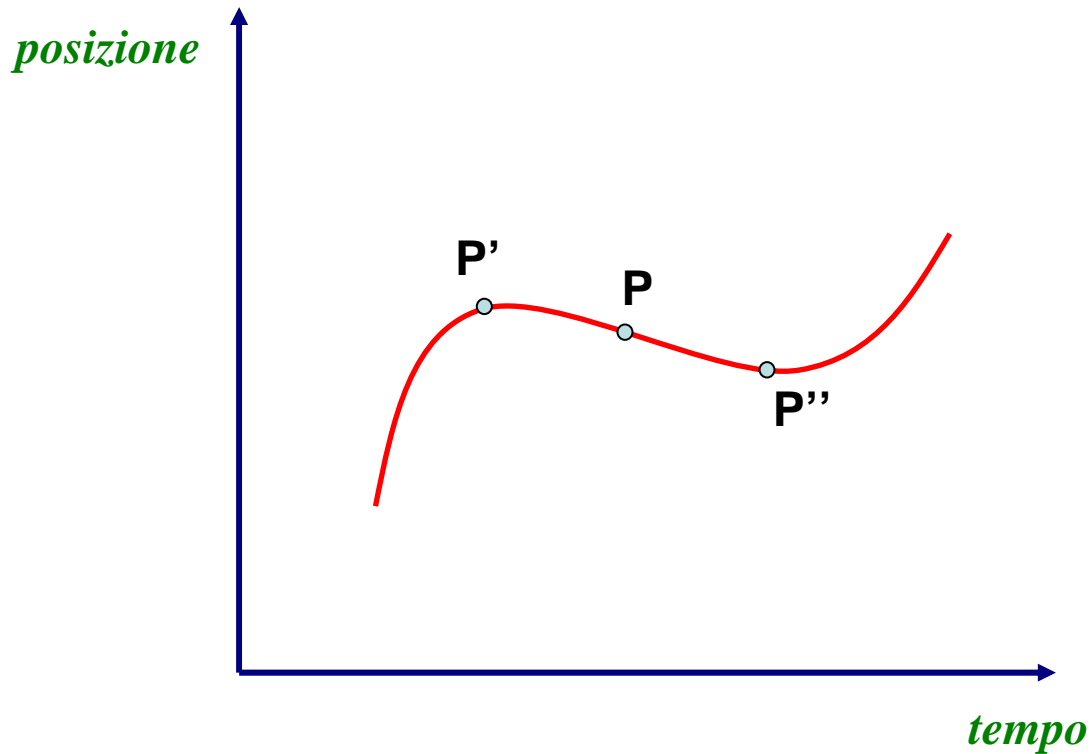


**Galileo Galilei (1564-1642)**



**Isaac Newton (1642-1727)**

Per descrivere il moto di un oggetto, dobbiamo conoscere la sua posizione al passare del tempo (cioè la sua traiettoria).



**Le equazioni della dinamica di Newton permettono di ottenere, dalla conoscenza della posizione ( $P$ ) della particella a un dato istante di tempo, la sua posizione a tutti gli istanti precedenti ( $P'$ ) e futuri ( $P''$ ).**

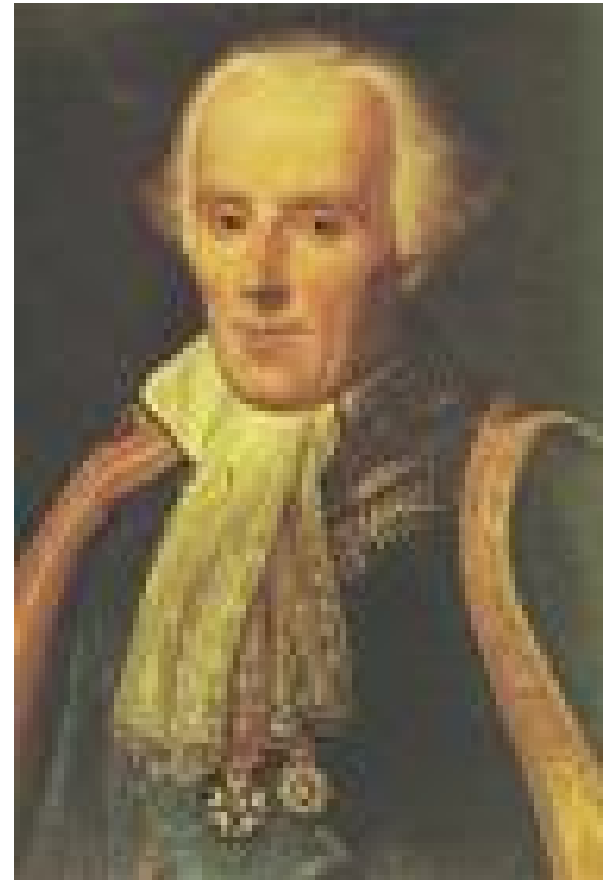
***Lo stesso vale per un sistema di particelle comunque complesso.***

*La conoscenza dello stato iniziale di una particella (posizione e velocità iniziali) permette in linea di principio di conoscerne la posizione ad ogni istante di tempo futuro e passato*

## → **Determinismo**

*Dallo stato attuale dell'Universo potremmo, in linea di principio, derivarne tutta la sua storia passata e futura!*

*Allora il futuro è già assegnato?  
E il libero arbitrio?*



**Pierre-Simon Laplace**  
(1749-1827)

*Va comunque considerato che qualsiasi processo di misura impone una perturbazione sul sistema da misurare: così misurare la temperatura di un oggetto impone che si metta a contatto il termometro con l'oggetto stesso: l'oggetto stesso dunque cambia la sua temperatura.*

*Tuttavia la speranza è che si possa sempre inventare uno strumento che riduca a quantità piccole a piacere la perturbazione del sistema da misurare.*

**In cosa differisce la  
descrizione  
quantistica della  
“realtà” dalla  
descrizione classica?**

*Quali elementi  
nuovi introduce?*



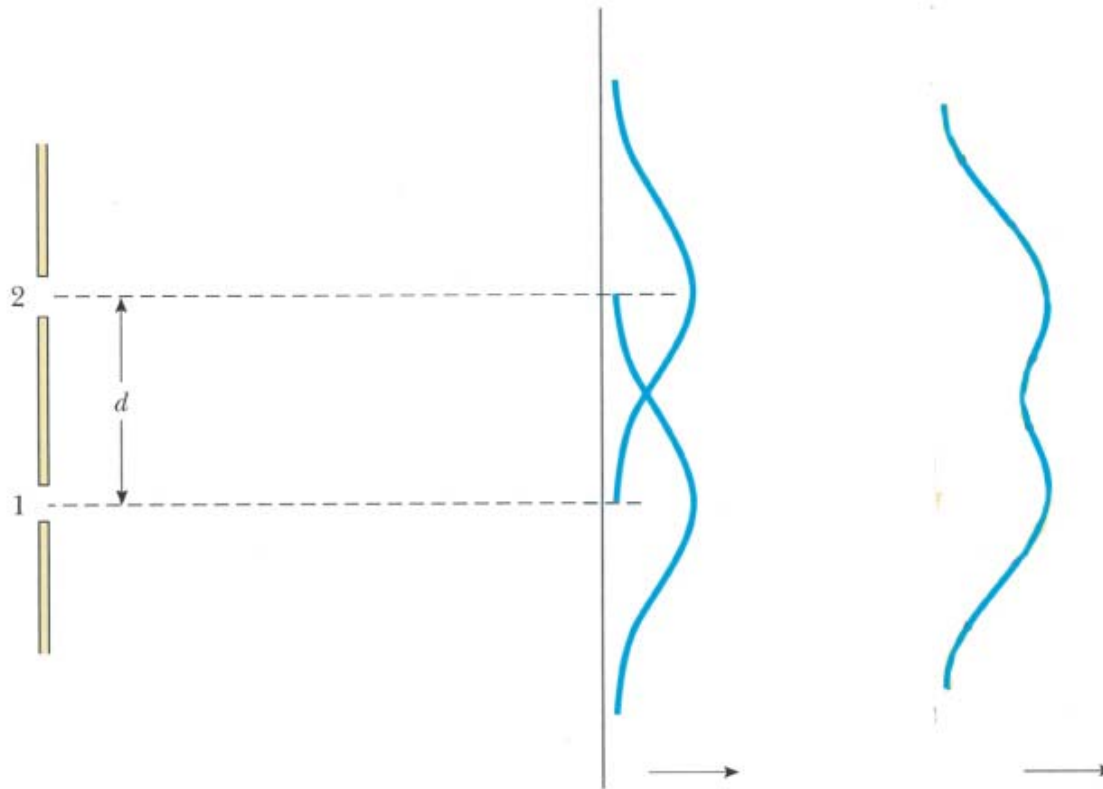
Un elemento essenziale, sia in fisica classica che in fisica quantistica, è che ogni quantità fisica deve essere misurata, e che l'operazione di *misura* in ogni caso determina una *perturbazione* del sistema.

In fisica quantistica l'operazione di misura introduce un elemento aleatorio ineliminabile che rende imprevedibile l'esito della misura → *elemento probabilistico*

*Questo elemento probabilistico è tanto più importante quanto più “piccolo” è il sistema in esame.*

*Il modo con cui una qualunque quantità fisica può essere misurata non può essere separato dalla descrizione del sistema.*

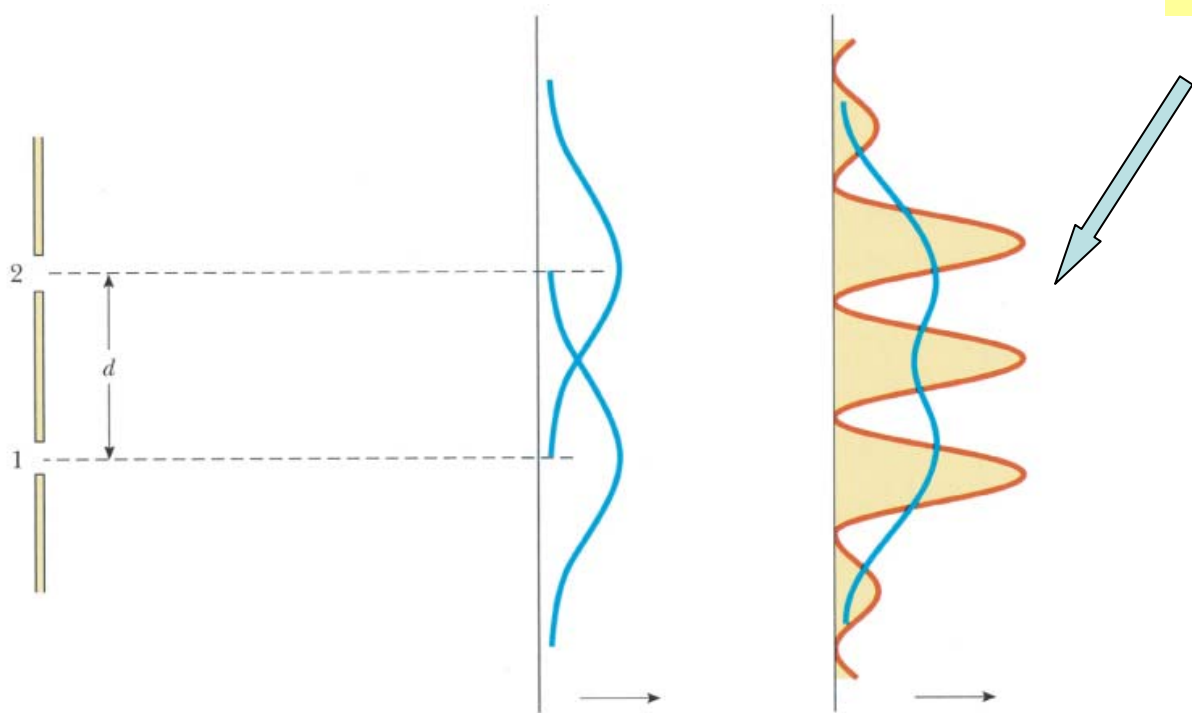
# Esperimento della doppia fenditura con proiettili



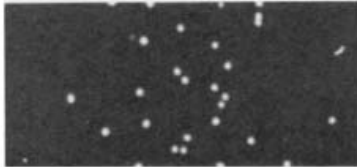


*Esperimento della doppia fenditura con onde luminose*

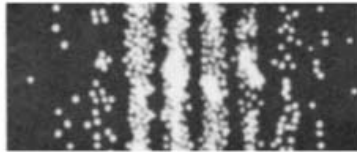
*Sono presenti fenomeni di interferenza.*



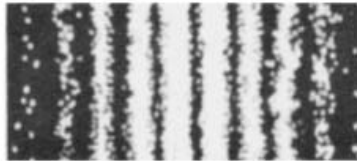
# Cosa succede se ripetiamo lo stesso esperimento (esperimento di Young) con degli elettroni o altre particelle microscopiche?



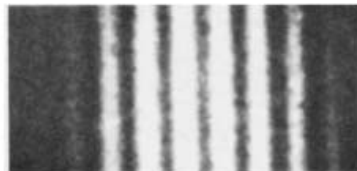
(a) Dopo 28 elettroni



(b) Dopo 1000 elettroni



(c) Dopo 10 000 elettroni



(d) Figura d'interferenza di elettroni da doppia fenditura

La rivelazione degli elettroni avviene con singoli click, come per le particelle.

Tuttavia si ottengono figure di diffrazione, come per le onde!

Le figure rappresentano la probabilità che in un punto venga rivelato un elettrone.

Non si può sapere con certezza dove il singolo elettrone verrà rivelato: sono possibili solo valutazioni di tipo statistico (probabilità).

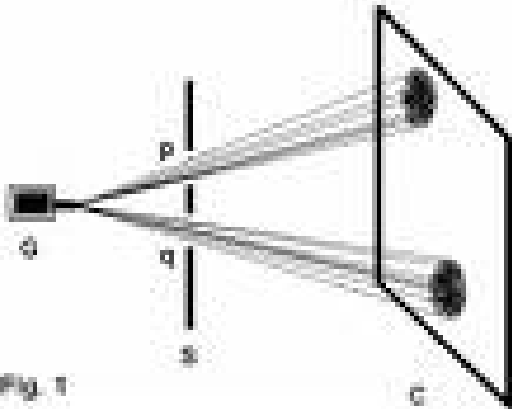


Fig. 1

**Esperimento della doppia fenditura con oggetti macroscopici**

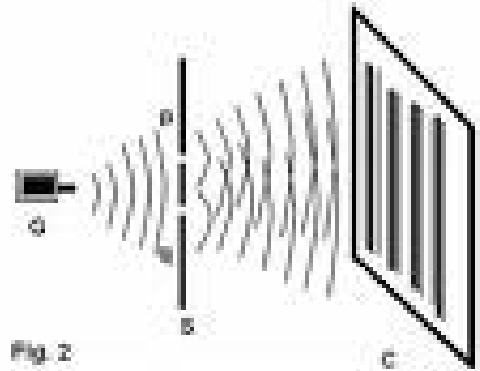


Fig. 2

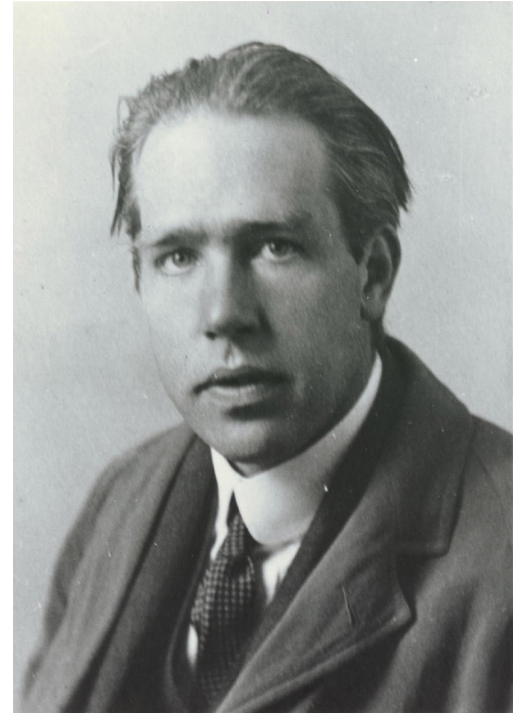
**Esperimento della doppia fenditura con onde oppure con elettroni (o altri oggetti microscopici)**

*Ma allora gli  
elettroni sono  
onde o particelle?*



***Principio di complementarità di Bohr:***  
*l'elettrone può comportarsi come un'onda  
o come una particella, secondo quali  
quantità vengono misurate.*

*Secondo il tipo di esperimento fatto, può  
mettersi in luce il carattere particellare  
dell'elettrone oppure il suo carattere  
ondulatorio.*



**Niels Bohr (1885-1962)**

## *Principio di indeterminazione di Heisenberg.*

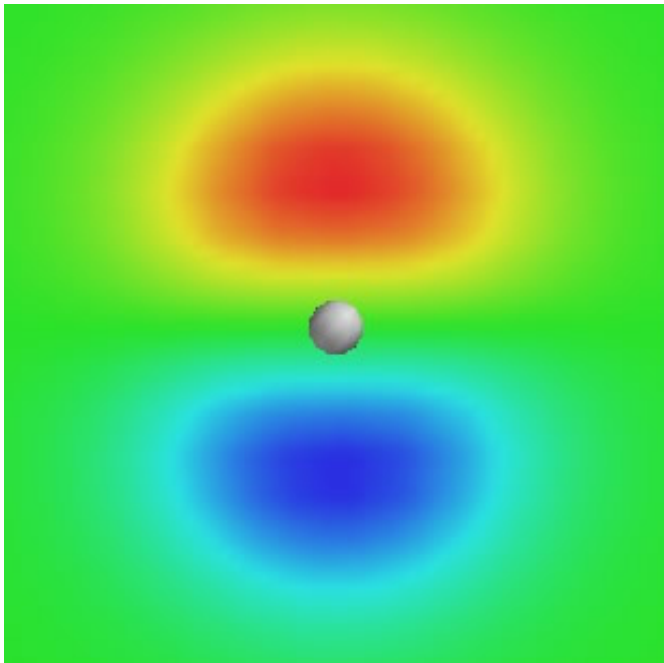
*La posizione e la velocità di una particella non possono essere simultaneamente misurate con esattezza: se si cerca di misurarne una con precisione, l'altra risulta indeterminata. Questa limitazione è di principio e non può essere aggirata.*

(al contrario, in fisica classica i valori di posizione e velocità di un qualunque oggetto possono essere entrambi misurati con assoluta precisione)



**Werner Heisenberg**  
(1901-1976)

**S. Coleman:** se migliaia di filosofi avessero passato migliaia di anni a cercare la cosa più strana, non avrebbero mai trovato una cosa bizzarra come la meccanica quantistica...



*“Nuvola elettronica” per un atomo di idrogeno.*

Da la *probabilità* di trovare l'elettrone in un punto dello spazio attorno al nucleo.

Fig. 2 The fuzzy ball atom

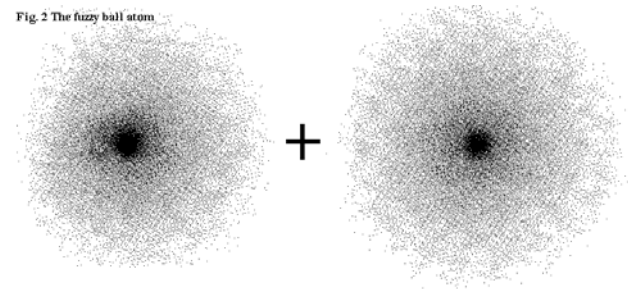
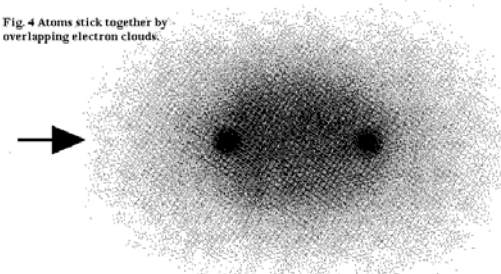


Fig. 4 Atoms stick together by overlapping electron clouds.



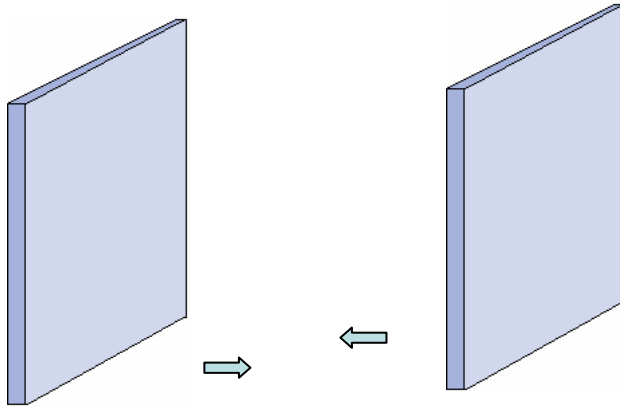
**Molecola di idrogeno**

*Esistono nel mondo  
macroscopico fenomeni  
che rivelano la natura  
quantistica della realtà?*





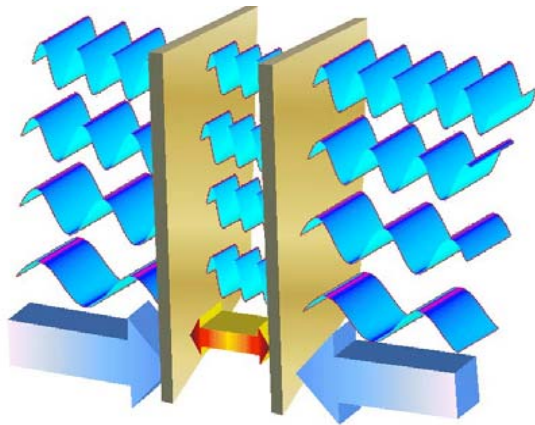
# L'EFFETTO CASIMIR: FORZE DAL NULLA



Due lastre conduttrici scariche poste una di fronte all'altra **nel vuoto**.

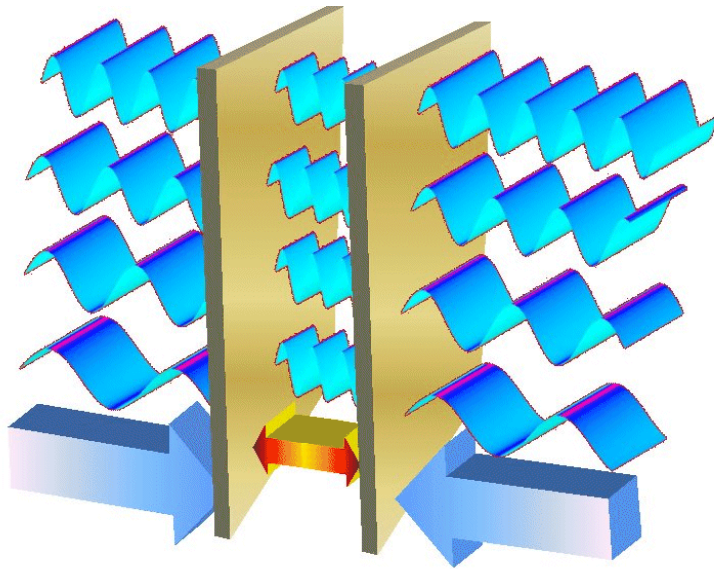
Secondo la fisica classica non vi è alcuna forza tra le lastre.

Secondo la fisica quantistica vi è una (debole) forza attrattiva!



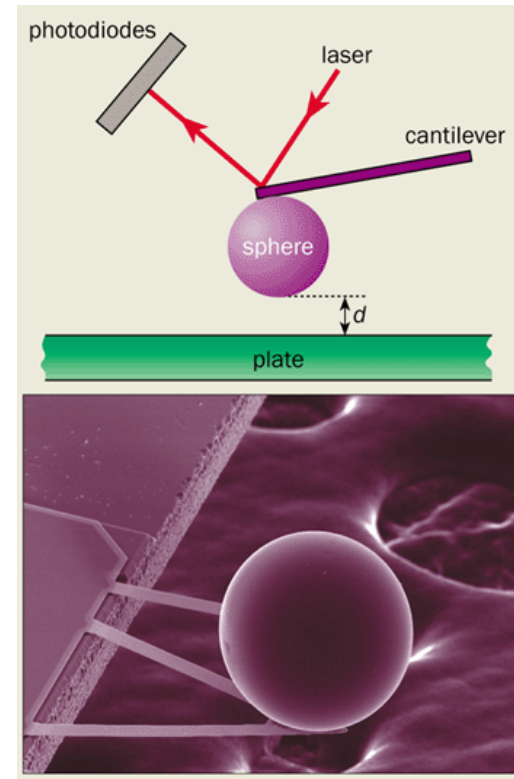
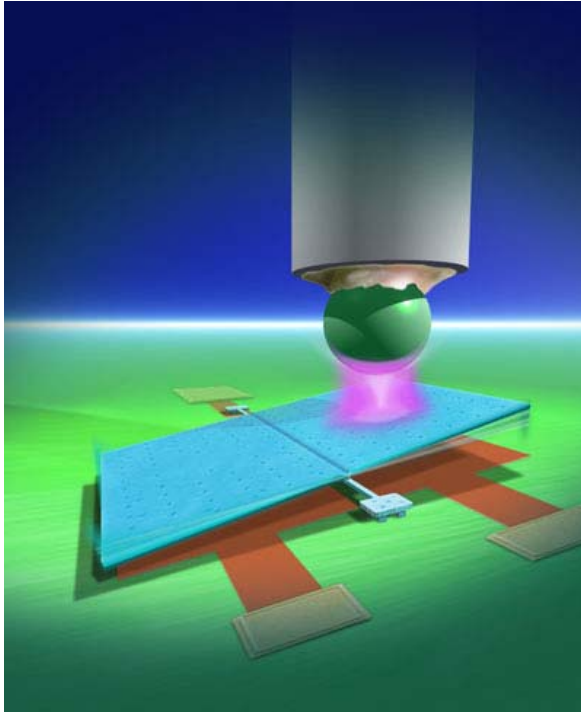
## Da cosa nasce la forza di Casimir?

Nelle teorie quantistiche lo spazio vuoto (*anche in assenza di materia e di radiazione*) è continuamente permeato da fluttuazioni elettromagnetiche, in conseguenza di un principio analogo al principio di indeterminazione.

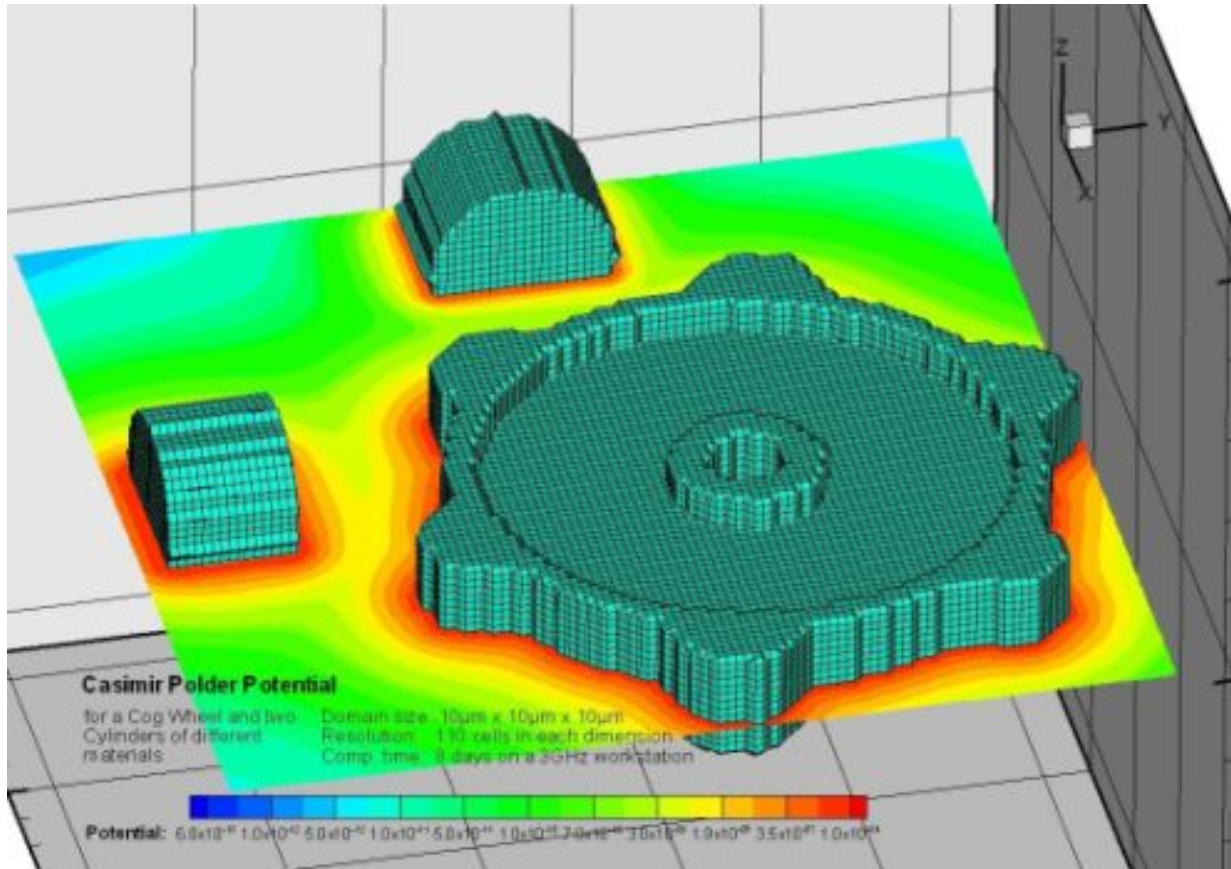


Le fluttuazioni elettromagnetiche nella regione esterna alle lastre sono maggiori che nella regione interna, e questo determina la forza attrattiva tra esse.

## Applicazione delle forze di Casimir nelle nanotecnologie



Dispositivi microelettromeccanici (MEMS): le loro parti sono separate di pochi millesimi di millimetro, e vengono controllate e messe in movimento dalle forze di Casimir, cioè da forze che nascono.... **dal vuoto quantistico.**



## Nanomotore