

BOHR 1913

A. PIAZZOLI

MENU'

1. CENNI BIOGRAFICI
2. L' ATOMO NEL 1912
3. "LA GRANDE TRILOGIA"
4. DOPO LA TRILOGIA
5. LA NUOVA MECCANICA QUANTISTICA
6. LA GUERRA
7. IL GIALLO

1 – CENNI BIOGRAFICI

- Niels Henrik David Bohr nasce a Copenhagen il 7 ott. 1885
- Secondo genito di Ellen Adler e di Christian Bohr (Jenny, Niels, Harald)
- Il padre è un fisiologo in odore di Nobel nel 1907/8 (“Effetto Bohr”, “Coefficiente di Bohr”)
- Harald calciatore (anche in nazionale) e anche Niels discreto portiere
- La madre leggeva ai figli le favole di Andersen e il padre teneva riunioni scientifiche-filosofiche in casa: i figli partecipano affascinati
- Si iscrive all’Università nel 1903
- Nel 1907 vince un concorso per una ricerca sperimentale sulle vibrazioni di un... getto d’acqua.



anno IV, n. 23,
novembre 2001

LE SCIENZE
SCIENTIFIC
AMERICAN

i grandi della scienza

NIELS BOHR

dall'alba
della fisica
atomica
alla big
science

di Giulio
Peruzzi



SPED. IN ABB. POST. - 45% COMMA 2010 LEGGE 662/96 - FILIALE DI MILANO



Rayleigh aveva dimostrato che, quando un getto di liquido esce da un tubo cilindrico di sezione circolare, la sua superficie laterale vibra. Nel 1906 il giovane Bohr si dedica con passione allo studio di questo problema per partecipare a un concorso indetto dall'Accademia danese delle scienze.

Non se ne occuperà più ma.... “Il modello a goccia”

- Si dottora nel 1911 con la tesi “Studi sulla teoria elettronica dei metalli” e si fidanza con Margrethe Nørlung. Avranno 6 figli: il primogenito morirà in un incidente sulla loro amatissima barca. Aage sarà Nobel per la Fisica nel 1975.
- Nel 1912 Bohr si...avvicina all'atomo. In seguito dirà: “Appena vidi la formula di Balmer tutto mi sembrò immediatamente chiaro”

Passa 6 mesi a Manchester con Rutherford e Darwin (il nipote!)

2 – L'ATOMO NEL 1912

- Non si era ancora ben sicuri che l'atomo di H contenesse un solo elettrone.
- La formula di Balmer (pura numerologia), è la seguente:

$$\nu_{nm} = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

n, m interi con $n < m$

R costante di Rydberg = $3.29 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$

Con $n=2$ e $m=3,4,5,6$ si spiegano le 4 righe dell'H scoperte da Ångstrom

- Nel 1910 A.E. Haas aveva proposto $h\nu = \frac{e^2}{r}$ che lega le frequenze emesse (ν) con i raggi delle orbite corrispondenti (r).
- Al primo Congresso Solvay, organizzato da Nernst nel 1911, era nato un problema molto concettuale:
 e, r, ν determinano h o viceversa?

3 – “LA GRANDE TRILOGIA”

- Nel 1913 Bohr pubblica tre lavori con lo stesso titolo: “On the constitution of atoms and molecules” sul “Philosophical Magazines”. Il primo in luglio, il secondo in settembre, il terzo in novembre.

- L' ATOMO DI BOHR:

- $$E_{TOT} = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

- HP quantizzazione momento angolare:

$$L = n\hbar \quad (\text{oggi sappiamo: } L = \sqrt{l(l+1)}\hbar)$$

- Da $\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \rightarrow \frac{(mvr)^2}{mr} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}$

cioè $L = mvr = \sqrt{\frac{mre^2}{4\pi\epsilon_0}} = n \frac{h}{2\pi}$

d'onde: $r = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2}$

e allora: $E_{TOT} = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$

Tra due stati stazionari $n = a$, $n = b$:

$$\Delta E_{a,b} = h\nu (= \frac{hc}{\lambda}) \rightarrow \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{b^2} - \frac{1}{a^2}\right)$$

che è poi la Balmer

Due note

- Questa R è quella di Balmer divisa per c e vale $1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$
- Quello qui presentato non è il metodo di quant. originale di Bohr, ma lui stesso lo suggerì in seguito.
- Bohr spiega brillantemente la formula (numerologica) di Pickering:

$$\nu_m = R_H \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{(m/2)^2} \right)$$

IDROGENO

relativa allo spettro della stella Puppis e che sembrava implicare un n° quantico semintero ($m/2$).

Bohr la riscrive

$$\nu_m = 4R_H \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

e ... voilà: è lo spettro dell' He ionizzato!

Infatti $R_{He} = 4R_H$ ($Z^2 = 4$)

- Ma Fowler studia in lab. lo spettro dell'He ionizzato e gli viene $R_{He} / R_H \approx 4.0016$.

Allora Bohr rifa i calcoli senza trascurare la massa dell'elettrone: 4.00163!

- Quando Einstein lo seppe, disse:
“Allora le frequenze della luce sono del tutto indipendenti da quelle degli elettroni. La teoria di Bohr deve allora essere giusta”.
- La trilogia evidenzia anche l'origine nucleare, non atomica, del decadimento β^-
- L'accoglienza della trilogia fu ottima, ma non a Gottinga, dove Hilbert la definì “Una proposta scandalosa”: Bohr stesso riconosceva l'assenza di fondamenti teorici.

THE
LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN
PHILOSOPHICAL MAGAZINE
AND
JOURNAL OF SCIENCE.

[SIXTH SERIES.]

JULY 1913.

I. *On the Constitution of Atoms and Molecules.*
By N. BOHR, Dr. phil. Copenhagen*.

Introduction.

IN order to explain the results of experiments on scattering of α rays by matter Prof. Rutherford† has given a theory of the structure of atoms. According to this theory, the atoms consist of a positively charged nucleus surrounded by a system of electrons kept together by attractive forces from the nucleus; the total negative charge of the electrons is equal to the positive charge of the nucleus. Further, the nucleus is assumed to be the seat of the essential part of the mass of the atom, and to have linear dimensions exceedingly small compared with the linear dimensions of the whole atom. The number of electrons in an atom is deduced to be approximately equal to half the atomic weight. Great interest is to be attributed to this atom-model; for, as Rutherford has shown, the assumption of the existence of nuclei, as those in question, seems to be necessary in order to account for the results of the experiments on large angle scattering of the α rays‡.

In an attempt to explain some of the properties of matter on the basis of this atom-model we meet, however, with difficulties of a serious nature arising from the apparent

* Communicated by Prof. E. Rutherford, F.R.S.

† E. Rutherford, Phil. Mag. xxi. p. 669 (1911).

‡ See also Geiger and Marsden, Phil. Mag. April 1913.

Il primo articolo
della "trilogia"

3. N. Sæviegade
Copenhagen
March, 26, 1913

Dear Prof. Rutherford,

I thank you very much
for your kind letter. I am very
thankful for the interest you have
taken in my paper and your
kind advice to try to make it
shorter; certainly I shall be very
glad for any alteration you may
consider suitable, but I am sorry
to cause you so much trouble.

days before I received
it, I had sent you a
copy of my paper (still longer)
I have introduced certain
which may throw some light
on the ~~subject~~ ^{subject} mentioned
in your letter.

As I just now have holidays,
I have decided to come ^{over to} Man-
chester in the first days of next
week. ^{I had found with the greatest pleasure}
~~to see you again~~ ^{to see you again} ~~concerning the paper and perhaps~~
~~to get opportunity to speak with~~
~~you about different questions.~~

Once more expressing my thanks
for your kind letter.
Yours very sincerely
M. Bohr

Lettera
autografa
di Bohr a
Rutherford

Hydrogen

[H]



$$\text{Central force} = \frac{e^2}{r} = 1$$

He



$$\frac{e^2}{4a^2} = 2 \cdot \frac{e^2 a}{(a^2 + a^2)^2} \quad r = a\sqrt{3}$$

$$\text{Central force} = 2 \cdot \frac{e^2 a}{(a^2 + a^2)^2} - \frac{e^2}{a^2} = \frac{e^2}{a^2} \left(\frac{3\sqrt{3}}{4} - \frac{1}{2} \right) = \frac{e^2}{a^2} \cdot 1.049$$

Helium

He



$$\text{Central force} = \frac{2e^2}{r} = \frac{e^2}{a^2} = \frac{e^2}{a^2} \cdot 1.75$$

[He₂]



$$\frac{4e^2}{4a^2} = 4 \cdot \frac{2e^2 a}{(a^2 + a^2)^2} \quad r = a\sqrt{3}$$

$$\text{Central force} = 2 \cdot \frac{2e^2 a}{(a^2 + a^2)^2} - \frac{e^2}{a^2} = \frac{e^2}{a^2} \left(\frac{3\sqrt{3}}{2} - \frac{3.828}{4} \right) = \frac{e^2}{a^2} \cdot 1.641$$

If we put the force equal to $\frac{e^2 X}{a^2}$ we get


[H]	He	He	[He ₂]
1	1.049	1.75	1.641

4 – DOPO LA TRILOGIA

- Nel 1913 è incaricato (a Copenhagen) di “Fisica per medici”, ma non gli piace e poco dopo ci rinuncia.
- Dal ‘14 al ‘16 ancora a Manchester: con Sommerfeld perfeziona il suo modello introducendo orbite ellittiche: “Modello di Bohr-Sommerfeld” (solo per atomi idrogenoidi). Introduce altri due numeri quantici: l, m (Effetto Zeeman)
- Torna a Copenhagen nel ‘16 e ricopre l’appena istituita cattedra di Fisica Teorica.
- Tra il ‘18 e il ‘22 pubblica “Sulla teoria quantistica degli spettri a righe” e mette a punto “il principio di corrispondenza”, “il principio adiabatico” e “le regole di selezione”.

- Il 3 marzo 1921 nasce finalmente l' "Institut For Teoretisk Fysik" di Copenhagen, sponsorizzato dal birrificio Carlsberg: diventa subito un cenacolo e poco dopo la celebre "Scuola di Copenhagen" ("Kopenhagener Geist")
- Nel '22 nel lungo articolo "La struttura dell'atomo e le proprietà chimiche degli elementi" giustifica il sistema periodico, compresi i "lantanidi" e gli "attinidi". Prevede anche i "transuranici" fino a $Z=118$
- Sempre nel '22 tiene a Gottinga 7 celebri "lezioni" (duravano un pomeriggio).
Tra gli allievi: Sommerfeld, Ehrenfest, Landé, Pauli e un giovanissimo Heisenberg.
Il ciclo di lezioni fu denominato "Bohr Festival".


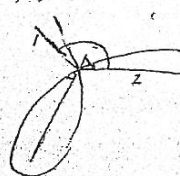
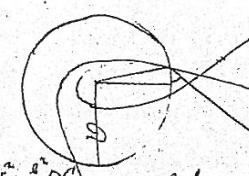
- Nel 1922: NOBEL
- E' del '24 la "Teoria BKS" (Bohr - Kramer - Slater) con il lavoro "The Quantum Theory of Radiation" che prelude alla nuova meccanica quantistica.



$h\nu = E_2 - E_1$ $2\pi m v = n \frac{h}{\lambda}$ $r = \frac{m v r}{k e^2}$	θ	θ	θ	θ	θ
$2\pi m v r = n h$ $r = \frac{n h}{2\pi m v}$	θ	θ	θ	θ	θ

$f_{\text{rot}} = \frac{v}{2\pi r}$ $f_{\text{orb}} = \frac{v}{2\pi r}$
 $f_{\text{rot}} = \frac{v}{2\pi r}$ $f_{\text{orb}} = \frac{v}{2\pi r}$
 $f_{\text{rot}} = \frac{v}{2\pi r}$ $f_{\text{orb}} = \frac{v}{2\pi r}$
 $f_{\text{rot}} = \frac{v}{2\pi r}$ $f_{\text{orb}} = \frac{v}{2\pi r}$
 $f_{\text{rot}} = \frac{v}{2\pi r}$ $f_{\text{orb}} = \frac{v}{2\pi r}$
 $f_{\text{rot}} = \frac{v}{2\pi r}$ $f_{\text{orb}} = \frac{v}{2\pi r}$

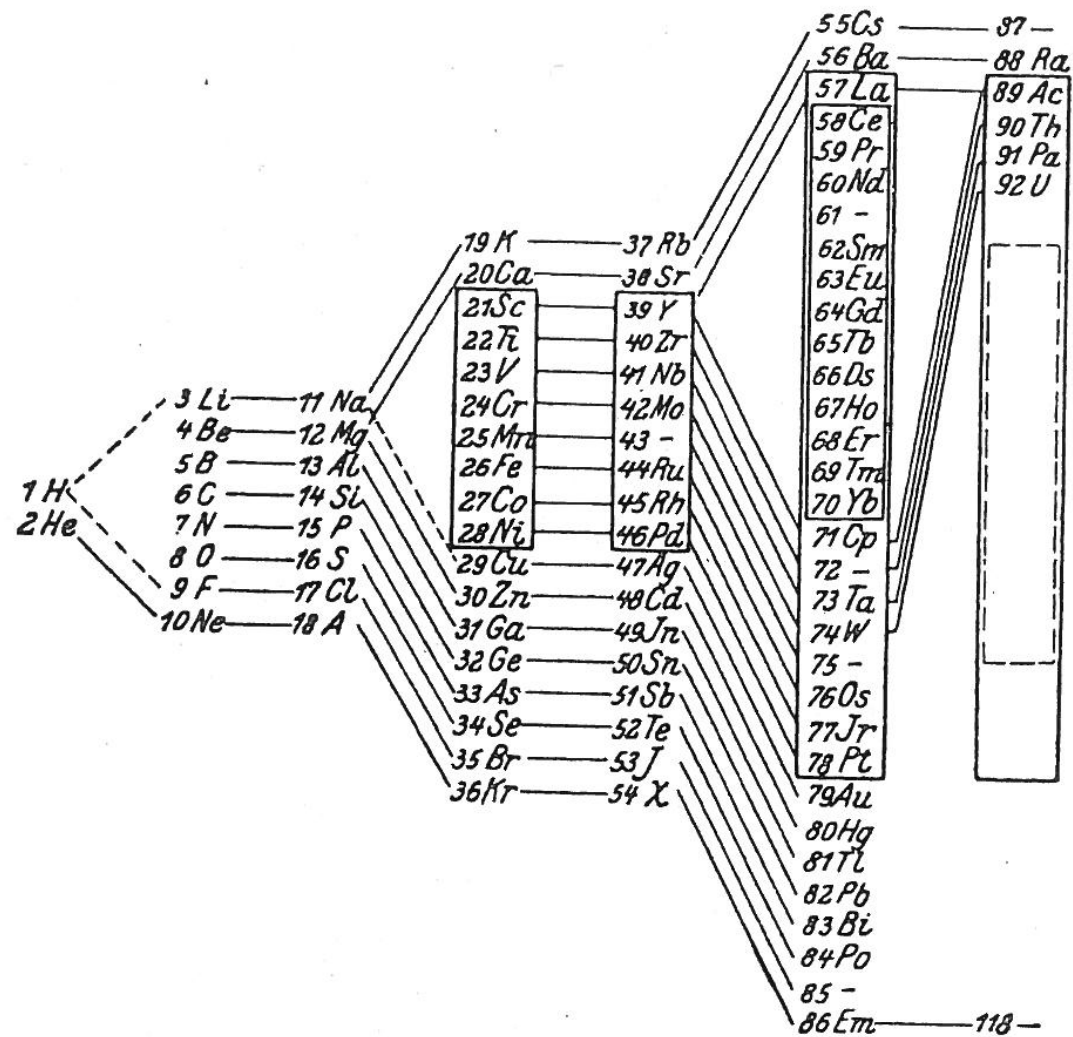
Periodic system
 H
 He Li Be B C N O F
 Ne Na Mg Al Si P S Cl
 Ar K Ca ...

$4 \arcsin \frac{a}{R}$
 $4 \arcsin \frac{a}{R}$
 $4 \arcsin \frac{a}{R}$

$a r m = h \frac{1}{2\pi}$ $\frac{1}{2} m v^2 = \frac{e^2}{R}$ $a = \frac{h}{m v}$
 $v^2 = \frac{e^2}{m a}$ $a = \frac{h^2}{m v}$
 $a^2 = \frac{h^2}{m^2 v^2}$ $a^2 = \frac{e^2}{m^2} \frac{a}{R}$

Appunto originale di Bohr



Il sistema periodico, nella versione messa a punto da Bohr.

5 – LA NUOVA MECCANICA QUANTISTICA

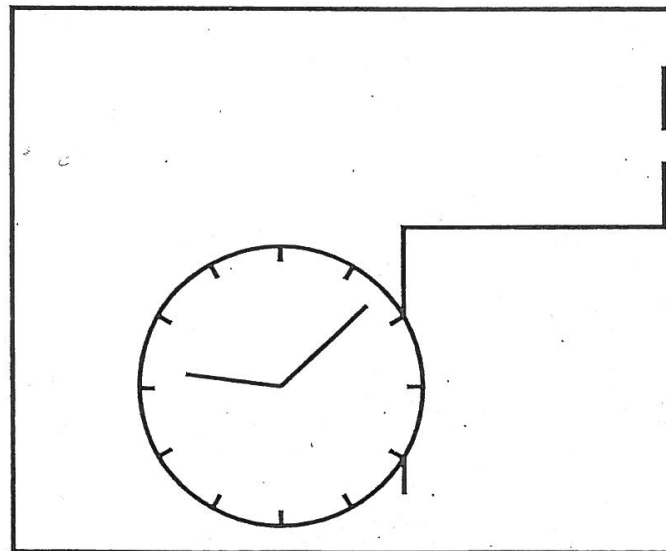
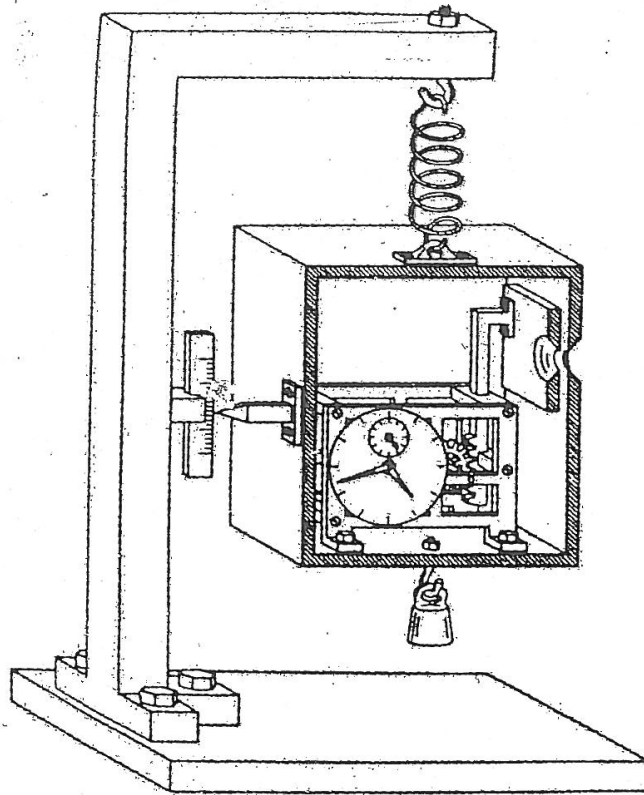
- Delle matrici (Heisenberg)
- Ondulatoria (Schrödinger)
- Sintesi di Dirac

- $\lambda = \frac{h}{p}$ è del '23

il pr. di esclusione del '25

il pr. d'indeterminazione del '27

- Il Congresso di Como ('27):
 - si trasferisce a Pavia e poi a Roma (ricevuto dal “Duce” a Villa Torlonia)
 - Einstein è assente
 - Bohr presenta “il Pr. di complementarità”
 - Ancora nel '27 si svolge il V Congresso Solvay:
dibattito Einstein-Bohr sul problema della...sveglia



La “SVEGLIA” di Einstein V Congresso Solvay - 1927

DISEGNI DI BOHR

Bohr: “Einstein ha dimenticato una cosa: la Rel. Gen.”

- Nel '32 viene assegnata a Bohr (per tutta la vita) la sontuosa residenza onoraria Carlsberg. Qui e nella sua casa al mare di Tisvilde saranno ospiti molti fisici illustri per interminabili discussioni scientifiche.
- Del '35 è il “Paradosso EPR” (Einstein – Podolsky – Rosen) con un articolo sul PR intitolato: “Can QM description of Physical reality be considered complete?”
Bohr replica in un articolo con lo stesso titolo (Enteglement... Teletrasporto...)
- Nel '36 affronta la fisica del nucleo, in particolare la cattura risonante di neutroni lenti, spiegata col “Modello a goccia”.

- Con Wheeler spiega la fissione, ancora col modello a goccia, e capisce che non è U238 a fissionare, ma U235.
- A partire dal '35 diventa anche... filosofo. Vuole estendere il “Pr. di complementarità” a biologia, psicologia, antropologia e persino alla linguistica.
Pubblica vari libri, tra i quali “Luce e Vita”.

6 – LA GUERRA (E DOPO)

- Il 9 apr. '40 la Danimarca è occupata dai tedeschi
- Nell' ott. 1941 il celebre e tanto discusso incontro con Heisenberg, di cui si dirà
- Il 29 sett. '43 emigra in Svezia e poi in GB. Rientrerà in Danimarca il 25 ag. '45
- Il 9 giugno '50 “Lettera aperta” (pacifista) alle Nazioni Unite (scarsa risonanza)
- Tra i fondatori del Cern (15 feb. '52) e primo direttore della divisione teorica
- Muore il 18 nov. '62 nella sua residenza onoraria
- La “Biografia di Bohr” di Abraham Pais finisce con due versi di Andersen

SNIP, SNIP, SNUDE
SAAER HISTORIEEN UDE.

7 – IL GIALLO

- “COPENHAGEN”
commedia di Michael Frayn 1998
basata sul libro “La guerra di Heisenberg” di
Thomas Power ((1993)

Contenuto (storia e fiction):

...”incertezza” in fisica e in etica

Heis. sabotatore della bomba A tedesca (ma
senza tradire la sua patria)

anno III, n. 17,
novembre 2000

LE SCIENZE
di Scienze della Terra
SCIENTIFIC
AMERICAN

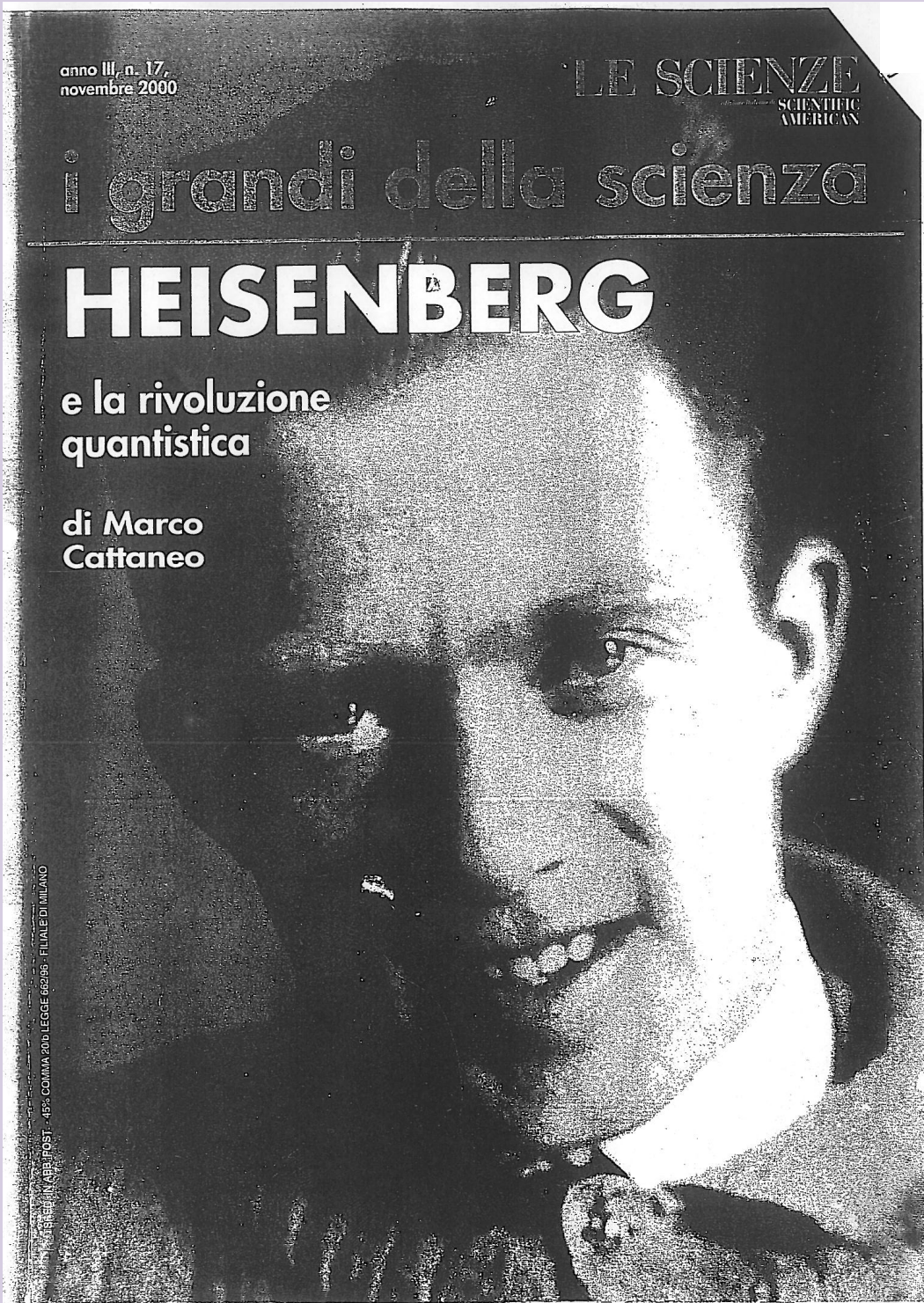
i grandi della scienza

HEISENBERG

e la rivoluzione
quantistica

di Marco
Cattaneo

STAMPATO IN ABB. POST. - 45% COMMA 2016 LEGGE 662/96 - FILIALE DI MILANO





NIELS BOHR

1885 - 1962



WERNER HEISENBERG

1901 - 1976

- L'idea del sabotaggio origina da una lettera di Heis. a Robert Jungk che la pubblica in "Gli apprendisti stregoni"

E' questa lettera che nomina "LA PASSEGGIATA" avvenuta (secondo Heis.) nell'ott. '41 a Copenhagen occupata dai tedeschi.

Vi partecipano: Heisenberg - Bohr – Margrethe (moglie di Bohr) – Weizsäcker (troppo vecchio!)

Cosa si sono detti?

Secondo Heis.:

consigli su come sottrarsi al compito di realizzare la bomba A tedesca.

Ma il 6 feb. 2002, con 10 anni di anticipo sul previsto, gli eredi di Bohr pubblicano una sua lettera ad Heis., del 1957 ma mai spedita (Heis. era morto nel '76)

Questa lettera smentisce clamorosamente la versione di Heis. che avrebbe proposto a Bohr di collaborare anche lui per una bomba A tedesca: Hitler avrebbe sicuramente vinto la guerra!

Heisenberg filonazista?

- Nel '33 rifiuta un incontro con docenti nazi
- Inimicizia con Stark e Lenard (nazisti dichiarati!)
- Ma in seguito si avvicina al potere e diventa influente (la madre era amica della madre di Himmler).
- Nel '44 il fisico Samuel Goudsmit si rivolge a lui per salvare i genitori ebrei deportati ad Auschwitz: un debole e non convincente intervento non servirà a niente!
- Nel '45 rinchiuso dagli alleati nella prigione (dorata!) di Farm Hill
- Il 6 agosto è sbalordito da Hiroshima, ma rivela una inaspettata competenza sulla bomba ad altri fisici prigionieri. Era stato membro del "Club dell'Uranio" e aveva fatto stime grossolanamente errate sulla fattibilità della bomba. "Volutamente" errate?

Ma cosa si saranno detti B. e H. il 16 sett. 1941?
Non sono nemmeno d'accordo sulla data e sul
luogo dell'incontro!