

A02

Fausto Intilla

1/137

La Costante di struttura fine

Il codice PIN della natura

Prefazione di
Paola Zizzi





Copyright © MMXXII

ISBN 978-88-255-4153-3

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: **Roma**, marzo 2022

Un posto non è nulla:
neppure spazio, a meno che
al suo cuore ci sia un numero.

PAUL A.M. DIRAC

I miracoli sono spiegabili; sono le
spiegazioni, a essere miracolose.

TIM ROBINSON

Indice

- 9 *Prefazione*
di PAOLA ZIZZI
- 15 *Introduzione*
- 21 *Capitolo I*
Omne ignotum pro magnifico
1.1. Il padre della costante alfa, 21 – 1.2. Alle origini della struttura fine, 27 – 1.3. Una costante adimensionale, 36 – 1.4. Una costante ... (a volte) incostante!, 40 – 1.5. Inter sidera versor, 44 – 1.6. Sogni di rubidio, 50 – 1.7. Una costante nel... ghiaccio!, 51
- 55 *Capitolo II*
Veritas filia temporis
2.1. Un numero magico, 55 – 2.2. Spruzzi di fantasia, 58 – 2.3. Verso nuovi orizzonti, 60 – 2.4. Accanto al Buco Nero, 64
- 67 *Conclusioni*
- 71 *Appendice*
- 87 *Biografie*

8 *Indice*

97 *Bibliografia*

105 *Altre opere dell'Autore (pubblicate con Aracne)*

Prefazione

di PAOLA ZIZZI

Gennaio 2022, nelle notti più buie per lo spirito umano...

... tornò una piccola luce scintillante: α .

Il fascino e il mistero della costante di struttura fine α sono magistralmente catturati in questo libro. Bisogna dire che gran parte di questo fascino è quello insito nei numeri in generale, e il mistero è dovuto al fatto che non si comprende perché α abbia proprio quel valore numerico.

Le costanti fisiche, come dice l'Autore, si dividono in due categorie: dimensionali e adimensionali, e infatti α appartiene alla seconda categoria; α è un numero puro.

Una tra le maggiori differenze tra le due categorie, è che mentre le costanti fisiche dimensionali possono essere eliminate dalla teoria scegliendo il sistema di unità di misura naturale, quelle adimensionali non possono essere eliminate, qualunque sistema di unità di misura si scelga. Quindi α non può essere eliminata, anche se non la capiamo, o meglio non capiamo perché abbia proprio quel valore. Molto spesso i fisici teorici sono irritati da ciò che non riescono a spiegarsi, e alla fine se non riescono ad eliminare l'oggetto del loro turbamento, lo tengono lì come dato di fatto e passano ad altro. E a volte alcuni fisici sono perfino sprezzanti verso coloro che si intestardiscono a voler capire il senso profondo di ciò che viene dato per scontato, magari con un atteggiamento più speculativo. Certo, direte, questo è un atteggiamento più filosofico: per la fisica che bisogno c'è di comprendere α , se funziona?

Eppure Feynman ci ammonì di non dimenticare α , anzi ci raccomandò di osservarla e di meditarci su. Devo dire che la lettura di questo libro ha riacceso in me una scintilla di curiosità su α che pensavo si fosse spenta.

È solo una scintilla in una fredda alba invernale...

E così cominciai a pensare a lei con un nuovo spirito.

La costante di struttura fine α è la costante di accoppiamento dell'interazione elettromagnetica, ovvero delle interazioni tra luce e materia (fotoni ed elettroni). Nella versione quantistica, questa teoria, chiamata elettrodinamica quantistica (in inglese la sigla è QED, che sta per *Quantum ElectroDynamics*) è la teoria di campo quantistica più completa ed esatta che si conosca.

Sorge il dubbio, allora, che quel particolare valore di α abbia a che fare con l'estrema esattezza della QED. Ma questo dubbio, pur se legittimo, non può rimanere tale, almeno nella mente di un fisico teorico che si chiederà: in che modo le due cose sono collegate?

Una risposta a questa domanda potrebbe essere che il valore di α , o meglio il valore del suo inverso α^{-1} sia legato al numero di errori che si possono rilevare. Per esempio, potrebbe valere la seguente relazione d'incertezza (simile al principio d'indeterminazione di Heisenberg):

$$\Delta\alpha^{-1} \cdot \Delta(N) \geq 1$$

dove $\Delta\alpha^{-1}$ è l'incertezza del valore di α^{-1} , e $\Delta(N)$ è l'incertezza del numero N di errori rilevati. Vedremo in seguito che l'espressione di N è: $N=2^{n-1}$, dove n è la dimensione della chiave crittografica usata. Questa è solo un'idea, che può balenare per caso, ma se così fosse, il valore approssimato di $\alpha^{-1}=137$ potrebbe essere collegato ad un codice quantistico di correzione degli errori (in inglese: *quantum error correcting code*).

Un *quantum error correcting code* differisce dai codici classici, tra i quali annoveriamo il codice di bit di parità e il codice di Hamming. Un codice quantistico di correzione degli errori è utilizzato nei computer quantistici, che si basano sui *qubits* invece che sui bit. Un *qubit* è una sovrapposizione quantistica dei due bits classici 0 e 1.

Un *qubit* è uno stato quantistico $|\Psi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$, dove a e b sono due numeri complessi detti ampiezze di probabilità, che soddisfano la relazione:

$$|a|^2 + |b|^2 = 1$$

E $|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$, $|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ sono gli stati di base computazionale.

Feynman ha mostrato che una macchina di Turing classica non sarebbe in grado di simulare un effetto quantistico, mentre un computer quantistico universale ne sarebbe in grado perché, invece di usare “ n ” *bits*, userebbe N *qubits*, che corrispondono a 2^N *bits*, quindi sarebbe in grado di eseguire una computazione esponenzialmente più veloce.

Quindi, l'estrema esattezza della QED potrebbe essere dovuta al fatto che nella sua ideale simulazione con il computer quantistico funzioni un ottimo codice di correzione degli errori. E questo codice potrebbe essere insito nei *digits* di α^1 , ma in termini di *qubits*, non nel codice binario puro, né nel codice BCD (*binary code decimal*) o in altri simili codici classici.

Consideriamo il valore $\alpha^1=137$ nel BCD:

$$137 = 0001\ 0011\ 0111$$

E invece di vederlo come 3 blocchi di 4 bits come nel BCD, proviamo a vederlo come 4 “blocchi” di 3 bit ciascuno:

$$000\ 100\ 110\ 111$$

Questi 4 blocchi possiamo riconoscerli come 4 degli 8 stati di base di 3 *qubits*. Gli stati di 3 *qubits* sono quelli più usati nei codici quantistici di correzione degli errori.

Vista sotto questa luce, α^1 potrebbe apparire come una sequenza di 4 chiavi crittografiche, tra cui due chiavi master (le chiavi master vengono utilizzate per crittografare altre chiavi). In α^1 le chiavi master sono 000 e 111. Poiché il numero di *bits* in queste due chiavi master è $n=3$, sappiamo che esistono in tutto $2^3=8$ chiavi, che sono appunto gli 8 stati di base di 3 *qubits*.

Poiché solo metà delle chiavi è contenuto in α^1 , l'algoritmo per *encryptare* le chiavi derivate è abbastanza breve. L'algoritmo che segue α^1 è il seguente: Parti dalla chiave master 000 e fai un *flip* del primo *bit*; ottieni la prima chiave derivata 100. Fai un *flip* del secondo *bit* della prima chiave derivata e ottieni la seconda chiave derivata 110. Ti fermi qui, perché altrimenti ritrovi la seconda chiave master 111. Oppure: parti dalla seconda chiave master 111. Fai un *flip* sul terzo *bit* e ottieni la chiave derivata 110. Fai un *flip* sul secondo *bit* di quest'ultima e ottieni la chiave derivata 100. Ti fermi qui altrimenti ritrovi la prima chiave master 000.

Questo ci dice che in tutto, sia partendo da 000 che da 111, α^1 ammette al massimo $n-1=3-1=2$ “errori” per ciascuna delle due chiavi derivate, non pos-

sono sussistere più di due errori in una chiave derivata da una chiave master di lunghezza 3, perché si otterrebbe l'altra chiave master. Con questo, si ha:

$$\Delta(N) = \Delta(2^{n-1} - (n-1)2^{n-2} = 4)$$

Da cui si ottiene:

$\Delta\alpha^{-1} \geq \frac{1}{4} = 0,25$; che è il valore attualmente calcolato dell'incertezza di α^{-1} .

Io personalmente faccio *mea culpa* per aver temporaneamente trascurato α , ma sono contenta di averla ritrovata. Ai fisici, filosofi e lettori di altre discipline che leggeranno questo libro, direi: non dimenticate mai la costante di struttura fine, può sempre illuminarvi di nuovo con inattese e improvvise scintille. E godetevi questo bel libro con lei.

P.Z.

Padova, gennaio 2022



Paola Zizzi

Paola Zizzi è una fisica teorica italiana nota soprattutto per il suo lavoro nel campo della gravità quantistica ad anello (LQG, l'acronimo sta per *Loop Quantum Gravity*), che considera l'universo come una specie di super computer. La Zizzi ha inoltre proposto versioni quantistiche della fisica digitale; in particolare ha formulato una realizzazione della fisica digitale in quella che è stata chiamata "gravità quantistica ad anello computazionale", o "CLQG".

Si è laureata in Fisica all'Università di Padova, dove in seguito ha conseguito il dottorato di ricerca in Matematica, con una tesi in logica sul metalinguaggio quantistico e la logica quanto-computazionale. Ha lavorato come ricercatrice e/o professore associato presso varie Università e Centri di Ricerca Europei; tra cui l'ICTP di Trieste, il CERN di Ginevra, il King's College di Londra, l'Università di Strasburgo, l'Università di Karlsruhe, l'Université Paris VII e il Centro di Alte Energie di Orsay.

Introduzione

La realtà come la conosciamo è vincolata da un insieme di costanti, numeri e valori che descrivono un ampio spettro di proprietà fisiche che caratterizzano il mondo che ci circonda. Una costante fisica, altro non è che un insieme di quantità fondamentali invarianti, osservate in natura e che appaiono nelle equazioni teoriche di base della fisica. Un'accurata valutazione di queste costanti è essenziale per verificare la correttezza delle teorie fisiche e per consentire tutte le applicazioni tecniche possibili, sulla base appunto, di tali teorie. Un esempio di costante universale della natura, è la velocità della luce ("c") nel vuoto; che compare nella teoria elettromagnetica e nella teoria della Relatività (dove in quest'ultimo caso, essa mette in relazione l'energia con la massa attraverso la famosa equazione di Einstein: $E = mc^2$).

La costante dielettrica del vuoto (" ϵ ") è un altro esempio di costante dimensionale, che compare nell'espressione della legge di Coulomb e rappresenta la propensione di un mezzo ad opporsi all'intensità della forza elettrica presente al suo interno.

Vi è poi la costante di Planck (" h "), nota anche come quanto d'azione, che compare nelle equazioni di meccanica quantistica ed è dunque legata alla quantizzazione di tutte le grandezze dinamiche appartenenti al regno dell'infinitamente piccolo; essa mette in relazione l'energia (" E ") di un fotone (un quanto di radiazione elettromagnetica) alla sua frequenza (" ν ") attraverso l'equazione $E = h\nu$. Ed infine, come ultimo esempio, non posso non citare una delle costanti più note di tutta la storia della fisica classica: la costante gravitazionale (" G "). Essa mette in relazione l'entità della forza di attrazione gravitazionale tra due corpi con le loro masse e la distanza tra loro. Il suo valo-