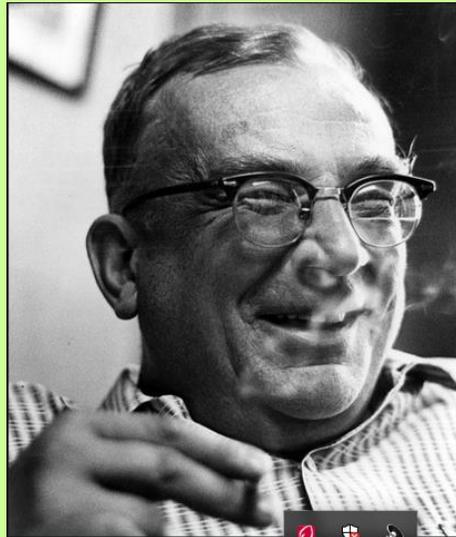


Accademia delle Scienze di Torino  
Corso di formazione e aggiornamento insegnanti 2019-2020  
Grandi figure di fisici e temi di frontiera

GEORGE GAMOW (1904-1968)



Alessandro Bottino  
5 dicembre 2019

## George Gamow: una figura straordinaria di fisico

- ★ anticipò molte idee che ebbero poi un ruolo fondamentale in fisica
- ★ tracciò un percorso scientifico consequenziale dalla fisica nucleare alla fisica delle particelle, all'astrofisica, alla cosmologia – promuovendo l'interdisciplinarietà tra questi settori
- ★ espresse al massimo livello il divertimento di «fare fisica»
- ★ stimolò in colleghi ed allievi l'interesse per nuove idee
- ★ svolse anche un'attività di divulgazione della scienza, ottenendo grande popolarità
- ★ profondo conoscitore della letteratura, specialmente quella russa
- ★ appassionato di battute di spirito e di scherzi, a volte molto «ingenui» e infantili

Importante fonte di informazione su vita di Gamow:  
*My World Line. An informal autobiography* (Viking Press)  
Traduzione italiana: *La mia linea di Universo* (Edizioni Dedalo)

George Gamow nasce a **Odessa (Ucraina)** nel 1904; il padre è professore di lingua e letteratura russa, la madre figlia di un Metropolitano della Chiesa Ortodossa Russa

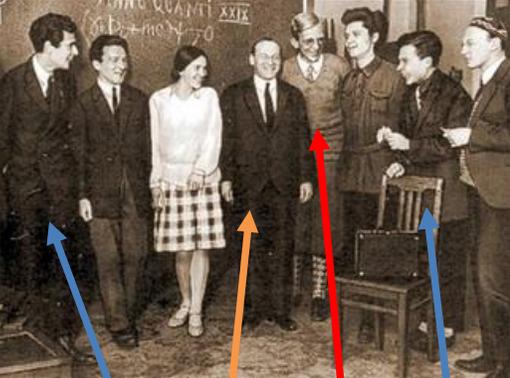
1922-23: studente dell'**Università di Novorossia**

Si trasferisce a Petrograd (Leningrado), dove **Abram Ioffe** stava organizzando importanti istituti scientifici

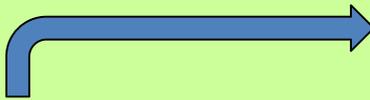
1923-29: studente **dell'Università di Leningrado**  
\*osservatore presso l'Istituto di Meteorologia  
\*docente di fisica presso la Scuola di Artiglieria dell'Armata Rossa - nominato **colonnello dell'Armata Rossa**  
\*frequenta le lezioni all'Università; fa amicizia con **Lev Davidovič Landau** (Dau) e **Dmitri Dmitrevič Ivanenko** (Dimus): i **3 Moschettieri** - molto interessati alla fisica teorica, e non solo ...



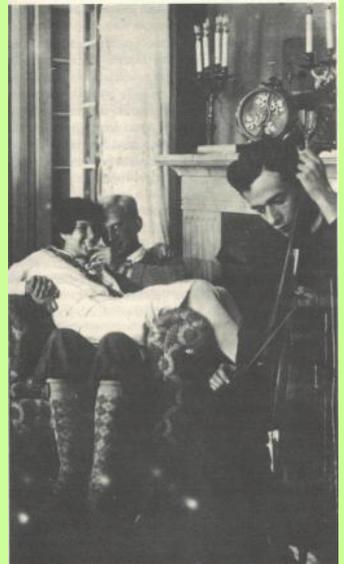
scalinata della Corazzata Potiemkin



Landau Frenkel Gamow Ivanenko



... qui Gamow è in compagnia di Evgenija Kannegiesser e di Landau nel ruolo del «suonatore»  
(GG: My World Line. An Informal Autobiography)



## Contesto scientifico della fisica verso la metà degli Anni '20

Straordinari sviluppi sperimentali sulle **radioattività alfa e beta** (Rutherford e collaboratori)

Meccanica quantistica: il percorso avviato dall'intuizione di **Max Planck** giunge alle formulazioni della **meccanica ondulatoria** e della **meccanica delle matrici**

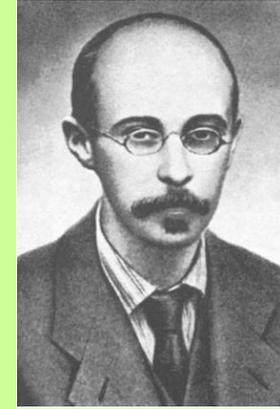
**Relatività ristretta** (1905), **relatività generale** (1915)

**Cosmologia** della relatività generale (1917- ...): **Einstein, Friedmann, Lemaître**

E' su **temi di meccanica quantistica** che si applicano principalmente **Gamow, Landau e Ivanenko**. Gamow assieme ad Ivanenko pubblicherà poi nel 1926 sullo Zeitschrift für Physik il suo primo articolo nel quale viene studiato uno **spazio a cinque dimensioni**: le prime quattro sono lo spazio-tempo di Minkowski, la **quinta dimensione è la funzione d'onda quantistica**.

Nel 1925 Gamow supera tutti gli esami con la menzione «buono»; potrebbe quindi ricevere la proposta di intraprendere un dottorato di ricerca. Il direttore dell'Istituto di Fisica, Dmitri Rogdestvenski, gli suggerisce di attendere un anno, e gli propone un **posto annuale all'Istituto Statale di Ottica**. I compiti assegnatigli sono di natura tecnica: scelta di componenti ottiche di buona qualità, proprietà spettroscopiche dei gas. **Insoddisfazione di Gamow** per questo tipo di attività.

Gamow manifesta grande interesse per la **relatività** e in particolare per le **applicazioni cosmologiche** della relatività generale. Inizia quindi a seguire le **lezioni di Aleksander Alenksandrovič Friedmann**: Fondamenti matematici della teoria della relatività.



A. Friedmann

Però Friedmann muore durante una ascensione con pallone meteorologico (1925). Responsabile delle attività di dottorato di Gamow diventa il prof. Yuri Krutkov, che gli assegna una **tesi su Invarianza adiabatica di un pendolo quantizzato per ampiezze finite**, argomento di totale disinteresse per Gamow.

Quindi si verifica un evento di importanza cruciale per Gamow. Un anziano professore in pensione che lo aveva avuto come studente, **Orest Danilovič Khvolson**, gli suggerisce di andare a trascorrere un periodo di studio in una università estera, ed **avanza all'Università di Leningrado una richiesta di borsa di studio affinché Gamow la possa utilizzare presso l'Università di Göttingen nell'estate del 1928.**

Nel **giugno del 1928** Gamow, ottenuta la borsa, si reca a **Göttingen**, dove frequenta l'Istituto di Fisica Teorica diretto da **Max Born**. Qui l'attività febbrile dei fisici è tutta rivolta alle applicazioni della meccanica quantistica agli atomi e alle molecole. **Gamow non vuole entrare nella mischia** e dover quindi affrontare troppe complessità matematiche.

Fa una visita in biblioteca e vi trova un argomento che lo incuriosisce: un **articolo di Ernest Rutherford: *Structure of the Radioactive Atom and Origin of the  $\alpha$ -Ray* (Philosophical Magazine, 1927)** che tratta della **radiazione alfa dell'uranio e della disintegrazione indotta** nell'uranio per effetto del bombardamento di particelle alfa emesse dall'isotopo del polonio RaC' sull'uranio.

## Richiami sui decadimenti alfa e processi indotti da particelle $\alpha$ :

\* radioattività naturale (Becquerel, 1896; Pierre e Marie Curie, 1898; Rutherford, Soddy, 1902)

\* **legge empirica di Geiger e Nuttall (1911)**: il tempo di dimezzamento di un nucleo radioattivo è tanto più grande, quanto più piccola è l'energia della particella  $\alpha$  emessa; per esempio

$U^{238}$ : tempo di dimezzamento di 4,5 miliardi di anni, energia della particella  $\alpha = 4,1$  MeV

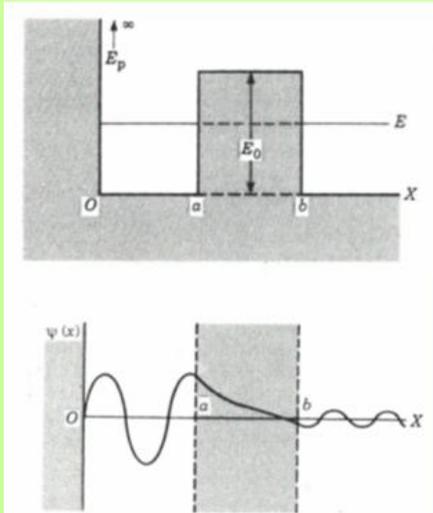
$Po^{214}$  (RaC'): tempo di dimezzamento di 0,0002 sec, energia della particella  $\alpha = 7,7$  MeV

\* **disintegrazione artificiale nucleare indotta da bombardamento con particelle  $\alpha$**  (Rutherford, 1919)

per esempio:  $\alpha + N^{14} \rightarrow O^{17} + p$

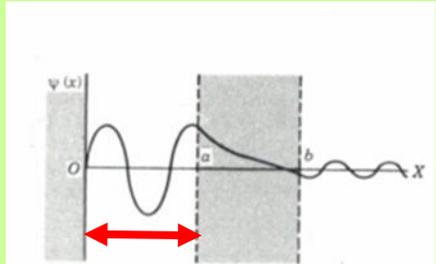
**Le argomentazioni di Rutherford** sul Philosophical Magazine (1927) per spiegare l'emissione alfa dall'uranio **non lo convincono**. Gamow trova invece naturale la spiegazione del fenomeno utilizzando proprietà della meccanica quantistica, ossia **l'effetto quantistico di penetrazione di una particella attraverso una barriera di potenziale**. Questo spiega le proprietà del decadimento alfa descritte dalla legge empirica di Geiger-Nuttall. Per risolvere alcuni problemi (elementari) di calcolo chiede aiuto all'amico matematico N. Kotschin. Pubblica il lavoro sullo Zeitschrift für Physik. **Simultaneità dell'articolo di GG con quello di Gurney e Condon (1928), pubblicato su Nature.**

# Effetto tunnel (tipico della Meccanica Quantistica)



applicazione tipica di MQ

(fuga di particella da buca di potenziale)



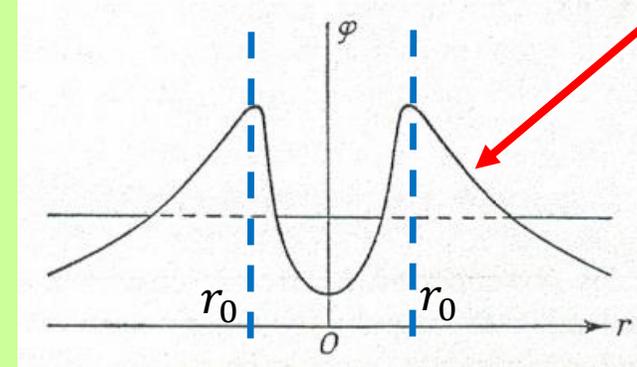
frequenza di emissione della particella dal nucleo Z

$$\lambda = n p$$

numero di urti sulla barriera  
null'unità di tempo

probabilità di penetrazione  
della barriera

emissione di  $\alpha$  da nucleo

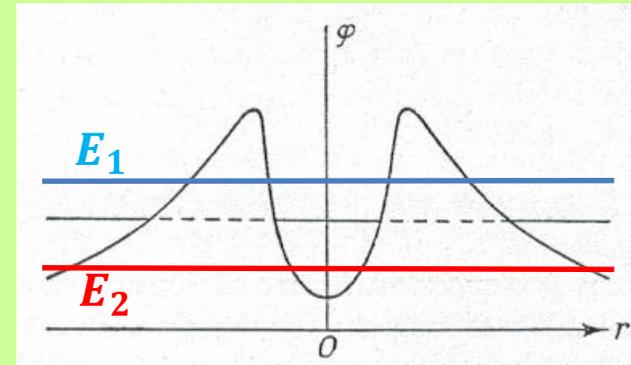


potenziale  
coulombiano

$$p \cong e^{-\frac{8 \pi^2 e^2 (Z-2)}{h v} + \frac{16 \pi e}{h} \sqrt{m(Z-2)r_0}}$$

vita media  $\tau \equiv \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{n p}$

in accordo con  
la relazione di  
Geiger-Nuttall



$$E_1 > E_2$$

$$\tau_1 < \tau_2$$

# prima pubblicazione di Gamow su effetto tunnel nucleare (Zeitschrift für Physik (1928))

## Geiger-Nuttall

### Zur Quantentheorie des Atomkerns.

Von G. Gamow, z. Zt. in Göttingen.

Mit 5 Abbildungen. (Eingegangen am 2. August 1928.)

Zu einer früheren Gelegenheit wurde die Frage der  $\alpha$ -Ausstrahlung auf Grund der Wellenmechanik näher untersucht und den experimentell festgestellten Zusammenhang zwischen Zerfallskonstante und Energie der  $\alpha$ -Partikel theoretisch zu erhalten.

§ 1. Es ist schon öfters\* die Vermutung ausgesprochen worden, daß im Atomkern die nichtcoulombschen Anziehungskräfte eine sehr wichtige Rolle spielen. Über die Natur dieser Kräfte können wir viele Hypothesen machen.

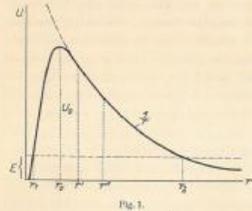
Es können die Anziehungen zwischen den magnetischen Momenten der einzelnen Kernbauelemente oder die von elektrischer und magnetischer Polarisation herrührenden Kräfte sein.

Jedenfalls nehmen diese Kräfte mit wachsender Entfernung vom Kern sehr schnell ab, und nur in unmittelbarer Nähe des Kernes überwiegen sie den Einfluß der Coulombschen Kraft.

Aus Experimenten über Zerstreuung der  $\alpha$ -Strahlen können wir schließen, daß für schwere Elemente, die Anziehungskräfte bis zu einer Entfernung  $\sim 10^{-12}$  cm noch nicht merklich sind. So können wir das auf Fig. 1 gezeichnete Bild für den Verlauf der potentiellen Energie annehmen.

Hier bedeutet  $r_0$  die Entfernung, bis zu welcher experimentell nachgewiesen ist, daß Coulombsche Anziehung allein existiert. Von  $r_0$  beginnen die Abweichungen ( $U$  ist unbekannt und vielleicht viel kleiner als  $r_0$ ) und bei  $r_1$  hat die  $U$ -Kurve ein Maximum. Für  $r < r_1$  herrschen schon die Anziehungskräfte vor, in diesem Gebiet würde das Teilchen den Kernrest wie ein Satellit umkreisen.

\* J. Prentzel, ZS. f. Phys. 37, 243, 1926; E. Rutherford, Phil. Mag. 4, 280, 1927; D. Enskog, ZS. f. Phys. 45, 852, 1927.



Es können die Anziehungen zwischen den magnetischen Momenten der einzelnen Kernbauelemente oder die von elektrischer und magnetischer Polarisation herrührenden Kräfte sein.

Aus Experimenten über Zerstreuung der  $\alpha$ -Strahlen können wir schließen, daß für schwere Elemente, die Anziehungskräfte bis zu einer Entfernung  $\sim 10^{-12}$  cm noch nicht merklich sind. So können wir das auf Fig. 1 gezeichnete Bild für den Verlauf der potentiellen Energie annehmen.

Hier bedeutet  $r_0$  die Entfernung, bis zu welcher experimentell nachgewiesen ist, daß Coulombsche Anziehung allein existiert. Von  $r_0$  beginnen die Abweichungen ( $U$  ist unbekannt und vielleicht viel kleiner als  $r_0$ ) und bei  $r_1$  hat die  $U$ -Kurve ein Maximum. Für  $r < r_1$  herrschen schon die Anziehungskräfte vor, in diesem Gebiet würde das Teilchen den Kernrest wie ein Satellit umkreisen.

Diese Bewegung ist aber nicht stabil, da seine Energie positiv ist, und nach einiger Zeit wird das  $\alpha$ -Teilchen wegzfliegen ( $\alpha$ -Ausstrahlung). Hier aber begegnen wir einer prinzipiellen Schwierigkeit.

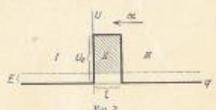
Um wegzfliegen, muß das  $\alpha$ -Teilchen eine Potentialschwelle von der Höhe  $U_0$  (Fig. 1) überwinden, seine Energie darf nicht kleiner als  $U_0$  sein. Aber die Energie der  $\alpha$ -Partikel ist, wie experimentell nachgewiesen ist, viel kleiner. Z. B. findet man\* bei der Untersuchung der Streuung von RaC'- $\alpha$ -Strahlen, als sehr schnelle Partikel, an Uran, daß für den Urankern das Coulombsche Gesetz bis zu einer Entfernung von  $3,2 \cdot 10^{-12}$  cm gilt. Andererseits haben die von Uran selbst emittierten  $\alpha$ -Partikel eine Energie, die auf der Abstößungskurve einem Kernabstand von  $6,3 \cdot 10^{-12}$  cm ( $r_2$  in Fig. 1) entspricht. Soll eine  $\alpha$ -Partikel, die aus dem Inneren des Kernes kommt, wegzfliegen, so müßte sie das Gebiet zwischen  $r_1$  und  $r_2$  durchlaufen, wo ihre kinetische Energie negativ wäre, was nach klassischen Vorstellungen natürlich unmöglich ist.

Um diese Schwierigkeit zu überwinden, machte Rutherford\*\* die Annahme, daß die  $\alpha$ -Partikel im Kerne neutral ist, da sie dort noch zwei Elektronen enthalten soll. Erst bei einem gewissen Kernabstand jenseits des Potentialmaximums verliert sie, nach Rutherford, ihre beiden Elektronen, die in den Kern zurückfallen, und fliegt weiter unter Entwirkung der Coulombschen Abstößungskraft. Aber diese Annahme scheint sehr unnatürlich und dürfte kaum den Tatsachen entsprechen.

§ 2. Betrachten wir die Frage vom Standpunkt der Wellenmechanik, so fällt die oben erwähnte Schwierigkeit von selbst fort. In der Wellenmechanik nämlich gibt es für ein Teilchen immer eine von Null verschiedene Übergangswahrscheinlichkeit, von einem Gebiet in ein anderes Gebiet gleicher Energie, das durch eine beliebig, aber endlich hohe Potentialschwelle von dem ersten getrennt ist\*\*\*.

Wie wir weiter sehen werden, ist die Wahrscheinlichkeit eines solchen Überganges allerdings sehr klein, und zwar um so kleiner, je

\* Rutherford, l. c., S. 281.  
\*\* Derselbe, l. c., S. 284.  
\*\*\* Siehe z. B. Oppenheimer, Phys. Rev. 1, 66, 1928; Nordheim, ZS. f. Phys. 46, 833, 1927.



So sehen wir, daß die Amplitude der durchgegangenen Welle um so kleiner ist, je kleiner die Gesamtenergie  $E$  ist, und zwar spielt der Faktor:

$$e^{-2k} = e^{-\frac{2\pi}{h} \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{U_0 - E} dx}$$

in dieser Abhängigkeit die wichtigste Rolle.

§ 3. Jetzt können wir das Problem für zwei symmetrische Potentialschwellen (Fig. 3) lösen. Wir werden zwei Lösungen suchen.

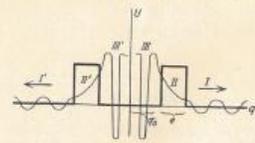
Eine Lösung soll für positive  $q$  gelten und für  $q > q_0 + l$  die Welle:

$$A e^{i(\frac{2\pi}{h} E t - k q + \epsilon)}$$

geben. Die andere Lösung gilt für negative  $q$  und gilt für  $q < -(q_0 + l)$  die Welle

$$A' e^{i(\frac{2\pi}{h} E t + q' - \epsilon)}$$

Dann können wir die beiden Lösungen an der Grenze  $q = 0$  nicht stetig aneinanderfügen, denn wir haben hier zwei Grenzbedingungen zu



erfüllen und nur eine Konstante  $a$  zur Verfügung. Die physikalische Ursache dieser Unmöglichkeit ist, daß die aus diesen zwei Lösungen konstruierte  $\psi$ -Funktion dem Erhaltungssatz

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{-l_0}^{+l_0} \psi \bar{\psi} dq = 2 \frac{h}{4\pi i m} [\psi \text{grad } \bar{\psi} - \bar{\psi} \text{grad } \psi]$$

nicht genügt.

Um diese Schwierigkeit zu überwinden, müssen wir annehmen, daß die Schwingungen gedämpft sind, und  $E$  komplex setzen:

$$E = E_0 + i \frac{h \lambda}{4\pi}$$

wo  $E_0$  die gewöhnliche Energie ist und  $\lambda$  das Dämpfungskoeffizient (Zerfallskonstante). Dann sehen wir aber aus den Relationen (2a) und (2b),

der  $\alpha$ -Partikel, als Ordinate den Logarithmus der Zerfallskonstante auftragen, alle Punkte für eine bestimmte radioaktive Familie auf einer Geraden liegen. Für verschiedene Familien erhält man verschiedene parallele Gerade. Die empirische Formel lautet:

$$\lg \lambda = \text{Const} + b E,$$

wo  $b$  eine allen radioaktiven Familien gemeinsame Konstante ist.

Der experimentelle Wert von  $b$  (aus RaA und Ra berechnet) ist

$$b_{\text{exp.}} = 1,02 \cdot 10^{17}.$$

Wenn wir aber in unsere Formel den Energiewert für RaA einsetzen, so gibt die Rechnung

$$b_{\text{theor.}} = 0,7 \cdot 10^{17}.$$

Die Übereinstimmung der Größenordnung zeigt, daß die Grundannahme der Theorie richtig sein dürfte. Nach unserer Theorie müssen gewisse Abweichungen von dem linearen Gesetz bestehen: mit wachsender Energie muß  $b$  abnehmen, d. h., daß  $\lg \lambda$  etwas langsamer als  $E$  abnehmen muß. Hiermit stimmten die Messungen von Jacobsen\*\*, welcher für RaC, dessen  $\alpha$ -Strahlung sehr energiereich ist, als Zerfallskonstante den Wert  $8,4 \cdot 10^{17}$  erhält, während aus dem linearen Gesetz der Wert  $5 \cdot 10^{17}$  folgt.

Zum Schluß möchte ich noch meinem Freund N. Kotschis meinen besten Dank aussprechen für die freundliche Besprechung der mathematischen Fragen. Auch Herrn Prof. Born möchte ich für die Erlaubnis in seinem Institut zu arbeiten, herzlich danken.

Göttingen, Institut für theoretische Physik, 29. Juli 1928.

\* Für andere Elemente erhalten wir ungefähr denselben Wert, da  $Z$  für verschiedene radioaktive Elemente nur wenig verschieden ist.  
\*\* Jacobsen, Phil. Mag. 47, 25, 1924.

potenziale

esempio di effetto tunnel

raccordo della funzione d'onda

Nell'autunno del 1928, prima di rientrare a Leningrado, Gamow va a **Copenhagen per una conversazione con Niels Bohr** (incontro concertato in anticipo o improvvisato?). Bohr gli offre una **borsa di studio Carlsberg** (birra) per **l'anno accademico 1928-1929**, che Gamow accetta ed usufruisce immediatamente.

Gamow è completamente libero nella sua ricerca (a differenza degli assistenti di Bohr), e quindi prosegue la ricerca avviata a Göttingen.

Nell'ottobre del 1928 Gamow pubblica un altro articolo in cui mostra alcuni errori nell'analisi di Gurney e Condon, in particolare osserva che anche **la disintegrazione nucleare indotta da urto di particelle alfa su nuclei può avvenire per effetto tunnel quantistico**.

Sviluppa queste sue idee in alcuni altri lavori, di cui uno con **Fritz Houtermans** (giovane fisico viennese conosciuto a Göttingen) che lo aveva convinto a formulare gli aspetti del modello in modo matematicamente più rigoroso. **Bohr suggerisce a Gamow di fare visita a Rutherford a Cambridge**, e gli scrive una lettera di presentazione per prevenire un'eventuale reazione negativa di Rutherford per le critiche rivolte da Gamow alla sua teoria.

**Gamow va a Cambridge ad inizio gennaio 1929**, per restarvi fino a metà febbraio. Nel viaggio verso Cambridge fa una sosta a Leiden per parlare con Paul Ehrenfest del modello nucleare a goccia liquida, probabilmente concepito a Copenhagen in seguito a discussione con Bohr.

In questo **modello nucleare a goccia liquida** Gamow immagina il nucleo come un insieme di particelle  $\alpha$  (bosoni) assimilabile ad una goccia d'acqua in cui le particelle sono tenute insieme da una **tensione superficiale**.

I risultati delle sue ricerche sono presentati nel corso di una discussione sulla struttura del nucleo atomico, promossa da Rutherford ad una riunione della Royal Society nel febbraio del 1929; vengono pubblicati da Gamow nel 1930 sui *Proceedings della Royal Society: Mass Defect Curve and Nuclear Constitution*.

## Richiami su modello nucleare a goccia liquida

Elementi del modello a goccia liquida di Gamow (1930); da articolo su Proceedings della Royal Society:

- In the discussion before the Royal Society on the constitution of the atomic nucleus held on February 7, 1929, I proposed a simple model of a nucleus built from alpha-particles in a way very similar to a water-drop held together by surface tension [...]

\*we must assume some attractive forces, which come into play only for a close approach of two alpha-particles and overbalance at short distances the forces due to electrostatic repulsion [...]

\*we must take into account only the action of particles inside a small sphere surrounding the particle in question [...]

\*in the surface region very strong forces arise, trying to drag the particle inside the liquid (surface tension).

*Mass Defect Curve and Nuclear Constitution.*

By G. GAMOW, Rockefeller Foundation Fellow, Cambridge.

(Communicated by Sir Ernest Rutherford, P.R.S.—Received January 28, 1930.)

In the discussion before the Royal Society on the constitution of the atomic nucleus held on February 7, 1929,\* I proposed a simple model of a nucleus built from  $\alpha$ -particles in a way very similar to a water-drop held together by surface tension. A certain number of protons (not more than three) and electrons can be bound to such an  $\alpha$ -aggregate without forming a new  $\alpha$ -particle.† Such additional units of nuclear constitution, usually bound less strongly than those involved in the  $\alpha$ -particles, we shall term free nuclear protons and electrons. Their presence will, of course, affect the form of the nuclear energy curve (mass defect curve), not changing, however, its general shape.

In the present paper I shall attempt to treat the problem more closely, analysing from the theoretical point of view the experimental facts concerning the nuclear energy.

consequence of the very steep rise of the energy curves in this region as shown in fig. 4) and have completely disintegrated.

In order to develop further the point of view proposed in this paper, a more complete knowledge of the distribution of isotopic numbers and more accurate measurement of the masses of the nuclei are required.

Several points treated in this paper are due to the discussion with my friend Dr. L. Landau to whom I should like to express my best thanks.

My thanks are also due to Sir Ernest Rutherford and to Dr. R. H. Fowler for their kind interest in my work.

I am indebted to Dr. J. D. Cockcroft for the correction of the MS.

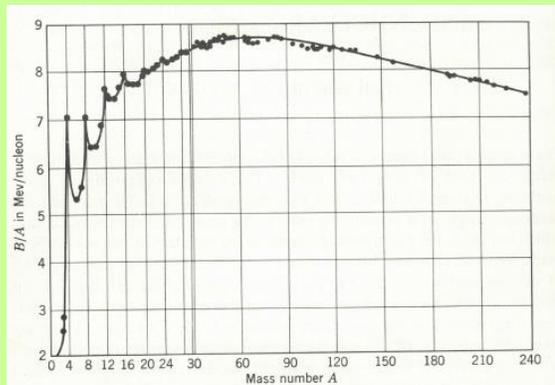
Elaborazioni di questi concetti in teoria moderna della fisica nucleare e nella situazione reale di nuclei formati da  $Z$  protoni e  $N$  neutroni ( $A = Z + N$ ) portano a scrivere per l'energia di legame nucleare

$$B(A, Z) \equiv [ZM_H + NM_N - M(A, Z)]$$

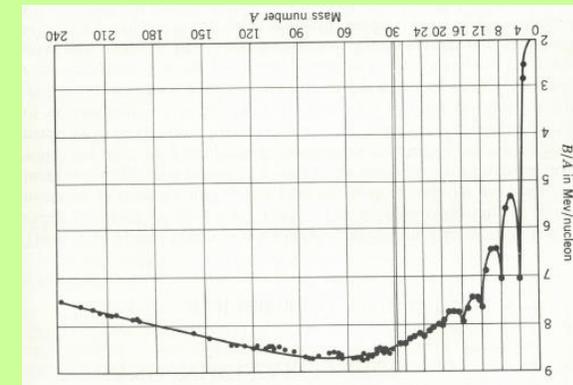
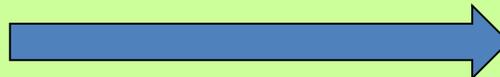
la formula

$$B(A, Z) = a_V A - b A - c \frac{T^2}{A} - a_S A^{2/3} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^3}$$

dove  $T = \frac{1}{2} (N - Z)$ . Il primo termine a secondo membro rappresenta **l'energia di volume**, proporzionale ad  $A$  e non al numero di coppie,  $\frac{1}{2}(A(A-1))$ . Ciò è dovuto alle **proprietà di saturazione delle forze nucleari**, conseguenza del fatto che il segno del potenziale tra due nucleoni dipende dalla proprietà di simmetria di spazio e spin della funzione d'onda della coppia. Il secondo e il terzo termine sono dovuti **all'energia cinetica**. Il termine in  $A^{2/3}$  è il **termine di superficie**, proporzionale a  $4\pi R^2$ , avendo utilizzato la proprietà  $R \propto A^{1/3}$ . L'ultimo termine è quello dovuto alla **repulsione coulombiana** tra protoni. Le 4 costanti sono positive ( $a_V > 0$  sotto opportune condizioni).

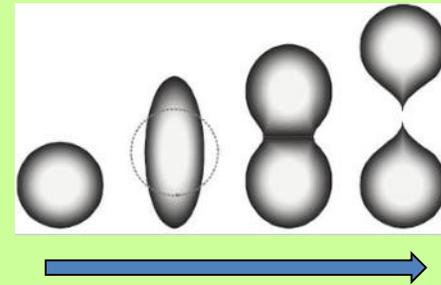
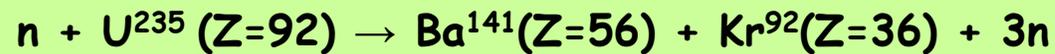


forse, per rendere le proprietà di stabilità nucleari più intuitive, capovolgiamo la figura



Storicamente, il modello nucleare "liquid drop" di Gamow venne poi ampliato negli anni successivi (la scoperta del neutrone fu cruciale) attraverso i lavori di: Heisenberg (1933), Carl Friedrich von Weizsäcker (formula semi-empirica con minimo di energia, 1935), Bohr e Fritz Kalchar (teoria del nucleo composto, 1937).

Il modello a goccia liquida venne applicato da Lise Meitner e Otto Frisch (1939) e da Niels Bohr e John Wheeler (1939) per interpretare il processo di fissione nucleare realizzato da Otto Hahn e Fritz Strassmann (1938)



I risultati di Hahn e Strassmann vennero ufficialmente comunicati da Bohr alla Fifth Conference on Theoretical Physics, organizzata da Gamow e Teller alla George Washington University nel 1939.

Fermi e Collaboratori avevano realizzato processi di bombardamento di nuclei pesanti con neutroni con lo scopo di produrre elementi transuranici (1934).

La chimica-fisica tedesca *Ida Noddack aveva previsto nel 1934* la possibilità dei processi di fissione nucleare: "When heavy nuclei are bombarded by neutrons, it is conceivable that the nucleus breaks up into several large fragments, which would of course be isotopes of known elements but would not be neighbors of the irradiated element". Questa osservazione non venne recepita dalla comunità scientifica.

Gamow fornisce consulenza teorica a Robert Atkinson e Fritz Houtermans circa la possibilità che reazioni termonucleari spieghino l'emissione di energia da parte del Sole e di altre stelle. Nel loro lavoro (1929) Atkinson e Houtermans confermano l'ipotesi avanzata da Arthur Eddington nel volume "The internal constitution of the stars".

Quest'idea verrà poi ripresa da Charles Critchfield e Hans Bethe nel 1938.

Su suggerimento di Bohr e di Rutherford Gamow fa domanda per una borsa di studio Rockfeller per passare un anno a Cambridge a cominciare dall'autunno 1929. La borsa di studio che sta utilizzando finisce nella primavera del 1929, e quindi Gamow decide di trascorrere l'estate del 1929 in Russia, dove poteva utilizzare lo stipendio accumulato come studente dell'Università di Leningrado. **Accoglienza trionfale**. Estate in Crimea.

Ottiene la borsa Rockfeller, e quindi a fine settembre 1929 si reca al Cavendish Laboratory di Cambridge per trascorrervi un anno. Rutherford sta studiando la possibilità di indurre fissioni di nuclei bombardandoli con ioni leggeri opportunamente accelerati; consulta Gamow per determinare quanta energia cinetica sia necessaria per realizzare il processo. **Gamow indica a Rutherford che il bombardamento con protoni è energeticamente favorevole rispetto a quello con particelle alfa**. Rutherford incarica i suoi collaboratori **John Cockcroft e Ernest Walton** di costruire un acceleratore di protoni da 1 MeV. **Cockcroft e Watson realizzeranno nel 1932 al Cavendish Laboratory un acceleratore di protoni di 300 KeV** che utilizzeranno per indurre la reazione



e tutta una serie di altre reazioni nucleari. Einstein giudicò la reazione di protoni su  $\text{Li}^7$  la dimostrazione più stringente dell'equivalenza massa-energia.



***John Cockcroft con George Gamow:  
dall'impegno nella ricerca alla  
soddisfazione del risultato***

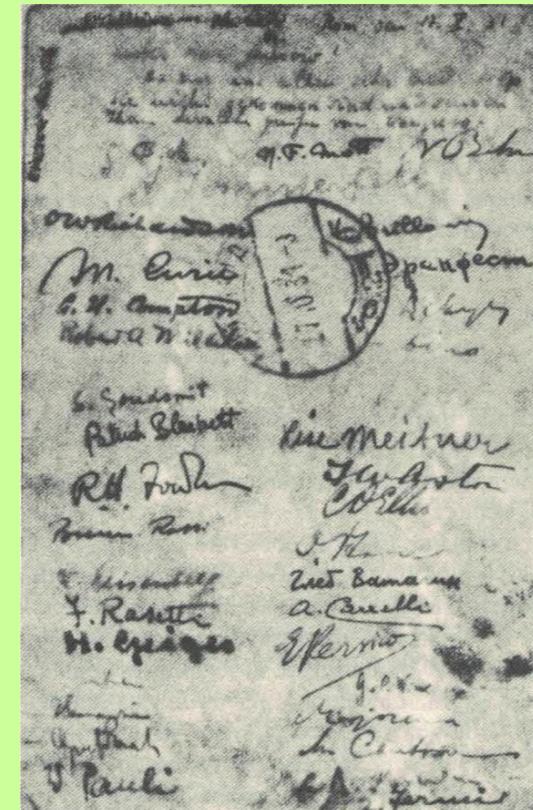
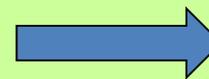


**assieme a Wolfgang Pauli in battello  
su di un lago svizzero**

Nell'estate del 1930 lascia Cambridge per tornare a Copenhagen, dove Bohr gli ha ottenuto un contributo economico per trascorrervi l'anno accademico 1930-31. Gamow scrive il suo primo libro: *Constitution of Atomic Nuclei and Radioactivity*, dove viene enfatizzato il suo scetticismo per l'esistenza di elettroni nucleari. Questo è il primo libro di testo di fisica nucleare teorica, ripubblicato in versioni molto ampliate e rivedute nel 1937 e nel 1949 (questa edizione assieme a Charles Critchfield).

Gamow torna a Leningrado nella primavera del 1931, per ricoprire un posto di professore nel periodo 1931-33, trova la situazione generale molto cambiata. Invitato a tenere una relazione al Congresso Nucleare che si sarebbe tenuto a Roma nell'ottobre del 1931, non riesce ad ottenere il visto per andarvi.

cartolina di solidarietà dei  
partecipanti al congresso



Tenta inutilmente di **espatriare clandestinamente**:  
una **improbabile** via di fuga attraverso il Mar Nero !!!



Inaspettatamente riceve però dal Nerkompros (Commissariato del popolo per l'istruzione) un incarico ufficiale a partecipare come delegato ufficiale al **VII Congresso Solvay che si sarebbe tenuto a Bruxelles nel 1933**. Ottiene il visto per parteciparvi accompagnato dalla moglie.

**Negli anni 1931-33 avvengono alcune scoperte importanti per la fisica fondamentale e per quella nucleare: deutone, neutrone, positrone.** Nel 1930 **Wolfgang Pauli avanza l'ipotesi dell'esistenza del neutrino** (da lui chiamato *neutrone*); nel 1933 **Enrico Fermi formula la teoria dell'interazione debole.**

**Gamow decide di non tornare in Unione Sovietica**, e trascorre il periodo 1933-34 (inverno e primavera) a Parigi con una borsa di studio all'Istituto Pierre Curie, poi come Visiting Professor all'Università di Londra, e poi ancora con un soggiorno di due mesi a Copenaghen con Bohr.

Nell'estate del 1934 è Docente a contratto all'Università del Michigan, ad Ann Arbor, e dall'autunno del 1934 sino al 1956 è Professore all'Università George Washington a Washington (DC).

Nell'accettare l'offerta del posto di professore alla GWU Gamow pone due condizioni:

- 1) che venga offerto un posto di professore ad un altro fisico di buon livello (nello specifico, Edward Teller),
- 2) che vi sia ogni anno un finanziamento adeguato per organizzare un congresso di fisica.

Teller ricopre un posto di professore alla GWU. Nella stessa Università vengono tenuti ogni anno, dal 1935 al 1942, importanti congressi di fisica nucleare, fisica delle particelle, astrofisica e cosmologia, organizzati da Gamow e Teller.

**Attività di ricerca di Gamow alla GWU** (a parte il lavoro sulle transizioni deboli di Gamow-Teller, l'attività si orienta su temi di astrofisica e cosmologia):

- **Transizioni beta nucleari con variazione di spin** (regola di selezione di Gamow-Teller):  
*G. Gamow and E. Teller: Selection rules for the beta disintegration, Phys. Rev. 49 (1936) 895*
- **Processi nucleari nelle stelle - formazione degli elementi chimici**  
*Nuclear transformations and the origin of the chemical elements, Ohio Journal of Science 35 (1935) 406*
- **Produzione di energia termonucleare nelle stelle - energia e picco di Gamow**  
*G. Gamow and E. Teller: The rate of selective thermonuclear reactions, Phys. Rev. 53 (1938) 608*  
*C.L. Critchfield and G. Gamow: The shell source stellar model, Astrophysical Journal 89 (1939) 24*

# Produzione di energia nelle stelle tramite reazioni termonucleari

Digitare l'equazione qui.

**Tasso di reazione** per la generica reazione nucleare:  $A + B \rightarrow$  qualsiasi stato

$$R_{AB} = \frac{N_A N_B \langle \sigma v \rangle_{AB}}{1 + \delta_{AB}}$$

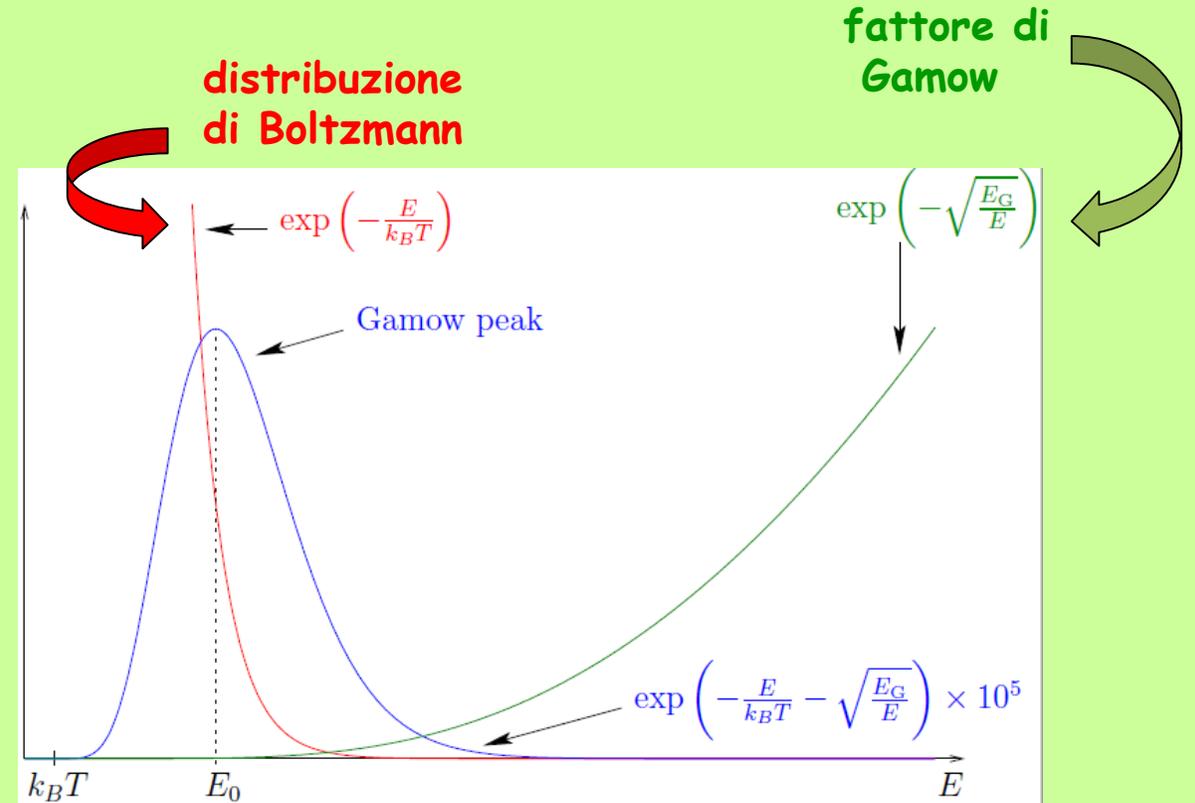
$\langle \sigma v \rangle_{AB} =$  sezione d'urto mediata sulla distribuzione termica di velocità

$N_A, N_B =$  densità numeriche

$$\langle \sigma v \rangle_{AB} = \sqrt{\frac{8}{\pi \mu (kT)^3}} \int_0^\infty dE S(E) \exp\left(-\frac{E}{kT} - \sqrt{\frac{E_G}{E}}\right)$$

fattore astrofisico

Per dettagli vedi, per esempio:  
C. Giunti and C.W.Kim, *Fundamentals of neutrino physics and astrophysics*,  
Oxford University Press (2007)



energia di Gamow

Nel 1939 Gamow inizia una **serie di libri di divulgazione** avente come protagonista un impiegato di banca che si interessa ad argomenti di fisica moderna, **Mr Tompkins** (nome preso a prestito da un matematico conosciuto ad Ann Arbor)

George Gamow

# Mr Tompkins in Wonderland



edited with notes  
by  
Toshiro Suzuki  
Tatsuki Chikaki

SHIBAKISHU

## *The New World of Mr. Tompkins*

by George Gamow & Russell Stannard

**Mr. Tompkins, a banker  
seeks enlightenment in physics.**



So he decides to attend some lectures  
at the university on *Relativity* and  
*Quantum Mechanics*.

attività di divulgazione che riscosse  
grande popolarità e precorse i tempi

The clock on the tower  
struck twelve, and the  
cyclist, evidently in a  
hurry, stepped harder  
on the pedals.

Unbelievably  
Shortened  
relative to  
stationary  
observers.



simbolo utilizzato dal Comune  
di Torino per caratterizzare i  
percorsi ciclabili

- **Formazione di strutture cosmologiche**

G. Gamow and E. Teller: *The expanding Universe and the origin of the great nebulae*, Nature 143 (1939) 116 and 375

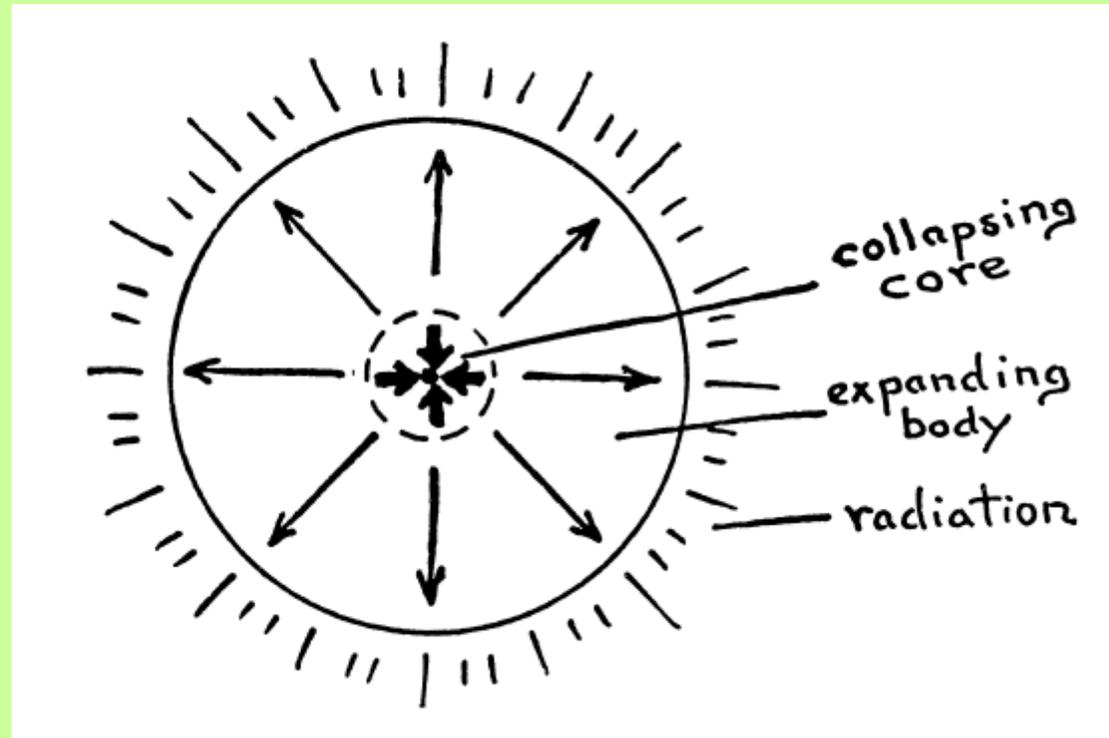
G. Gamow and E. Teller: *On the origin of the great nebulae*, Phys. Rev. 55 (1939) 654  
(con ringraziamenti a Mr Tompkins !!!)

We consider it our pleasant duty to express thanks to Mr. C. G. H. Tompkins for having suggested the topic of this paper and to H. A. Bethe for valuable discussions.

- **Produzione di neutrini nelle stelle**

G. Gamow and M. Schönberg: *The possible role of neutrinos in stellar evolution*, Phys. Rev. 58 (1940) 1117

G. Gamow and M. Schönberg: *Neutrino theory of stellar collapse*, Phys. Rev. 59 (1941) 539



**Collasso gravitazionale seguito da esplosione di supernova (schizzo di Gamow, 1945)**

Nella seconda metà degli anni 40, prendendo le mosse dai lavori di Friedmann e Lemaître, Gamow sviluppa il modello di **Hot Big Bang**, ossia di un **Universo in espansione a partire da una fase iniziale di alte temperature e grande densità**.

Il **plasma iniziale (ylem)** è costituito da **neutroni**, e da questo si formano progressivamente, a seguito della espansione e quindi del raffreddamento del cosmo, le strutture nucleari (**nucleosintesi primordiale**) e, successivamente, le **strutture cosmologiche**.

Gamow assegna a Ralph Alpher come tesi di dottorato il calcolo della nucleosintesi. A questa linea di ricerca si unisce Robert Herman. La collaborazione **Gamow, Alpher, Herman** (con l'aggiunta fittizia di Bethe in uno dei loro primi articoli) porta a dimostrare la possibile **produzione primordiale degli elementi leggeri (principalmente  $He^4$ )** e a predire l'esistenza al tempo attuale di una radiazione cosmica di fondo (**CMB**), con una temperatura stimata attorno ai **5 K**.

- **Nucleosintesi primordiale e CMB** - formazione di **strutture cosmologiche**

*Gamow: Expanding Universe and the origin of the elements, PR 70 (1946) 572*

*R. Alpher, H. Bethe and G. Gamow: The origin of chemical elements, PR 73 (1948) 803*  
(seguito da Alpher, PR 74 (1948) 1577 - [Alpher's PhD dissertation](#); [articolo su Washington Post](#))

*G. Gamow: The origin of elements and the separation of galaxies, PR 74 (1948) 505*

***G. Gamow: The evolution of the Universe, Nature 162 (1948) 680***

(seguito da [Alpher and Herman, Nature 74 \(1948\) 774](#) - primo lavoro di A&H: predizione di CMB alla temperatura attuale di 5 K; [Alpher and Herman, PR 74 \(1948\) 1737](#) - loro primo calcolo della nucleosintesi)

*R.A. Alpher, G. Gamow and R. Herman: Thermonuclear reactions in the expanding Universe, PR 74 (1948) 1198*



# The Origin of Chemical Elements

R. A. ALPHER\*

*Applied Physics Laboratory, The Johns Hopkins University,  
Silver Spring, Maryland*

AND

H. BETHE

*Cornell University, Ithaca, New York*

AND

G. GAMOW

*The George Washington University, Washington, D. C.*

February 18, 1948

in absentia

AS pointed out by one of us,<sup>1</sup> various nuclear species must have originated not as the result of an equilibrium corresponding to a certain temperature and density, but rather as a consequence of a continuous building-up process arrested by a rapid expansion and cooling of the primordial matter. According to this picture, we must imagine the early stage of matter as a highly compressed neutron gas (overheated neutral nuclear fluid) which started decaying into protons and electrons when the gas pressure fell down as the result of universal expansion. The radiative capture of the still remaining neutrons by the newly formed protons must have led first to the formation of deuterium nuclei, and the subsequent neutron captures resulted in the building up of heavier and heavier nuclei. It must be remembered that, due to the comparatively short time allowed for this process,<sup>1</sup> the building up of heavier nuclei must have proceeded just above the upper fringe of the stable elements (short-lived Fermi elements), and the present frequency distribution of various atomic species was attained only somewhat later as the result of adjustment of their electric charges by  $\beta$ -decay.

REVIEWS OF MODERN PHYSICS

VOLUME 21, NUMBER 3

JULY, 1949

## On Relativistic Cosmogony

G. GAMOW

*The George Washington University, Washington, D. C.*

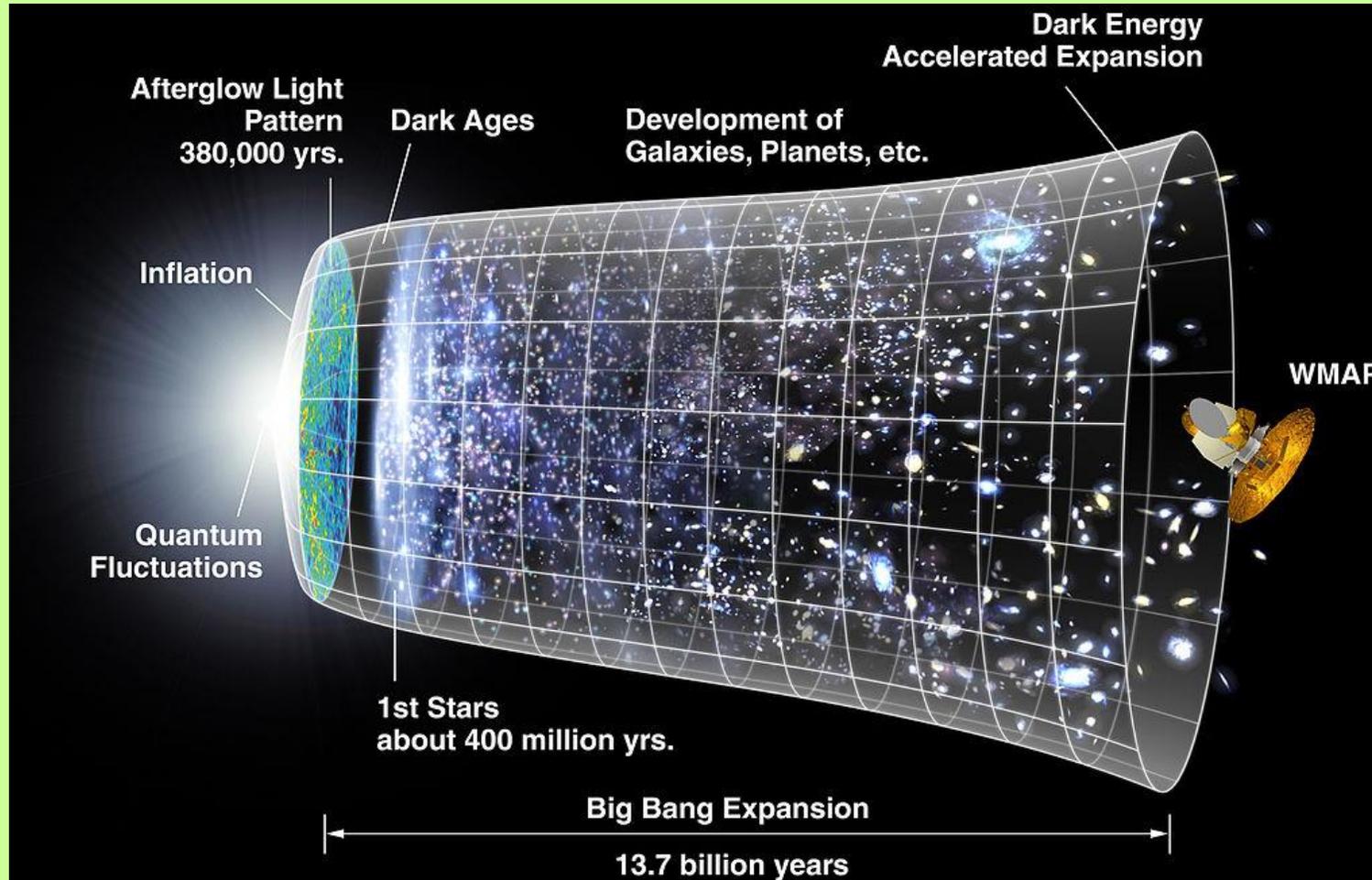
during the later evolutionary period. The neutron-capture theory of the origin of atomic species recently developed by Alpher, Bethe, Gamow, and Delter<sup>9</sup> suggests that different atomic nuclei were formed by

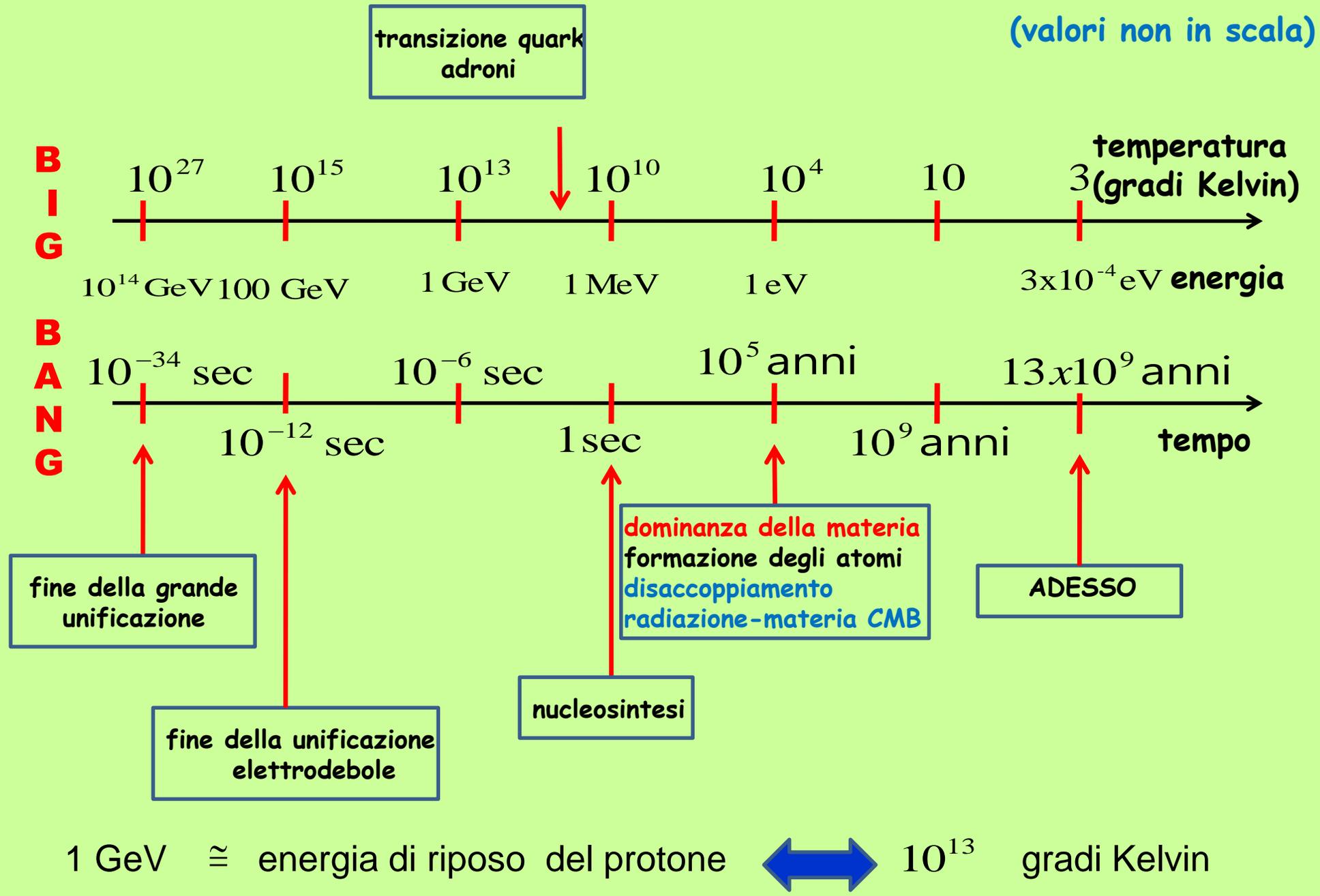
<sup>8</sup> J. Stebbins and H. E. Whiteford, *Ap. J.* **108**, 413 (1948)

<sup>9</sup> G. Gamow, *Phys. Rev.* **70**, 572 (1946); Alpher, Bethe, and Gamow, *Phys. Rev.* **73**, 803 (1948); R. A. Alpher, *Phys. Rev.* **74**, 1577 (1948); R. A. Alpher and R. C. Herman, *Phys. Rev.* **74**, 1737 (1948).

Herman

# Evoluzione del cosmo in espansione





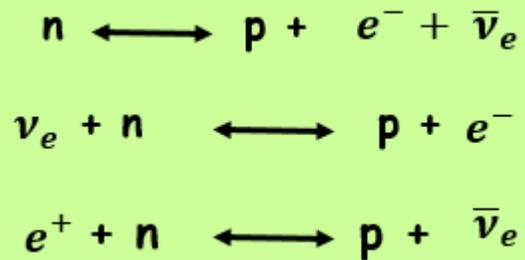
## Nucleosintesi cosmologica

A temperature  $T > \sim 1 \text{ MeV}$  nel bagno termico (plasma) sono presenti

**particelle relativistiche:**  $\gamma, \nu_i, \bar{\nu}_i, e^\mp$   
(elettroni e positroni stanno avvicinandosi al regime non-relativistico:  $T \cong m_e \cong 0.5 \text{ MeV}$ )

**particelle non relativistiche:**  $n, p$

Neutroni e protoni si mantengono in equilibrio termico grazie ai processi deboli:



**rapporto numero neutroni/numero protoni**

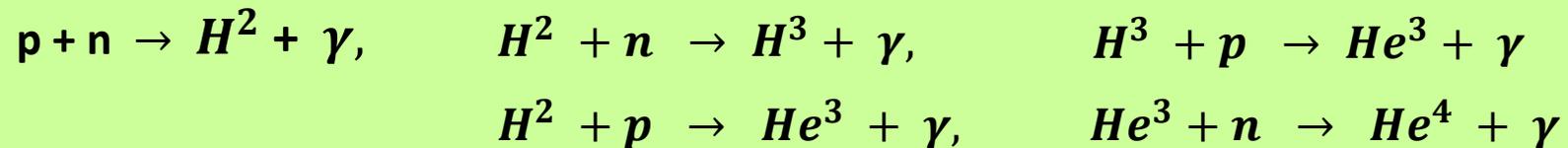
$$\frac{n_n}{n_p} = e^{-\frac{m_n - m_p}{T}}$$

Alla temperatura  $T < \sim 1 \text{ MeV}$  neutroni e protoni non sono più in equilibrio.

I neutroni hanno due vie aperte:

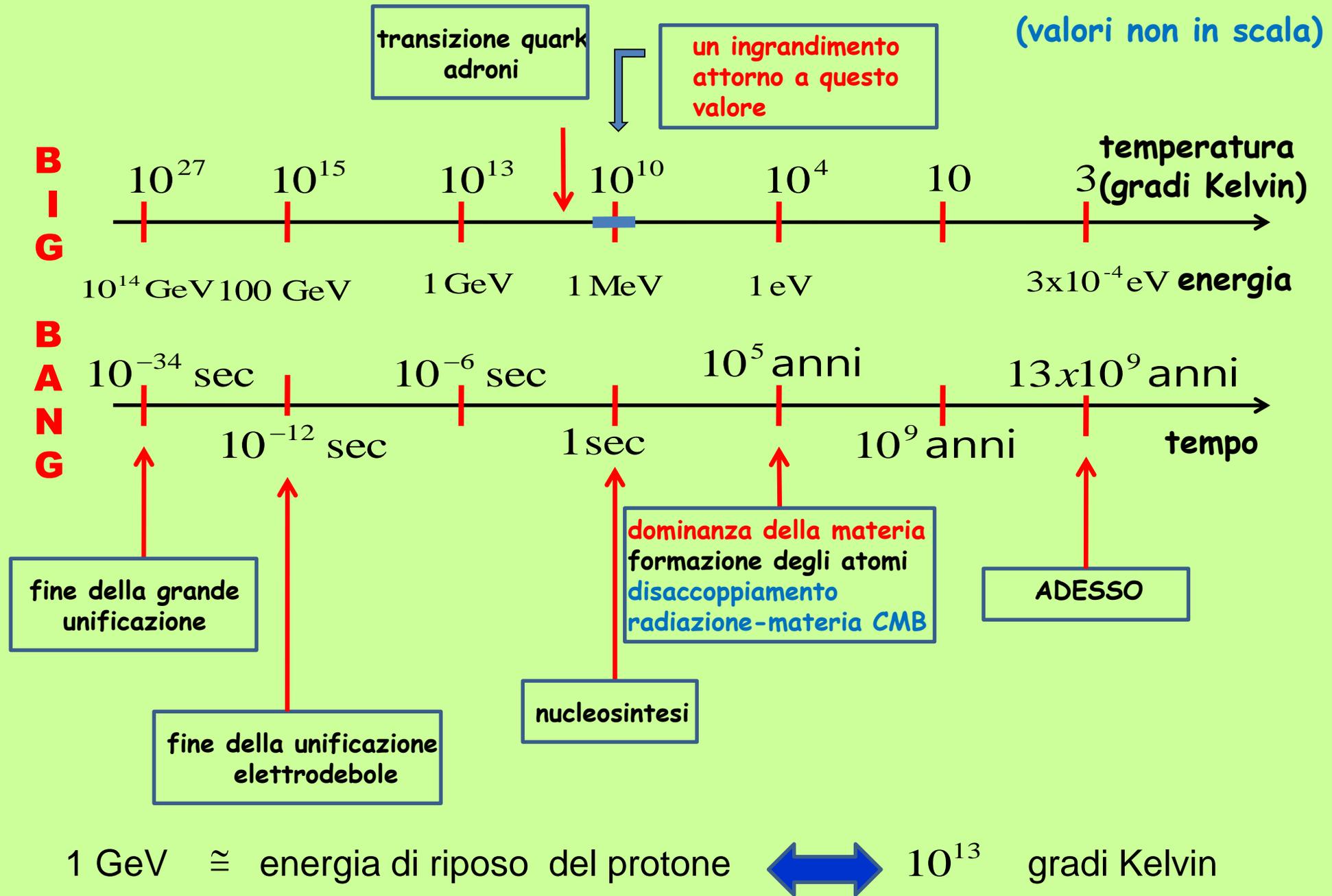
**decadimento:**  $n \longleftrightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$  (vita media  $\approx 15$  minuti)

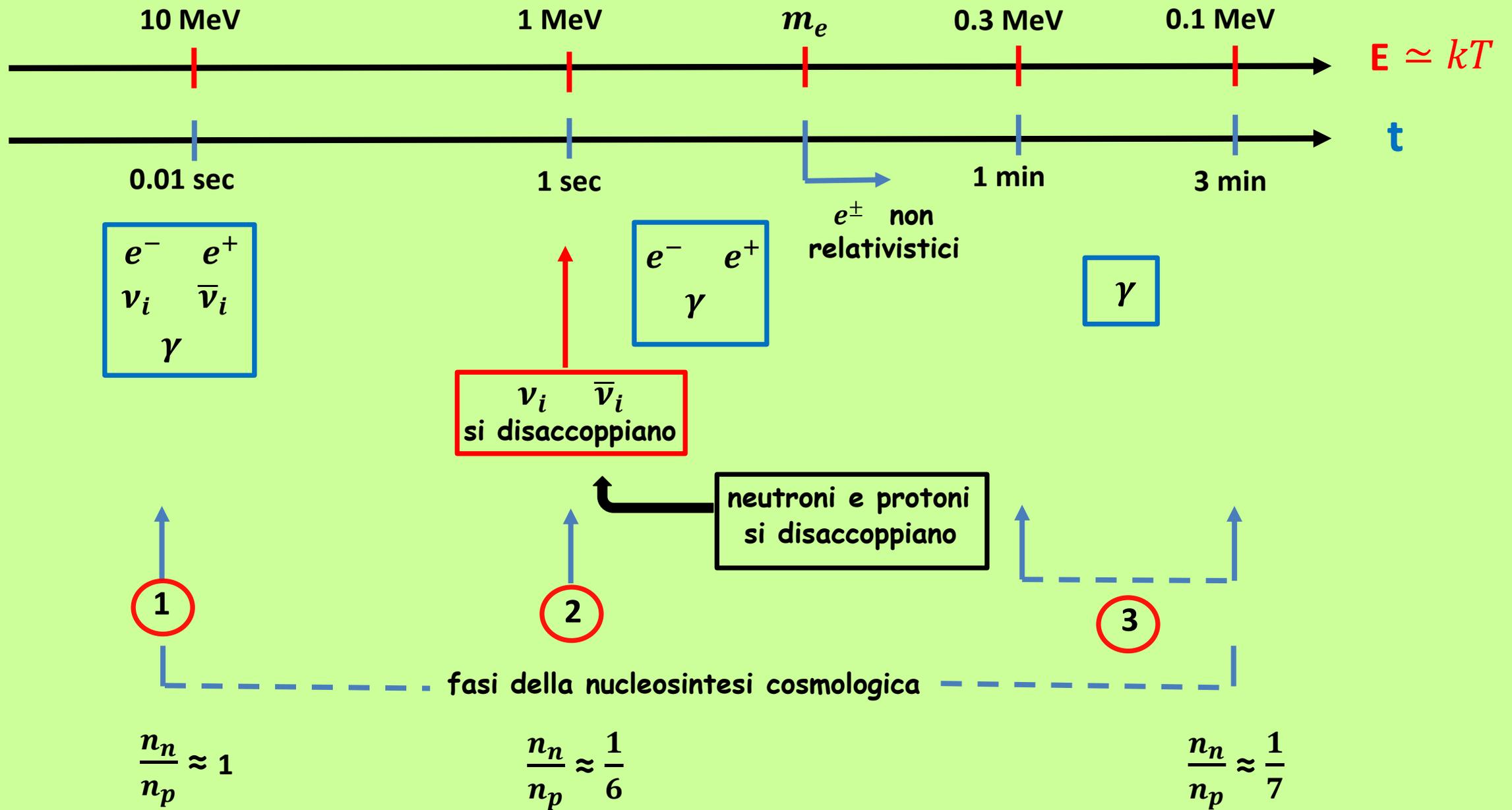
**combinazione con protoni per formare nuclei leggeri** mediante le reazioni:



La reazione  $p + n \rightarrow H^2 + \gamma$  è reversibile fino a quando  $T < \sim 0.1 \text{ MeV}$ , a causa di:

- **piccola energia di legame del deutone** ( $\sim 2.2 \text{ MeV}$ , ossia circa 1 MeV per particella; nel caso di  $He^4$ , energia di legame per particella circa 7 MeV)
- **densità fotonica** molto più grande di densità barionica





# nucleosintesi primordiale degli elementi leggeri: $H^2, He^3, He^4, Li^7$

PERIODIC TABLE  
Atomic Properties of the Elements

NIST  
National Institute of Standards and Technology  
Technology Administration, U.S. Department of Commerce

**Frequently used fundamental physical constants**  
For the most accurate values of these and other constants, visit [physics.nist.gov/constants](http://physics.nist.gov/constants)

1 second = 9 192 631 770 periods of radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of  $^{133}\text{Cs}$

c	299 792 458 m s <sup>-1</sup> (exact)
h	6.626 070 15 × 10 <sup>-34</sup> J s (exact)
e	1.602 176 634 × 10 <sup>-19</sup> C (exact)
m <sub>e</sub> c <sup>2</sup>	0.511 MeV
m <sub>p</sub>	1.672 6 × 10 <sup>-27</sup> kg
α	1/137.036
R <sub>∞</sub>	10 973 732 m <sup>-1</sup>
R <sub>∞</sub> c	3 289 842 × 10 <sup>15</sup> Hz
R <sub>∞</sub> hc	13 605 293 eV
k	1.380 7 × 10 <sup>-23</sup> J K <sup>-1</sup>

■ Solids  
■ Liquids  
■ Gases  
■ Artificially Prepared

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII	IX	X	XI	XII	IIIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA		
1	<b>H</b> Hydrogen 1.00794	<b>He</b> Helium 4.002602											<b>Li</b> Lithium 6.941	<b>Be</b> Beryllium 9.0122	<b>B</b> Boron 10.811	<b>C</b> Carbon 12.0107	<b>N</b> Nitrogen 14.00307	<b>O</b> Oxygen 15.9994	<b>F</b> Fluorine 18.9984032	<b>Ne</b> Neon 20.1797
2	<b>Li</b> Lithium 6.941	<b>Be</b> Beryllium 9.0122	<b>Na</b> Sodium 22.989770	<b>Mg</b> Magnesium 24.3050									<b>Al</b> Aluminum 26.981538	<b>Si</b> Silicon 28.0855	<b>P</b> Phosphorus 30.973761	<b>S</b> Sulfur 32.065	<b>Cl</b> Chlorine 35.453	<b>Ar</b> Argon 39.948		
3	<b>Na</b> Sodium 22.989770	<b>Mg</b> Magnesium 24.3050	<b>Al</b> Aluminum 26.981538	<b>Si</b> Silicon 28.0855	<b>P</b> Phosphorus 30.973761	<b>S</b> Sulfur 32.065	<b>Cl</b> Chlorine 35.453	<b>Ar</b> Argon 39.948												
4	<b>K</b> Potassium 39.0983	<b>Ca</b> Calcium 40.078	<b>Sc</b> Scandium 44.955910	<b>Ti</b> Titanium 47.867	<b>V</b> Vanadium 50.9415	<b>Cr</b> Chromium 51.9961	<b>Mn</b> Manganese 54.938044	<b>Fe</b> Iron 55.845	<b>Co</b> Cobalt 58.933200	<b>Ni</b> Nickel 58.9332	<b>Cu</b> Copper 63.546	<b>Zn</b> Zinc 65.409	<b>Ga</b> Gallium 69.723	<b>Ge</b> Germanium 72.64	<b>As</b> Arsenic 74.9216	<b>Se</b> Selenium 78.96	<b>Br</b> Bromine 79.904	<b>Kr</b> Krypton 83.80		
5	<b>Rb</b> Rubidium 85.4678	<b>Sr</b> Strontium 87.62	<b>Y</b> Yttrium 88.90585	<b>Zr</b> Zirconium 91.224	<b>Nb</b> Niobium 92.90638	<b>Mo</b> Molybdenum 95.94	<b>Tc</b> Technetium (98)	<b>Ru</b> Ruthenium 101.07	<b>Rh</b> Rhodium 102.90550	<b>Pd</b> Palladium 106.42	<b>Ag</b> Silver 107.8682	<b>Cd</b> Cadmium 112.411	<b>In</b> Indium 114.818	<b>Sn</b> Tin 118.710	<b>Sb</b> Antimony 121.760	<b>Te</b> Tellurium 127.6	<b>I</b> Iodine 126.905	<b>Xe</b> Xenon 131.29		
6	<b>Cs</b> Cesium 132.90545	<b>Ba</b> Barium 137.327	<b>Lanthanides</b>	<b>Hf</b> Hafnium 178.49	<b>Ta</b> Tantalum 180.9479	<b>W</b> Tungsten 183.84	<b>Re</b> Rhenium 186.207	<b>Os</b> Osmium 190.23	<b>Ir</b> Iridium 192.222	<b>Pt</b> Platinum 195.078	<b>Au</b> Gold 196.96655	<b>Hg</b> Mercury 200.59	<b>Tl</b> Thallium 204.3833	<b>Pb</b> Lead 207.2	<b>Bi</b> Bismuth 208.98038	<b>Po</b> Polonium (209)	<b>At</b> Astatine (210)	<b>Rn</b> Radon (222)		
7	<b>Fr</b> Francium (223)	<b>Ra</b> Radium (226)	<b>Actinides</b>	<b>Rf</b> Rutherfordium (261)	<b>Db</b> Dubnium (262)	<b>Sg</b> Seaborgium (266)	<b>Bh</b> Bohrium (264)	<b>Hs</b> Hassium (277)	<b>Mt</b> Meitnerium (268)	<b>Uun</b> Ununilium (281)	<b>Uuu</b> Ununium (272)	<b>Uub</b> Ununbium (286)	<b>Uuq</b> Ununquadium (289)	<b>Uuh</b> Ununhexium (294)	<b>Uuq</b> Ununquadium (289)	<b>Uuh</b> Ununhexium (294)	<b>Uuq</b> Ununquadium (289)	<b>Uuh</b> Ununhexium (294)		

Atomic Number: 58, Ground-state Level:  $1G_4^2$ , Symbol: **Ce**, Name: Cerium, Atomic Weight: 140.116, Ground-state Configuration:  $[\text{Xe}]4f5d6s^2$ , Ionization Energy (eV): 5.5387

Based upon  $^{12}\text{C}$ . () indicates the mass number of the most stable isotope. For a description of the data, visit [physics.nist.gov/data](http://physics.nist.gov/data)

non vengono prodotti nuclei più pesanti perché non esistono nuclei stabili con numeri di massa 5 e 8



Ralph Alpher, George Gamow e Robert Herman (fine '40)

## Radiazione cosmica a microonde (CMB)

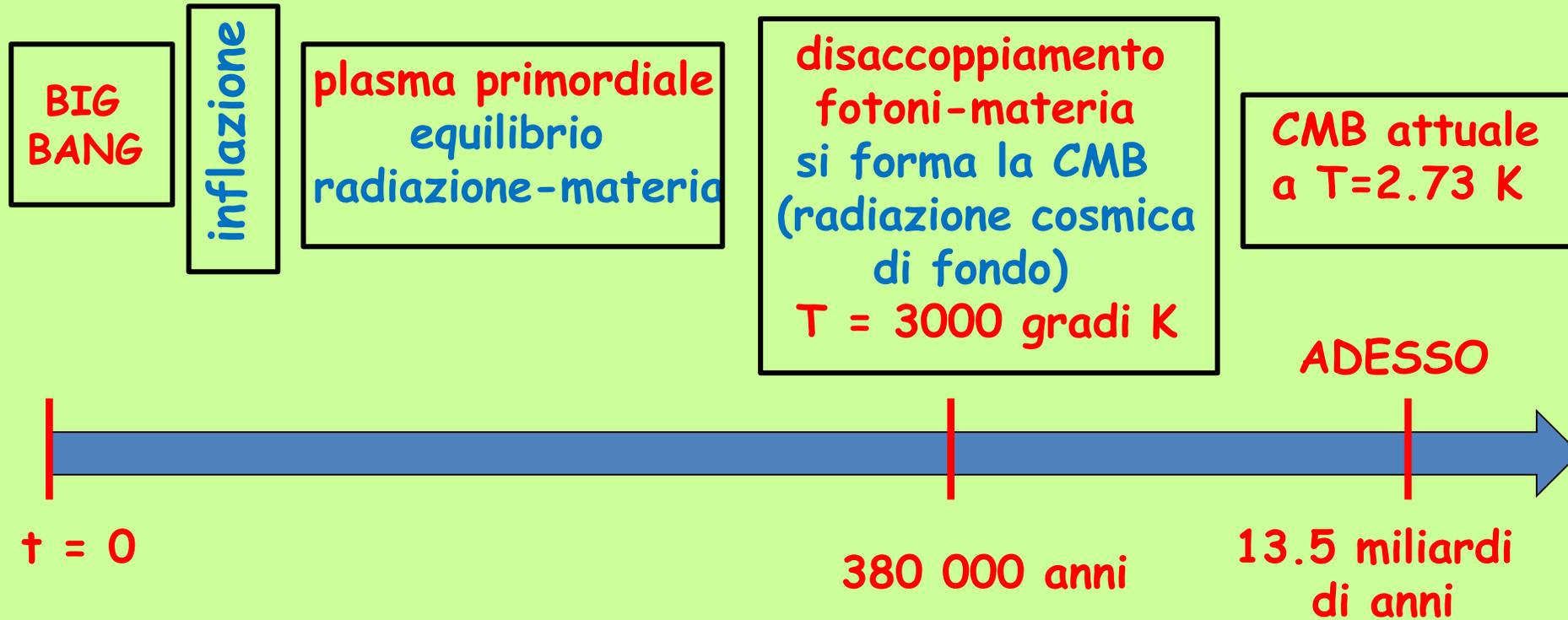
Nel plasma primordiale radiazione e materia interagiscono tra di loro, quindi la radiazione elettromagnetica presente nel plasma primordiale è **radiazione di corpo nero**.

Nel corso dell'espansione dell'Universo, il plasma primordiale di radiazione e materia si raffredda. A circa 380.000 anni dal Big Bang la temperatura scende a circa 3000 K.

**A questa temperatura i fotoni**, che prima erano in equilibrio con le particelle del plasma primordiale, **non interagiscono più con gli atomi di idrogeno e di elio**, e quindi diventano **fossili**.

Alla temperatura di 3000 K la radiazione è quella rappresentata dalla formula di Planck; nel corso dell'ulteriore espansione cosmica questa radiazione mantiene la forma caratteristica di radiazione di Planck, semplicemente degradandosi in temperatura, **fino a quella attuale di 2.73 K**.

## Evoluzione del cosmo in espansione



Nel plasma primordiale radiazione e materia interagiscono tra di loro, quindi la radiazione elettromagnetica presente nel plasma primordiale è **radiazione di corpo nero**.

## Breve cronistoria della scoperta della CMB

Fine Anni '40: **George Gamow e collaboratori osservano che il modello del Big Bang implica l'esistenza di una radiazione di fondo cosmico.** Ralph Alpher e Robert Herman calcolano che la CMB deve avere attualmente una temperatura di circa 5 K.

La comunità scientifica ignora questi risultati e non predispose quindi esperimenti atti a misurare la CMB. "This work was largely forgotten in subsequent decades, until in 1965 a group at Princeton started to search for ..." (S. Weinberg: *Cosmology*, Oxford University Press (2008))

Solo nel 1965 un gruppo di Princeton si appresta a misurare questa radiazione. Però indipendentemente da questo progetto **Arno Penzias e Robert Wilson (1965)** nel loro radiotelescopio trovano un rumore di fondo "ineliminabile" alla lunghezza d'onda di 7.5 cm.

Penzias e Wilson furono insigniti del premio Nobel per la Fisica nel 1978.

Per misurare la struttura "alla Planck" della radiazione è necessario fare **misure fuori dell'atmosfera terrestre**.

**Cosmic Background Explorer Satellite (COBE)**

satellite lanciato nel 1989 - orbita a circa 900 km dalla Terra

La radiazione misurata **è rappresentata perfettamente** dalla formula di Planck. Premio Nobel 2006 a J.C. Mather e G.F. Smoot

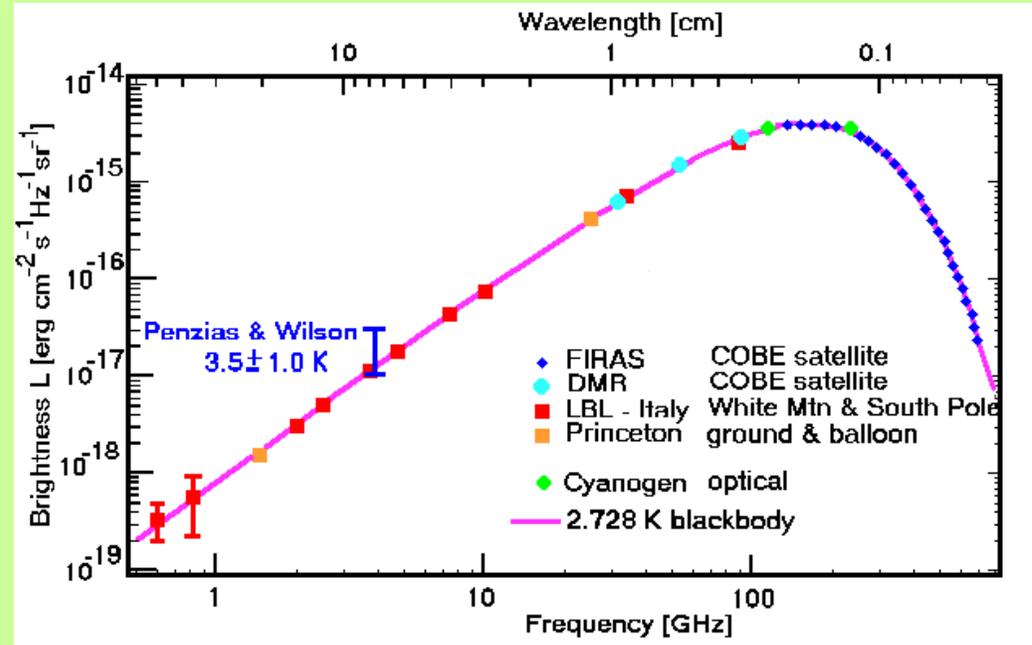
Satellite WMAP (2003-2012)

**Satellite Planck** (2009- , , ,) nel punto di Lagrange L2 a 1.5 milioni di km dalla Terra

## Intensità della CMB misurata da COBE

lunghezza d'onda in cm

energia per unità  
di superficie, unità  
di tempo, unità di  
frequenza, per  
steradiante



frequenza in GHz

I dati sperimentali **in perfetto accordo con la formula di Planck** calcolata alla temperatura di 2.728 K

Quando questi dati vennero mostrati ad una conferenza della American Astronomical Society nel gennaio del 1990 vi fu una **standing ovation**

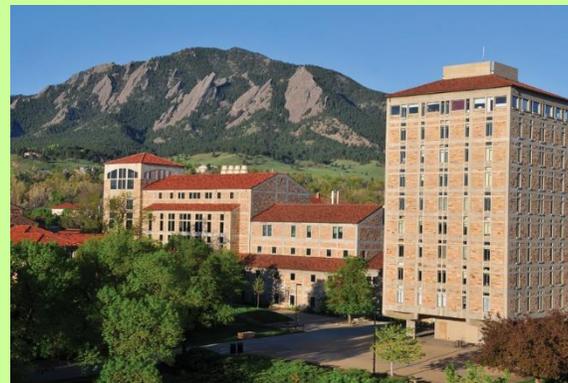
Nel 1953 Gamow rimane molto colpito dai **risultati di Francis Crick e James Watson sulla struttura a doppia elica del DNA**. Per un paio d'anni, tra il 1953 e il 1955, studia il problema di **come il codice genetico del DNA, immagazzinato in una sequenza di quattro "basi": adenina, guanina, timina e citosina, venga tradotto in una sequenza di venti aminoacidi che costituiscono le proteine**. Gamow è affascinato dall'aspetto matematico del problema e, nonostante le sue basi di biologia siano molto rudimentali, pubblica anche una sua soluzione del problema. **L'idea è elegante, ma il seguito della storia mostrerà che la natura segue altre vie**. L'approccio di Gamow ebbe comunque un'influenza importante negli sviluppi successivi di questa linea di ricerca.

**Nel 1956** si trasferisce dalla **GWU all'Università del Colorado a Boulder**.

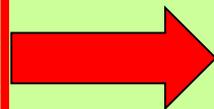
Tema delle ultime ricerche quello delle **possibili variazioni di costanti fondamentali**.

Seri problemi di salute collegati con l'alcol e il fumo lo conducono ad una morte prematura nell'agosto del 1968.

A Boulder un edificio dell'Università gli è dedicato: la **Gamow Tower**



La targa in bronzo alla George Washington University sintetizza bene gli straordinari risultati scientifici ottenuti da George Gamow



George Gamow  
Professor Of Physics  
at The George Washington University  
from 1934 to 1956

Gamow (1904-1968) is renowned for developing the "Big Bang Theory" of the universe (1948); explaining nuclear alpha decay by quantum tunneling (1928); describing, with Edward Teller, spin-induced nuclear beta decay (1936); pioneering the liquid-drop model in nuclear physics (1928); introducing the "Gamow" factor in stellar reaction rates and element formation (1938); modeling red giants, supernovae, and neutron stars (1939); first suggesting how the genetic code might be transcribed (1954); and popularizing science through a long series of books, including the adventures of "Mr. Tompkins" (1939-1967)

This plaque is placed in honor of their colleague George Gamow  
by the  
Physics Department  
of  
The George Washington University

April 2000

The  
George  
Washington  
University  
WASHINGTON DC

I contributi di George Gamow alla fisica delle particelle, alla fisica nucleare, all'astrofisica e alla cosmologia non hanno ricevuto, nel corso della storia, tutto il riconoscimento che avrebbero meritato.

In particolare i contributi di George Gamow e Collaboratori (Alpher e Herman) alla cosmologia dell' Hot Big Bang sono stati spesso sottovalutati.

Questo fatto causò grande contrarietà soprattutto da parte di Alpher e Herman, che nel corso di molti anni rivendicarono giustamente la priorità dei loro lavori nella nucleosintesi primordiale degli elementi leggeri e nella CMB.

A rivalorizzare i loro lavori contribuì molto il libro divulgativo *The First Three Minutes* (1977) di Steve Weinberg, il quale, come commentarono amaramente Alpher e Herman, si prese la briga di leggere i lavori originali.

Ma la storia continua. Si veda, per esempio, la versione popolare della motivazione per il premio Nobel per la Fisica 2019

## Big Bang cosmology begins

The last five decades have been a golden age for cosmology, the study of the universe's origin and evolution. In the 1960s, a foundation was laid that would shift cosmology from speculation to science. The key person in this transition was James Peebles, whose decisive discoveries put cosmology firmly on the scientific map, enriching the entire field of research. His first book, *Physical Cosmology* (1971),

con buona pace per chi, con un anticipo di 15 anni, aveva calcolato il rapporto idrogeno/elio della nucleosintesi primordiale e predetto la CMB a qualche grado K !

**Qualche suggerimento per approfondimenti:**

**George Gamow: La mia linea di Universo. Un'autobiografia informale, Edizioni Dedalo (2008)**

**Eamon Harper: George Gamow, scientific amateur and polymath, Physics in Perspective, 3 (2001) 335**

**<https://calisphere.org/item/3d077a4deb9c7f5ad5545609448566e7/>**

**R.A. Alpher and R. Herman: Reflections on early works on 'Big Bang' cosmology, Physics Today (August 1988) 24**

**Steven Weinberg: I primi tre minuti, Mondadori Editore (1977)**