



Anno di fondazione 1824

Ricordo di Walter Greiner[†]

Attilio Agodi*

Riassunto

Si propone una descrizione di alcune tra le più notevoli ricerche di W.Greiner, per presentare, insieme, qualche tratto della sua ‘biografia scientifica’ e dell’evoluzione della Fisica nucleare. La descrizione muove da un ‘modello’ della struttura nucleare che illustra come comprendere la fissione spontanea dell’Uranio, i cui adattamenti volti ad una migliore trattazione della dinamica hanno aperto la via agli studi sulle collisioni tra due nuclei ‘pesanti’, cioè all’odierna ‘heavy-ion physics’. Si volge quindi l’attenzione sui molti rilevanti risultati conseguiti da questi: la scoperta di un gran numero di elementi ‘transuranici’, tra questi due gruppi costituenti ‘isole di relativa stabilità’ nella mappa dei nuclidi, la previsione di ‘molecole nucleari’ e di sistemi nucleari ‘giganti’. La formazione di tali sistemi realizzerebbe la ‘localizzazione’ di un’enorme carica elettrica positiva (p.es. nel caso di due nuclei d’Uranio), rendendo possibili, come proposto da Greiner, gli esperimenti sul cosiddetto ‘decadimento del vuoto’.

Parole chiave: *fissione nucleare, collisioni nucleari, elementi transuranici, decadimento del vuoto*

Summary

In remembrance of Walter Greiner

A selection of W.Greiner’s achievements is described, to give a view both on his ‘scientific biography’ and on the evolution of nuclear Physics. The starting point of the description is a ‘model’ of the nuclear structure displaying some understanding of the spontaneous fission of Uranium, whose adaptations to get a better insight in the dynamics disclosed the way to studies on the collisions of two heavy nuclei, now the so-called heavy-ion physics. It is emphasized how many relevant results rewarded such studies: the discovery of a large number of ‘transuranic’ elements, amongst them two groups forming ‘islands of relative stability’ in the map of nuclides, the prediction of ‘nuclear molecules’ and of ‘giant’ nuclear systems. The last mentioned possibility involves the ‘localization’ of a very large positive electric charge (e.g. in the case two Uraniums), so opening the way, as proposed by Greiner, to experiments on the so called ‘decay of the vacuum’.

Key words: *nuclear fission, nuclear collisions, transuranic elements, vacuum decay*

[†]Nota presentata dal socio emerito prof. A. Agodi nell’Adunanza pubblica del 17 novembre 2017

*e-mail: agodi@ct.infn.it

Walter Greiner (29.10.1935-6.10.2016) è stato Professore Ordinario e Direttore dell'Istituto di Fisica teorica dell'Università J.W.Goethe di Frankfurt/Main dal 1965 al 1995. Nel 2003 ha fondato, con Wolf Singer, il 'Frankfurt Institute for Advanced Studies' (FIAS), di cui è stato Direttore, continuando ad impegnarsi nella ricerca e nell'insegnamento.

Egli ha dato contributi di grande rilievo all'evoluzione della Fisica nucleare cercando di evidenziare sia le caratteristiche strutturali di nuclei 'giganti' o di 'molecole nucleari', sia quelle delle interazioni che ne determinano i limiti di stabilità e, nelle collisioni tra due di tali sistemi, le trasformazioni.

Le due tematiche appaiono collegate, nella 'storia scientifica' di Greiner, in modo tale da delineare la sua personale concezione della fisica, in particolare della 'dialettica cognitiva' tra esperimenti e teorie, manifesta nella sua partecipazione, forse decisiva, alla realizzazione del GSI (il laboratorio tedesco per le ricerche sui nuclei pesanti) e convalidata collaborando come consulente con laboratori di OakRidge e Los Alamos negli USA.

Vorrei qui ricordare Greiner con qualche indizio sulle indagini per le quali è entrato nella storia della fisica e, per dare qualche idea su quelle due tematiche, accennerò alle sue ricerche sui processi di *fusione* nucleare originate dalla scoperta della 'fissione' *spontanea* dell'Uranio (G.N.Flerov e K.A.Petrzhak, 1941), ed a quelle sul cosiddetto 'decadimento del vuoto' derivate da una concezione 'non standard' della relazione tra l'elettrone e la sua 'anti-particella' (il 'positrone') basata sull'equazione di Dirac.

Consideriamo, per definitezza, la 'fissione' dell'Uranio denotato U238, cioè la scissione di un nucleo di *numero atomico* $Z=92$ (numero di protoni) e $146=N$ (numero di neutroni) in due o più nuclei. Adattando il *modello a strati* ('shell-model'), tipicamente a simmetria sferica, suggerito dalle proprietà note dei nuclei stabili, ad una forma simile a quella di *un sigaro con la pancia ingrossata* (Fig. 1), Greiner ne ha formulato la teoria includendovi anche l'interdipendenza tra la dinamica dei singoli 'nucleoni' (neutroni o protoni) e quella dei moti 'collettivi' di vibrazione e di rotazione del nucleo, entrambe risultanti dall'interazione fra i nucleoni. L'elaborazione teorica di questo modello 'vibrazionale-rotazionale' ha consentito di calcolare la probabilità che un'elongazione del *sigaro* e una contrazione della sua *pancia* provochino la formazione di due 'lobi' separati, cioè la fissione. Successivi sviluppi della teoria hanno consentito di calcolare la probabilità della fissione in funzione delle masse e delle cariche dei due nuclei che ne emergono. Il confronto con le risultanze sperimentali ha evidenziato la validità e dato fama al modello ed alle elaborazioni che ne sono derivate. Tra queste devo citare quella nota come 'modello a strati con due centri', dovuta a Greiner, ideata per trattare la dinamica dei due nuclei prodotti nella fissione, ma poi da lui proposta per studiare i processi di collisione tra nuclei e la possibilità di produrre nuclei nuovi (stabili o instabili) o addirittura qualche specie di 'molecole nucleari'. Pensando alla possibile 'fusione' di due U238, come caso estremo, tenendo conto dei casi 'intermedi', Greiner rifletteva sull'enorme ampliamento che ne sarebbe derivato per il complesso dei sistemi nucleari aperti all'indagine.

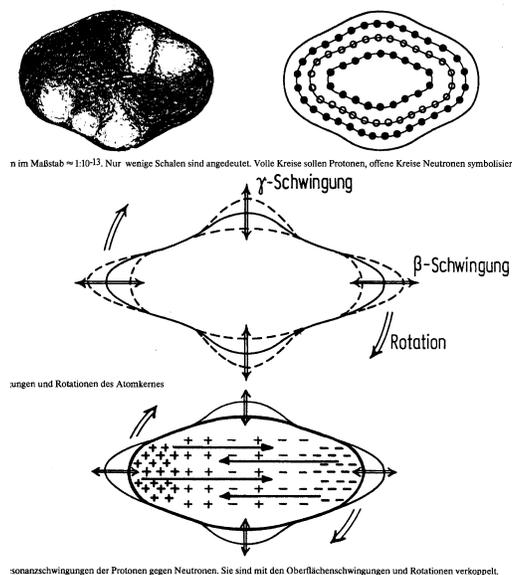


Fig. 1

Da questa riflessione hanno tratto origine due progetti di ricerca sulle collisioni fra nuclei, volti a scoprire, uno, quali condizioni favoriscano o inibiscano la loro fusione, l'altro, quali fenomeni produca la compressione della 'materia nucleare' nelle collisioni tra nuclei 'massivi', specie ad alta energia. Entrambi sono stati effettivamente perseguiti, non solo nel grande laboratorio della GSI (situato tra Francoforte e Darmstadt), ma anche nei maggiori laboratori di Fisica nucleare sparsi per il mondo.

Nuovi elementi sono stati così scoperti a decine, con $Z > 92$, alcuni relativamente stabili, cioè con 'vita media' singolarmente lunga, come previsto dalla teoria. La zona della 'mappa' dei nuclei osservati (Fig. 2), indicati con le coordinate N e Z , mostra però, tra due 'isole' di relativa stabilità, un'ampia regione di nuclei 'transuranici' a 'fissione spontanea'. Greiner ne ha dato ragione considerando una sorta di 'riscaldamento' della materia nucleare e l'incremento del momento angolare generati in una collisione.

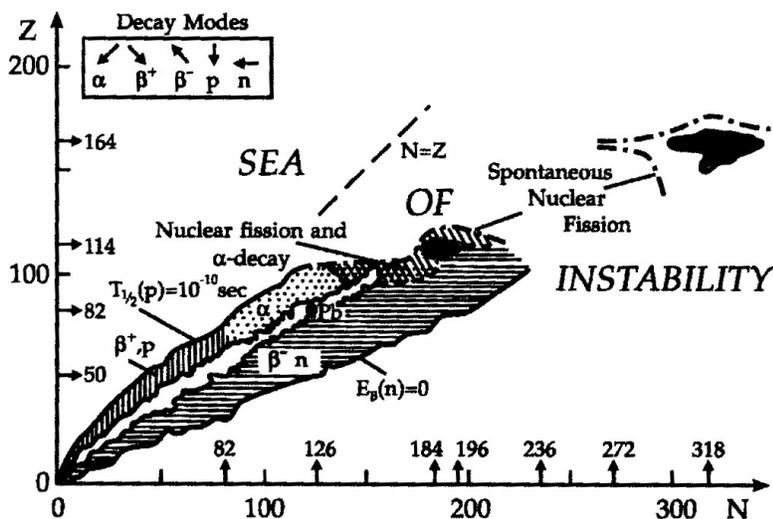


Fig. 2

Come se già in un sistema di appena 476 particelle (U238+U238) le interazioni nucleari producessero fenomeni simili a quelli osservati in sistemi coinvolgenti numeri incomparabilmente maggiori di atomi o molecole (p.es. in una goccia di liquido). E' un 'modello' già adottato da N. Bohr ai primordi della Fisica nucleare per le reazioni neutrone-nucleo (una 'evaporazione' del nucleo 'caldo' generato dalla collisione), in epoca più recente riformulato per la distribuzione in massa dei nuclei prodotti nelle reazioni di 'multi-frammentazione'.

Considerando le collisioni tra due U238, va notato che se essi possono restare in contatto abbastanza a lungo, allora il sistema nucleare così formato avrà la carica di un 'nucleo gigante' con $Z=184$. Le ricerche sull'elettrodinamica relativistica, condotte da Greiner e da vari ricercatori formati alla sua scuola (non solo a Francoforte), avevano previsto che per $Z>173$ il campo elettrico generato avrebbe potuto far 'schizzare' dal vuoto privo di cariche intorno al 'nucleo gigante' delle 'coppie' elettrone-positrone (cioè particella-antiparticella): un processo indicato anche come 'decadimento del vuoto' (Fig. 3).

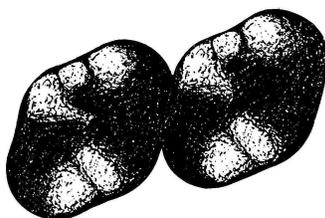


Abb. 6: Zwei Urankerne berühren sich auf Grund ihrer seltsamen, bauchigen Gestalt besonders intensiv.

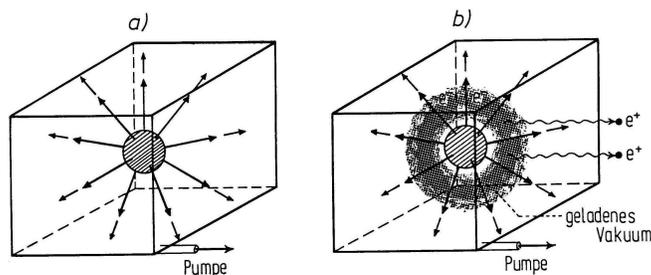


Fig. 3

Per dare un'idea del fenomeno, occorre sapere che l'equazione di Dirac, essenziale nell'elettrodinamica quantistica relativistica, pone in relazione tra loro 'stati' con i due opposti segni della stessa energia: l'interpretazione oggi 'standard' degli stati ad energia negativa come positroni, li considera di massa eguale e carica opposta a quella dell'elettrone che 'viaggiano all'indietro nel tempo' (Feynman), quella adottata da Greiner (già suggerita ma poi dismessa da Dirac) considera un positrone 'mancanza' di un elettrone nello stato 'che occupava nel vuoto'. Il decadimento del vuoto secondo Greiner, consistente nell'estrazione di un elettrone dal vuoto, comporta la produzione di una coppia elettrone-positrone, l'uno attratto e l'altro respinto dall'enorme carica positiva che produce il campo. Greiner propose di cercare se, nelle collisioni tra nuclei di Uranio, la produzione di positroni fosse compatibile con quel 'decadimento del vuoto'. In tal caso i positroni avrebbero recato indizi non solo sull'esistenza, ma anche su alcune caratteristiche peculiari del 'sistema nucleare gigante'. I positroni sono stati effettivamente osservati, ma la difficoltà di escludere che provengano da altri processi, compatibili con le condizioni sperimentali, rende ancora controversa la conferma di questa forma di 'decadimento del vuoto'.

La descrizione della teoria fisica senza riferimento alla forma matematica che consente il calcolo di ciò che si può misurare, può solo alludere alla sua consistenza.

Con la 'panoramica' che ho raccontato, passando dalla teoria di quella specie di radioattività che è la fissione ai suoi sviluppi in una teoria che ha previsto, tra i sistemi 'transuranici', le 'isole' di relativa stabilità e la regione intermedia dei nuclei a fissione spontanea, come poi sono stati

osservati, alla teoria dei campi 'super-critici' di nuclei 'giganti' che potrebbero fare 'schizzare' dal 'vuoto' coppie elettrone-positrone, che non è confermata perché si cerca di distinguere, nei dati osservati, i positroni che potrebbero provenire da altri processi, ho cercato di suggerire i due aspetti dell'opera di Walter Greiner. Quello che dalla scoperta sperimentale trae motivazioni all'indagine teorica e quello che dagli sviluppi di una teoria può suggerire nuovi programmi di ricerca. Parlandone, Greiner diceva che rendono la Fisica 'eccitante e affascinante' ('aufregend und uebergreifend'): gli esiti della sua dedizione alla ricerca ed all'insegnamento certificano la lucidità dell'intelligenza cui si accompagnava questo suo entusiasmo.