



HORROR VACUI

dalla filosofia di Aristotele all'effetto Casimir

Gli otto esperimenti di Blaise Pascal

SARA RUFRANO ALIBERTI

ANTONIO STABILE

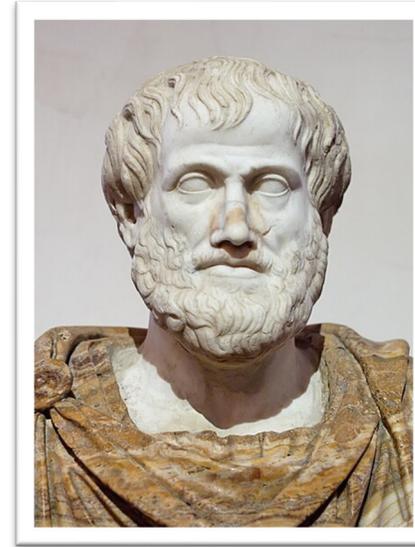
12 Dicembre 2023, Capaccio Paestum



Come è possibile bere con la cannuccia?



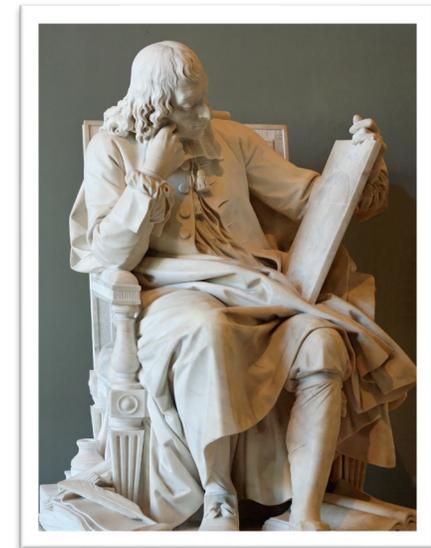
Antico dipinto egiziano, XVIII dinastia, regno di Akhenaton (Amenofi IV), circa 1300 a.C. raffigurante l'uso di una prima forma di cannuccia per bere birra (Museo Egizio di Berlino).



Aristotele
(384 a.C. – 322 a.C.)

Pressione maggiore sul pelo libero del liquido esterno alla cannuccia: **metodo scientifico.**

Forza del vuoto creato nella cannuccia: **horror vacui.**



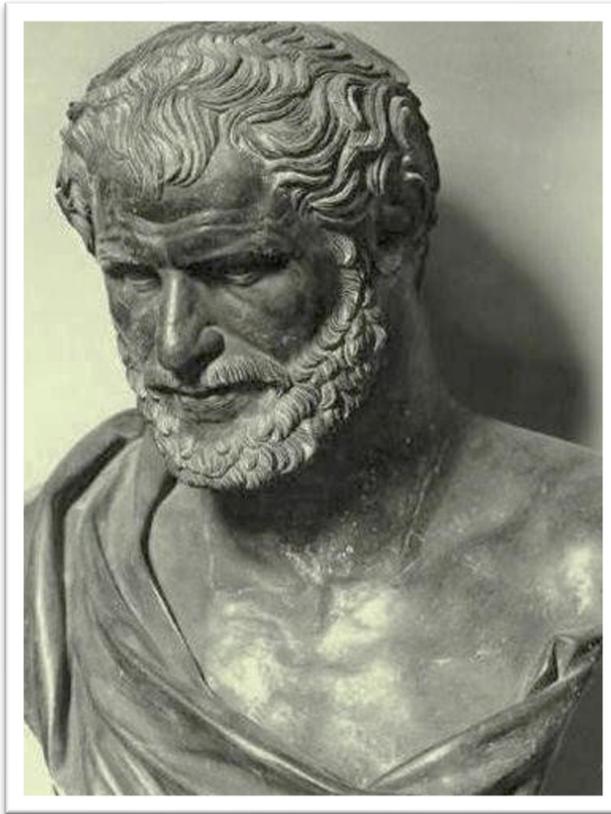
Blaise Pascal
(1623 – 1662)

Indice



- ❖ Il vuoto in filosofia: Democrito e Aristotele;
- ❖ Galileo Galilei: il problema dei fontanieri;
- ❖ Evangelista Torricelli: il metodo scientifico galileiano;
- ❖ Blaise Pascal: gli otto esperimenti sul vuoto;
- ❖ Il vuoto nella fisica moderna: effetto Casimir.

Il vuoto in filosofia: Democrito e Aristotele.



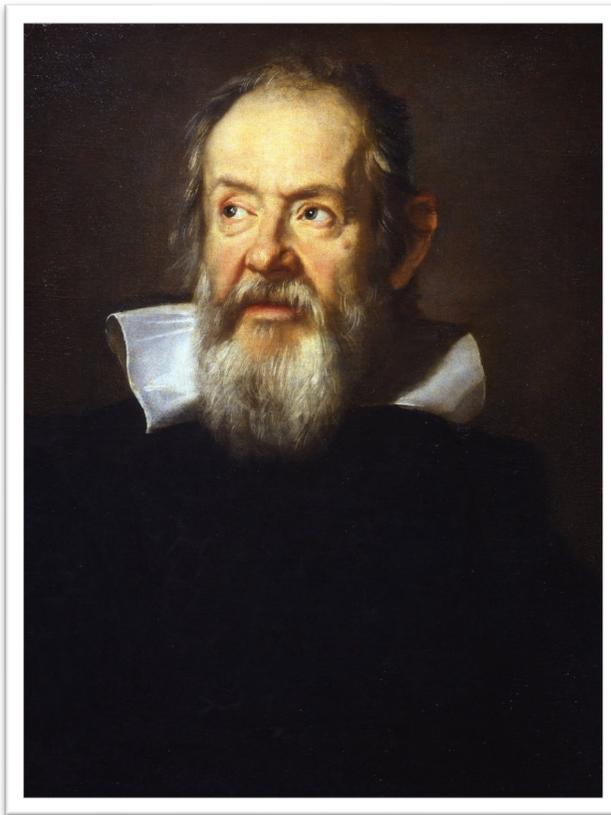
Democrito
(440 a.C. – 370 a.C)

Atomisti: il vuoto non solo è esistente, ma è anche principio ontologico degli enti. Dialetticamente connesso al concetto di pieno, indica lo spazio infinito (nel senso di indeterminato) interposto tra gli atomi e nel quale essi si muovono, costituendo la condizione di possibilità dell'esplicarsi del moto atomico (framm. 67 A 1 Diels-Kranz).

Aristotele: confuta le posizioni degli atomisti nella discussione svolta nella *Fisica* (IV, 6-9), sostenendo nei capitoli 7 e 8 che il movimento non implica il vuoto, che anzi se effettivamente esistesse impedirebbe il movimento, come conferma l'analisi di spostamento di un corpo. Nel vuoto ogni cosa è immobile, quindi deve essere negato.

NATURA ABHORRET A VACUO

Galileo Galilei: il problema dei fontanieri.



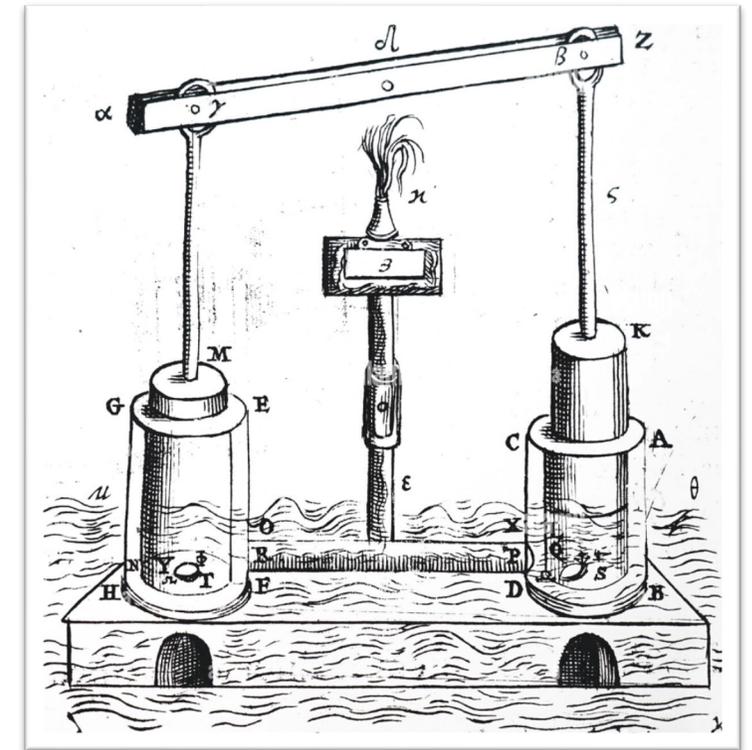
Galileo Galilei
(1564 – 1642)

In una lettera del 1630, il patrizio genovese Gian Battista Baliani interpellò Galileo sulle ragioni per cui l'acqua non saliva nel sifone che aveva costruito per addurre acqua scavalcando una collina di circa 21 m di altezza.

- ❖ Galileo rispose che l'orrore del vuoto da parte della natura non costituiva una ripugnanza e non era invincibile, al contrario, essa poteva essere superata con una forza adeguata.

Horror vacui → Resistenza al vuoto

- ❖ Galileo aveva accertato che la forza del vuoto era tale da consentire il sollevamento di una colonna d'acqua, mediante una pompa, fino all'altezza massima di 18 braccia (circa 11 metri). Oltre quel limite la forza del vuoto non era sufficiente e la colonna d'acqua si spezzava.



- ❖ Galileo libera la strada della ricerca scientifica dagli ostacoli che la logica, la teologia e la fisica tradizionali avevano eretto sul concetto dell'horror vacui.

Evangelista Torricelli: il metodo scientifico galileiano.

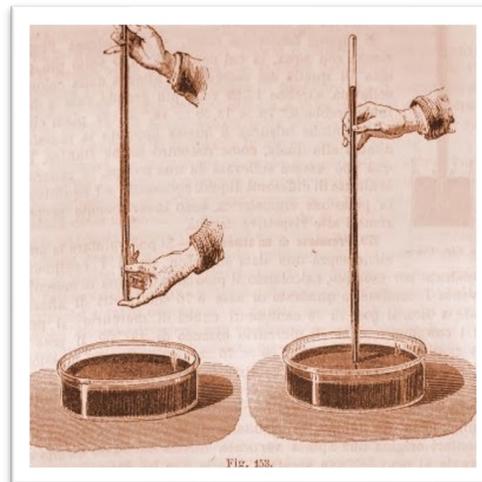


Evangelista Torricelli
(1608 – 1647)

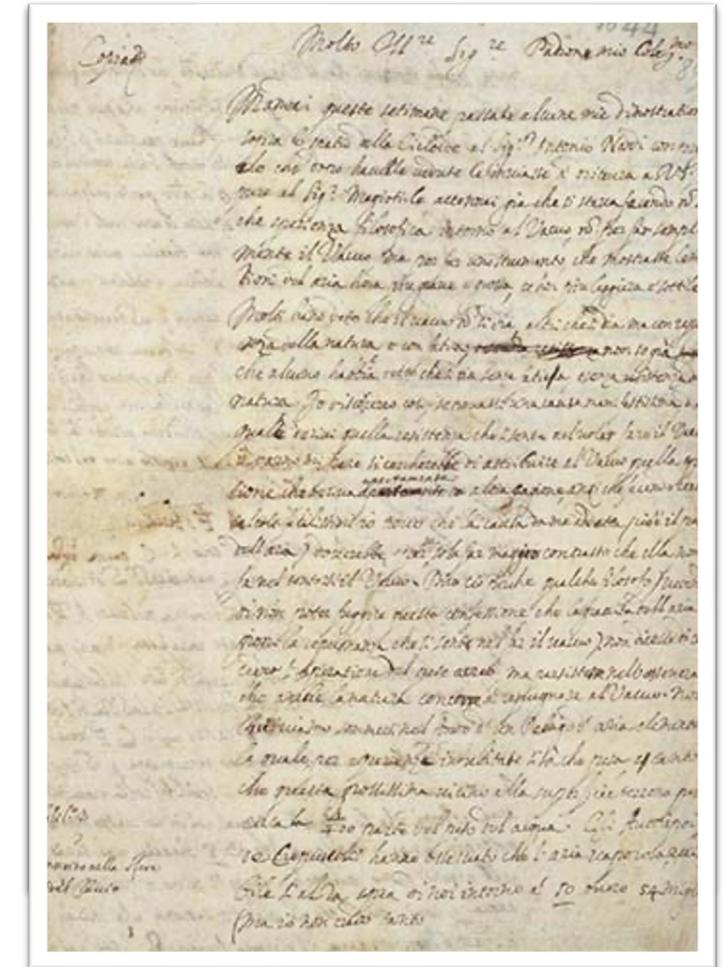
Nella primavera del 1644 a Firenze Torricelli realizza il celebre esperimento con l'argento vivo (mercurio)

In una Lettera a Michelangelo Ricci del 11 giugno 1644, Torricelli sostenne che il suo esperimento provava due concetti fondamentali:

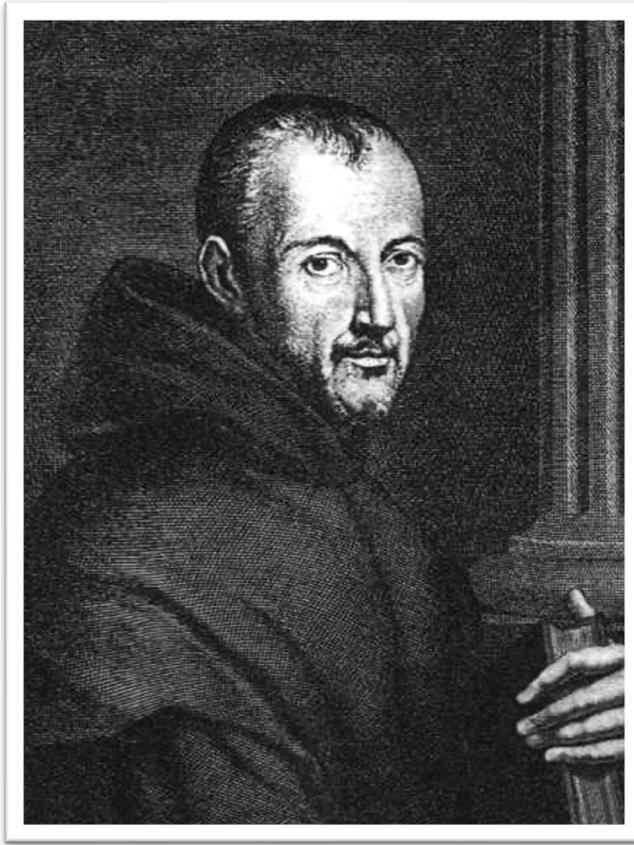
- ❖ la natura non aborra il vuoto
- ❖ l'aria pesa



Torricelli realizza il celebre



Blaise Pascal: gli otto esperimenti sul vuoto.



Marin Mersenne

(1588 – 1648)

- ❖ Marin Mersenne porta in Francia il successo dell'esperimento di Torricelli.
- ❖ Mersenne insieme a Pierre Chanut tentarono di riprodurre l'esperimento fallendo per inadeguatezza dei tubi di vetro.
- ❖ Nel settembre del 1646, l'ingegnere Pierre Petit informò Étienne e Blaise Pascal dell'esperimento italiano. Petit e i Pascal realizzano l'esperimento a Rouen nell'ottobre del 1646.

[...] ne feci la narrazione, passando da Rouen, al vostro e mio buon amico, il signor [Étienne] Pascal, che fu lietissimo di sentir parlare di un tale esperimento, sia per la novità sia perché voi sapete che da tanto tempo egli ammette il vuoto. E, poiché gli dissi che non ero ancora soddisfatto di quella verifica, e che la volevo rifare in qualche giorno di tempo libero con un tubo più grande e con una più grande quantità di mercurio, per causare, se possibile, un vuoto più grande per mezzo di un più grande peso, egli mi pregò di potervi assistere [...]

Lettera di Pierre Petit a Pierre Chanut sull'esperimento di Torricelli, il 26 novembre 1646

Blaise Pascal: gli otto esperimenti sul vuoto.

EXPERIENCES
NOUVELLES
TOUCHANT
LE VVIDE,

Faites dans des Tuyaux, Syringues, Soufflers,
& Siphons de plusieurs longueurs & figures:
Avec diuerfes liqueurs, comme vif-
argent, eau, vin, huyle, air, &c.

Avec un discours sur le mesme sujet.

Où est montré qu'un vaisseau si grand qu'on le pourra
faire, peut estre rendu vuide de toutes les matieres
connuës en la nature, & qui tombent sous les sens.

Et quelle force est necessaire pour faire admettre ce vuide.

Dedie à Monsieur PASCAL Conseiller du
Roy en ses Conseils d'Etat & Priué.

Par le sieur B. P. son fils.

Le tout reduit en Abbregé, & donné par aduance d'un
plus grand traité sur le mesme sujet.



A PARIS, Chez PIERRE MARGAT, au Quay de
Gefvres, à l'Oyseau de Paradis.

M. DC. XLVII. *Avec Permission.*

- ❖ Blaise Pascal concepisce e realizza otto esperimenti, con l'obiettivo di verificare tutte le varie ipotesi per poter trovare ulteriori conferme alla validità dell'esperimento di Torricelli.
- ❖ I risultati di questi esperimenti verranno pubblicati da Pascal nell'ottobre del 1647, nell'opera ***Expériences nouvelles touchant le vide*** (nuovi esperimenti sul vuoto).

Al Lettore*

Mio caro lettore, alcune considerazioni m'impediscono di presentare adesso un trattato completo in cui ho esposto molti esperimenti nuovi che ho effettuato riguardo al vuoto, e le conseguenze che ne ho tratte. Ho voluto fare una relazione dei più importanti esperimenti in questo compendio, dove esaminerete in anticipo il disegno di tutta l'opera. L'occasione di questi esperimenti è la seguente: Circa quattro anni or sono, in Italia si provò che un tubo di vetro di quattro piedi, di cui un'estremità è aperta e l'altra chiusa ermeticamente, riempito di mercurio, [...] se si stappa l'estremità aperta, rimanendo sempre immersa nel mercurio del recipiente, il mercurio del tubo scende in parte, lasciando nella parte alta del tubo uno spazio vuoto in apparenza, [...].

[...] Ragion per cui ho diviso in due parti l'intero trattato, di cui la prima comprende la relazione dettagliata di tutti i miei esperimenti con le figure, e un riepilogo di ciò che vi si vede, diviso in parecchie massime. E la seconda, le conseguenze che ne ho tratte, divise in parecchie proposizioni, in cui ho dimostrato che lo spazio vuoto in apparenza, che è apparso negli esperimenti, è difatti vuoto di tutte le materie che cadono sotto i sensi, e che sono conosciute nella natura. E nella conclusione, io esprimo il mio parere sull'argomento del vuoto, e rispondo alle obiezioni che vi si possono fare.[...]

Blaise Pascal: gli otto esperimenti sul vuoto.

Esperimenti*

- ❖ *1) Si prenda una siringa di vetro con un pistone ben adatto, immersa interamente nell'acqua, e di cui si chiuda l'apertura con un dito, di modo che quest'ultimo tocchi in fondo al pistone, immergendo, per ottenere ciò, la mano e il braccio nell'acqua; occorre solo una forza modesta per tirarlo e far sì che si separi dal dito, senza che l'acqua vi entri in alcun modo (quello che i filosofi hanno creduto non potersi fare con nessuna forza finita), e così il dito si sente fortemente attratto e con dolore; e il pistone lascia uno spazio vuoto in apparenza, e in cui non sembra che alcun corpo sia potuto subentrare, poiché esso è tutto circondato d'acqua che non ha potuto avervi accesso, essendo otturata l'apertura, e se si tira di più il pistone, lo spazio vuoto in apparenza diventa più grande; ma il dito non sente una maggiore attrazione. E se si tira la siringa quasi completamente fuori dell'acqua, in modo che vi resti soltanto la sua apertura e il dito che la chiude, allora, togliendo il dito, l'acqua, contro la sua natura, sale con violenza, e riempie interamente tutto lo spazio che il pistone aveva lasciato.*
- ❖ *2) Un mantice ben chiuso da tutti i lati produce lo stesso effetto, con una preparazione analoga, contro l'opinione degli stessi filosofi.*
- ❖ *3) Si riempia d'acqua, o piuttosto di vino ben rosso, per essere più visibile, un tubo di vetro di quarantasei piedi, con un'estremità aperta, e l'altra sigillata ermeticamente, poi lo si tappi, e lo si sollevi in questo stato, portandolo perpendicolarmente al piano orizzontale, con l'apertura tappata in basso, in un recipiente pieno d'acqua, immergendolo dentro all'incirca di un piede: se si stappa l'apertura, il vino del tubo scende fino a una certa altezza, che è all'incirca di trentadue piedi a partire dalla superficie dell'acqua del recipiente, e si svuota e si mescola con l'acqua del recipiente che esso tinge impercettibilmente, e, allontanandosi dalla parte alta del vetro, lascia uno spazio vuoto in apparenza di circa tredici piedi, in cui ugualmente non sembra che alcun corpo sia potuto subentrare. E se si inclina il tubo, siccome l'altezza del vino del tubo diventa inferiore per quest'inclinazione, il vino risale, finché arriva all'altezza di trentadue piedi; e infine, se lo si inclina fino all'altezza di trentadue piedi, esso si riempie interamente, risucchiando così tanta acqua quanto vino aveva rigettato: sicché lo si vede pieno di vino dall'alto fino a tredici piedi presso il basso, e riempito d'acqua tinta impercettibilmente nei tredici piedi inferiori che restano.*
- ❖ *4) Si riempia d'acqua un sifone scaleno, il cui braccio più lungo è di cinquanta piedi e il più corto di quarantacinque, con le due aperture tappate, poste in due recipienti pieni d'acqua, e immerse all'incirca di un piede, in modo che il sifone sia perpendicolare al piano orizzontale, e che la superficie dell'acqua di un recipiente sia più alta della superficie dell'altro, di cinque piedi. Se si stappano le due aperture, col sifone rimasto in questo stato, il braccio più lungo non attira affatto l'acqua del più corto, né di conseguenza quella del recipiente in cui essa è, contro l'opinione di tutti i filosofi e gli artigiani; ma l'acqua scende da tutt'e due i bracci nei due recipienti, fino alla stessa altezza del tubo precedente, contando l'altezza a partire dalla superficie dell'acqua di ciascuno dei recipienti. Ma, avendo inclinato il sifone al di sotto dell'altezza di circa trentuno piedi, il braccio più lungo attira l'acqua che è nel recipiente del più corto; e quando lo si rialza al di sopra di quest'altezza, tale effetto cessa, e tutt'e due i lati si scaricano, ciascuno nel proprio recipiente; e quando lo si abbassa, l'acqua del braccio più lungo attira l'acqua del più corto, come prima.*

Blaise Pascal: gli otto esperimenti sul vuoto.

- ❖ *5) Se, con un filo attaccato all'estremità, si mette una corda di circa quindici piedi (la quale si lascia a lungo nell'acqua affinché, inzuppandosi a poco a poco, ne esca l'aria che potrebbe esservi chiusa) in un tubo di quindici piedi, sigillato in un'estremità come sopra e riempito d'acqua, in modo che vi sia fuori del tubo soltanto il filo attaccato alla corda, allo scopo di tirarlo, ed essendo stata messa l'apertura nel mercurio: quando si tira la corda a poco a poco, il mercurio sale in proporzione, fino a che l'altezza del mercurio, unita alla quattordicesima parte della rimanente altezza dell'acqua, sia di due piedi e tre pollici. Infatti dopo, quando si tira la corda, l'acqua abbandona la parte alta del vetro, e lascia uno spazio vuoto in apparenza, che diventa tanto più grande, quanto più si tira la corda. Se si inclina il tubo, il mercurio del recipiente vi entra in modo che, se lo si inclina abbastanza, esso si trova tutto pieno di mercurio e d'acqua che colpisce con violenza la parte alta del tubo, producendo lo stesso rumore e lo stesso scoppio come se rompesse il vetro, che infatti rischia di rompersi. E per togliere il sospetto dell'aria che si potrebbe dire essere rimasta nella corda, si fa lo stesso esperimento con una quantità di piccoli cilindri di legno, attaccati gli uni agli altri con del filo di ottone.*
- ❖ *6) Si prenda una siringa con un pistone perfettamente adatto, collocata nel mercurio, in modo che la sua apertura vi sia immersa per lo meno di un pollice, e che il resto della siringa sia sollevato perpendicolarmente all'esterno. Se si tira il pistone, con la siringa in quello stato, il mercurio entra dall'apertura della siringa, sale e rimane unito al pistone finché esso non si sia sollevato nella siringa di due piedi e tre pollici. Ma dopo quest'altezza, se si tira di più il pistone, esso non attira più in alto il mercurio che, rimanendo sempre a quell'altezza di due piedi e tre pollici, abbandona il pistone, di modo che si crea uno spazio vuoto in apparenza, che diventa tanto più grande quanto più si tira il pistone: è verosimile che la stessa cosa accada con una pompa di aspirazione; e che l'acqua vi salga solo fino all'altezza di trentuno piedi, che corrisponde a quella di due piedi e tre pollici di mercurio. E quel che risulta più notevole è che la siringa, pesata in quello stato senza ritrarla dal mercurio, né spostarla in alcun modo, pesa tanto (benché lo spazio vuoto in apparenza sia piccolo quanto si vuole) che quando, ritirando di più il pistone, lo si fa grande quanto si vuole; ed essa pesa sempre quanto il corpo della siringa con il mercurio che essa contiene dell'altezza di due piedi e tre pollici, senza che vi sia ancora alcuno spazio vuoto in apparenza; cioè, quando il pistone non ha ancora lasciato il mercurio della siringa, ma che è pronto a separarsene, se lo si tira appena un po'. Di modo che lo spazio vuoto in apparenza, sebbene tutti i corpi che lo circondano tendano a riempirlo, non apporta alcun cambiamento al suo peso; e, qualunque sia la differenza di grandezza fra gli spazi, non ve n'è alcuna fra i pesi.*
- ❖ *7) Avendo riempito di mercurio un sifone, il cui il braccio più lungo ha dieci piedi e l'altro nove e mezzo, e messe così le due aperture in due recipienti di mercurio, immersi all'incirca di un pollice ciascuno, in modo che la superficie del mercurio dell'uno sia più alta di mezzo piede rispetto alla superficie di mercurio dell'altro: quando il sifone è perpendicolare, il braccio più lungo non attira il mercurio del più corto; ma il mercurio, rompendosi dall'alto, apparente, quando sono immersi in qualche liquido, attira sempre i liquidi dei recipienti, se le aperture dei tubi non sono affatto chiuse, o attira il dito, se esso tappa queste aperture. scende in ciascuno dei bracci, e trabocca nei recipienti, e scende fino all'altezza ordinaria di due piedi e tre pollici, a partire dalla superficie del mercurio di ciascun recipiente. Infatti, se si inclina il sifone, il mercurio dei recipienti risale nei bracci, li riempie, e comincia a scorrere dal braccio più corto in quello più lungo, e così svuota il suo recipiente: infatti questa inclinazione¹¹ nei tubi dov'è questo vuoto.*
- ❖ *8) Si abbia lo stesso sifone, interamente riempito di acqua, e dopo da una corda, come sopra, essendo anche le due aperture messe negli stessi due recipienti di mercurio, quando si tira la corda da una di queste aperture, il mercurio sale dai recipienti in tutti e due i bracci; fino a che la quattordicesima parte dell'altezza dell'acqua di un braccio, con l'altezza del mercurio che vi è salito, è uguale alla quattordicesima parte dell'altezza dell'acqua dell'altro; unita all'altezza del mercurio che vi è salito; il che accadrà fin tanto che questa quattordicesima parte dell'altezza dell'acqua, unita all'altezza del mercurio in ciascun braccio, sia dell'altezza di due piedi e tre pollici: dopo, infatti, l'acqua si separerà dall'alto, e vi si troverà un vuoto apparente.*

Blaise Pascal: gli otto esperimenti sul vuoto.

Da questi esperimenti, e da parecchi altri riportati nel libro completo, dove si vedono tubi di tutte le lunghezze, grandezze e figure, pieni di differenti liquidi, immersi diversamente in liquidi differenti, trasportati dagli uni agli altri, pesati in più modi, e dove sono annotate le differenti attrazioni che sente il dito che tappa i tubi in cui è il vuoto apparente, si deducono chiaramente queste massime:

Massime*

- ❖ *1) Tutti i corpi hanno ripugnanza a separarsi l'uno dall'altro, e ad accogliere questo vuoto apparente nel loro intervallo: cioè la natura aborre questo vuoto apparente.*
- ❖ *2) Questo orrore o questa ripugnanza che hanno tutti i corpi, non è più grande per accogliere un grande vuoto apparente piuttosto che uno piccolo, cioè ad allontanarsi sia da un grande intervallo che da uno piccolo.*
- ❖ *3) La forza di questo orrore è limitata, e simile a quella con la quale l'acqua di una certa altezza, che è di circa trentuno piedi, tende a cadere in basso.*
- ❖ *4) I corpi che delimitano questo vuoto apparente tendono a riempirlo.*
- ❖ *5) Questa tendenza non è più forte per riempire un grande vuoto apparente piuttosto che uno piccolo.*
- ❖ *6) La forza di questa tendenza è limitata, e sempre simile a quella con la quale dell'acqua di una certa altezza, che è di circa trentuno piedi, tende a cadere in basso.*
- ❖ *7) Una forza un poco più grande, di quella con la quale l'acqua dell'altezza di trentuno piedi tende a cadere in basso, basta per fare ammettere questo vuoto apparente, e anche grande quanto si vuole, cioè per fare separare i corpi di un intervallo di qualunque grandezza, purché non vi sia altro ostacolo alla loro separazione, né al loro allontanamento, che l'orrore che la natura ha per questo vuoto apparente.*

Blaise Pascal: gli otto esperimenti sul vuoto.

Proposizioni*

- ❖ 1) *Lo spazio vuoto in apparenza non è riempito dall'aria esterna che circonda il tubo, e che non è affatto entrata attraverso i pori del vetro.*
- ❖ 2) *Esso non è pieno dell'aria che alcuni filosofi dicono essere racchiusa nei pori di tutti i corpi, che si troverebbe, così, dentro il liquido che riempie i tubi.*
- ❖ 3) *Esso non è pieno dell'aria che alcuni credono stia tra il tubo e il liquido che lo riempie, e chiuso negli interstizi o atomi dei corpuscoli che compongono questi liquidi.*
- ❖ 4) *Esso non è pieno di un granello d'aria impercettibile, rimasto per caso tra il liquido e il vetro, o portato dal dito che lo tappa, o entrato in qualche altro modo, che andrebbe straordinariamente in rarefazione, e che alcuni sosterebbero potersi rarefare abbastanza per riempire tutto, piuttosto che ammettere il vuoto.*
- ❖ 5) *Esso non è pieno di una piccola porzione di mercurio o di acqua che, essendo da un canto attirata attraverso le pareti del vetro, e, dall'altro, dalla forza del liquido, si rarefa e si trasforma in vapore; di modo che quest'attrazione reciproca faccia lo stesso effetto del calore che trasforma quei liquidi in vapori e li rende volatili.*
- ❖ 6) *Esso non è pieno degli spiriti del liquido che riempie il tubo.*
- ❖ 7) *Esso non è pieno di un'aria più sottile mescolata con l'aria esterna che, essendone distaccata ed entrata attraverso i pori del vetro, tenderebbe sempre a ritornarvi o vi sarebbe costantemente attirata.*
- ❖ 8) *Lo spazio vuoto in apparenza non è riempito da alcuna delle materie che sono conosciute nella natura, e che non cadono sotto nessuno dei nostri sensi.*

Blaise Pascal: gli otto esperimenti sul vuoto.

COMPENDIO DELLA CONCLUSIONE

in cui esprimo il mio parere*

Dopo aver dimostrato che nessuna delle materie che cadono sotto i nostri sensi, e di cui abbiamo conoscenza, riempiono questo spazio vuoto in apparenza, la mia opinione sarà, fino a quando non mi abbiano dimostrato l'esistenza di quella materia che lo riempie, che esso è veramente vuoto e privo di ogni materia. Ragion per cui io dirò del vuoto vero quello che ho mostrato del vuoto apparente, e riterrò vere le massime poste ed enunciate qui sopra, sul vuoto assoluto, come esse lo sono state di quello apparente [...].

Blaise Pascal: gli otto esperimenti sul vuoto.

*Quindi rispondo alle obiezioni che si possono fare, di cui ecco le principali:**

Obiezioni

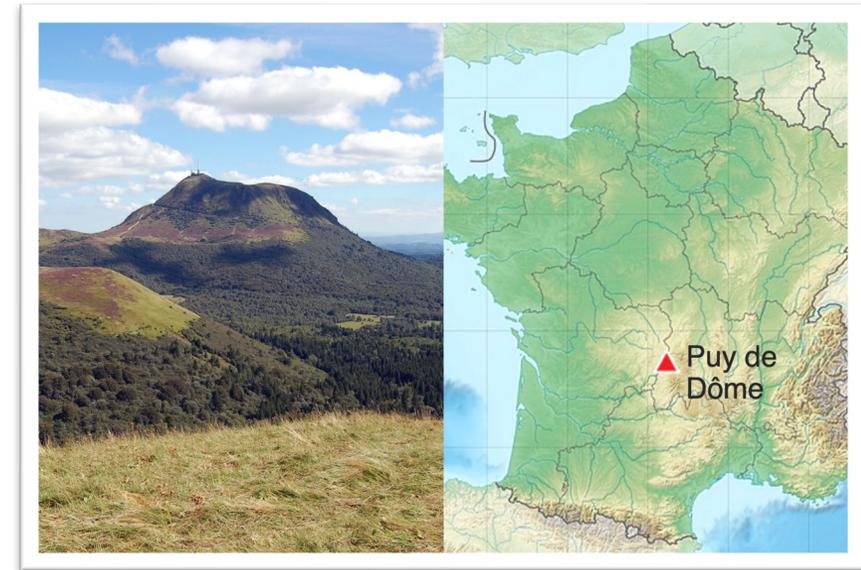
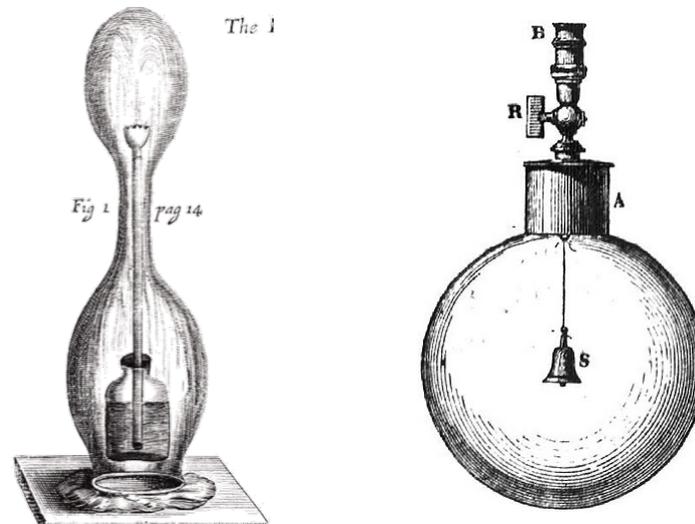
- ❖ *1) Questa proposizione, che uno spazio è vuoto, ripugna al senso comune.*
- ❖ *2) Questa proposizione, che la natura aborre il vuoto, e nondimeno l'ammette, accusa questa di impotenza, o implica contraddizione.*
- ❖ *3) Parecchi esperimenti, anche giornalieri, mostrano che la natura non può sopportare il vuoto.*
- ❖ *4) Una materia impercettibile, inaudita e sconosciuta a tutti i nostri sensi, riempie questo spazio.*
- ❖ *5) La luce, sia essa un accidente o una sostanza, non può sostenersi nel vuoto, se essa è un accidente; e non può riempire lo spazio vuoto in apparenza, se essa è una sostanza.*

Blaise Pascal: gli otto esperimenti sul vuoto.

LES EXPÉRIENCES DU VIDE DANS LE VIDE

(Gli esperimenti sul vuoto nel vuoto)

Nel 1648, Pascal fece portare a Florin Périer un barometro sulla sommità del Puy de Dôme, nel Massiccio Centrale della Francia, dove il livello della colonna di mercurio risultò più basso di alcuni pollici rispetto alla pianura. Pascal interpretò correttamente questa variazione come conseguenza della diminuzione della pressione per l'altitudine.



Il Puy de Dôme è un vulcano della Francia, alto 1.464 metri, situato nella catena montuosa del Massiccio Centrale. È il cono vulcanico più giovane della Chaîne des Puys. L'eruzione più recente risale al VI millennio a.C.

Blaise Pascal: gli otto esperimenti sul vuoto.



“Un esperimento su un uccello in una pompa d’aria”, Joseph Wright of Derby, 1768

Blaise Pascal: gli otto esperimenti sul vuoto.

TRATTATO SUL PESO DELLA MASSA DELL'ARIA, II*

VII. Il peso della massa dell'aria è la causa dell'attrazione che si verifica succhiando

È necessaria adesso soltanto una parola per spiegare perché, quando si mette la bocca sull'acqua e si succhia, l'acqua viene aspirata; infatti, sappiamo che il peso dell'aria preme l'acqua in tutte le sue parti, tranne quelle che sono a contatto con la bocca, perché l'aria le tocca tutte, eccetto quest'ultima. Da ciò si deduce che, quando i muscoli della respirazione, alzando il torace, accrescono la capacità dell'interno del corpo più grande, l'aria interna, avendo più spazio da riempire di quanto non ne avesse prima, ha meno forza per impedire all'acqua di entrare nella bocca, di quanto l'aria esterna — che pesa su quest'acqua in tutte le parti tranne in questa — non ne abbia per farvela entrare.

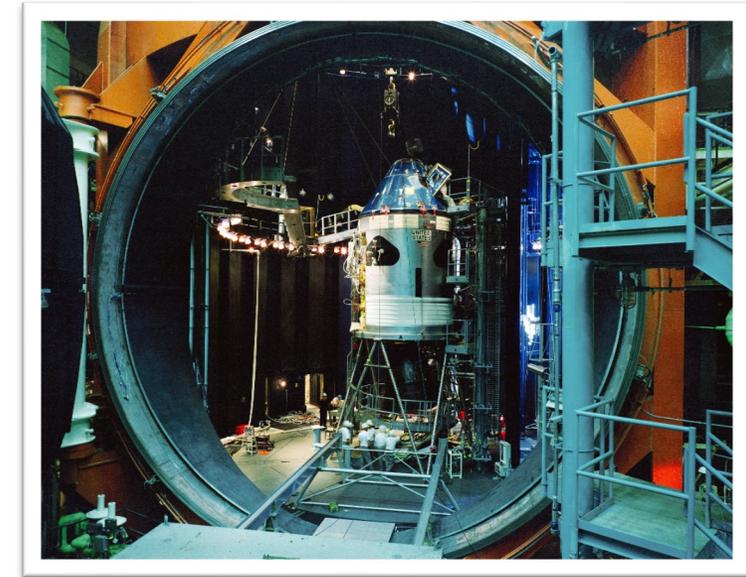


Il vuoto nella fisica moderna

Il vuoto è una regione di spazio priva di materia. In prima approssimazione, si definisce vuoto una regione di spazio in cui la pressione è molto inferiore alla pressione atmosferica.

Di seguito sono riportati alcuni esempi pratici dei diversi regimi di vuoto:

- ❖ Pressione atmosferica sulla Terra: 1 atm;
- ❖ Aspirapolvere: 0,8 atm;
- ❖ Pompa da vuoto meccanica: 1×10^{-3} atm – 1×10^{-9} atm;
- ❖ Pressione atmosferica terrestre esterna: $1,3 \times 10^{-9}$ atm;
- ❖ Pressione atmosferica sulla Luna : $1,3 \times 10^{-11}$ atm;
- ❖ Spazio interstellare: $1,3 \times 10^{-13}$ atm (pochi atomi di idrogeno per metro cubo);
- ❖ Pompe criogeniche: $1,33 \times 10^{-12}$ atm – $1,3 \times 10^{-14}$ atm.



Modulo della navicella Apollo all'interno di una grande camera da vuoto che simula lo spazio

Il vuoto nella fisica moderna

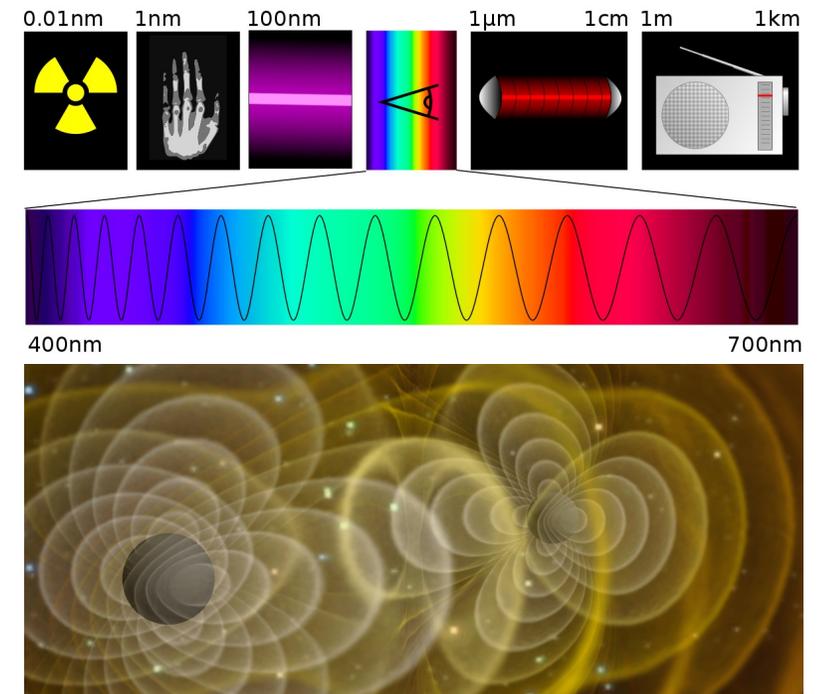
Vuoto perfetto: 0 atm

Idealmente, togliendo tutti gli atomi è possibile creare un vuoto perfetto?

NO!

I campi elettromagnetici e gravitazionali permeano lo spazio circostante anche in assenza di materia

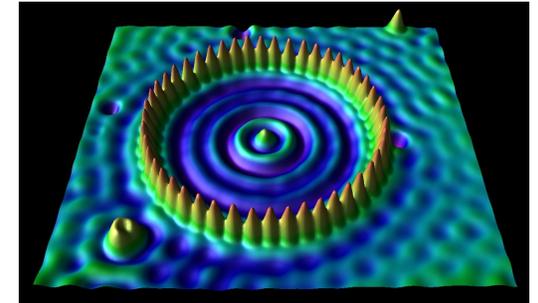
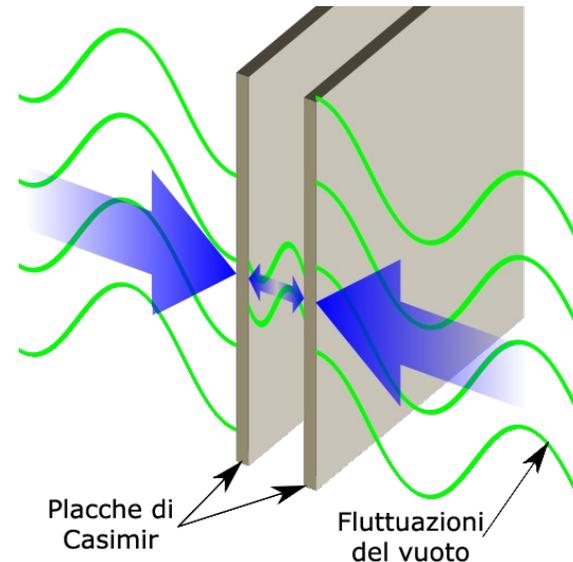
VUOTO → NULLA



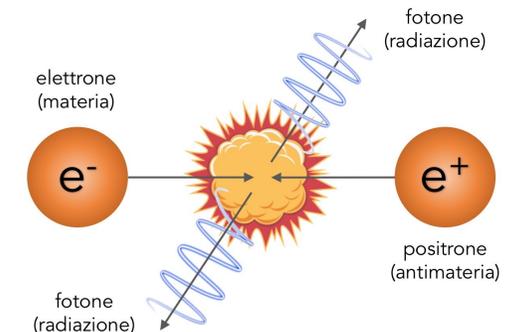
Il vuoto nella fisica moderna: effetto Casimir

Fisica quantistica dei campi: energia di punto zero.

Effetto Casimir (1948): due lastre, in assenza di campi elettromagnetici, poste nel vuoto alla distanza di $1\mu\text{m}$ subiscono una forza per unità di superficie pari a $1,3 \times 10^{-8}$ atm.



Anello di atomi di ferro che intrappolano un elettrone



Lo spazio vuoto non è “completamente vuoto”, ma è pieno di energia (del vuoto).

Annichilazione elettrone-positrone

Il vuoto nella fisica moderna: effetto Casimir



Enrico Fermi

(1901 – 1954)

Durante il suo ultimo viaggio in Italia, poco prima della sua morte, fu chiesto ad Enrico Fermi quale sarebbe stata la fisica del futuro.

Si racconta che a questa domanda abbia risposto senza esitazione:

“ LO STUDIO DEL VUOTO ”

GRAZIE PER L'ATTENZIONE