IN VIAGGIO CON LA FISICA NUCLEARE E DINTORNI

- RAR 90 – 4/7/2017
- 1952 – 2017
- **IT'S A LONG WAY TO TIPPERARY**

Preparativi:

- *Pisa 1950 Università. Laurea in fisica* (teorica) «Sull'allargamento per pressione delle righe spettroscopiche» (T.Derenzini)
- *Pisa 1951 SNS Diploma: «Sulla componente energetica dei raggi cosmici»* (M.Conversi)

1951 VIAGGIO A PARIGI (borsa SNS)

(Stazione di rifornimento)

COLLEGE DE FRANCE (Louis De Broglie)

(M.Destouches. *Mécanique ondulatoire des systèmes des corpuscules.)*

ECOLE POLITECHNIQUE (Frédéric Joliot)

(*Radioactivité expérimentale*,*Fission nucléaire*)

Strumenti teorici e sperimentali : ferri del mestiere.

1952 -1959 (*)

TORINO – POLITECNICO (Eligio Perucca)

RADIOATTIVITA' (β e ɣ); contatori a scintillazione: naftalene,stilbene,antracene, Ioduri di Sodio

NaI(Tl)

Prima pubblicazione: *R.A.Ricci e G.Trivero:"Revision of the β-ray spectrum of ^{214}Bi(RaC)"* Il Nuovo Cim. I,1955,p.717

cfr: id.id."Sullo schema di decadimento del ^{214}Bi " Il Nuovo Cim. Serie X, vol.2, 1955,p.745

Spettri β con cristalli di naftalene,stilbene, spettri ɣ con NaI(Tl) Harshaw; + FM RCA 931A,1121, DuMont 6291,6292.

(*) (Incursioni Amsterdam 1954-1956)

APPARATI SPERIMENTALI E SPETTRI β

Analisi da curve di assorbimento

Coincidenze β-γ (scintill.)

- Schemi di decadimento e livelli energetici….
- Es. 214Bi(β,γ)214Po Fig.1.

Curve di assorbimento : Kurie-plots; transizioni β e livelli del 214Po

FIG.1: a)Apparato misura RT1; b) dec.β Bi-Po (γ).

a

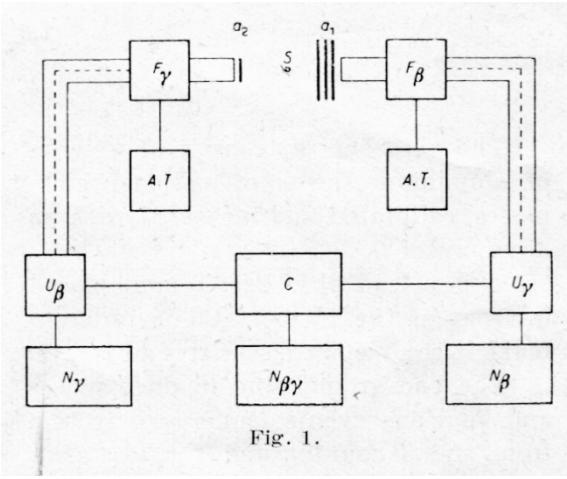


Fig. 1.

b

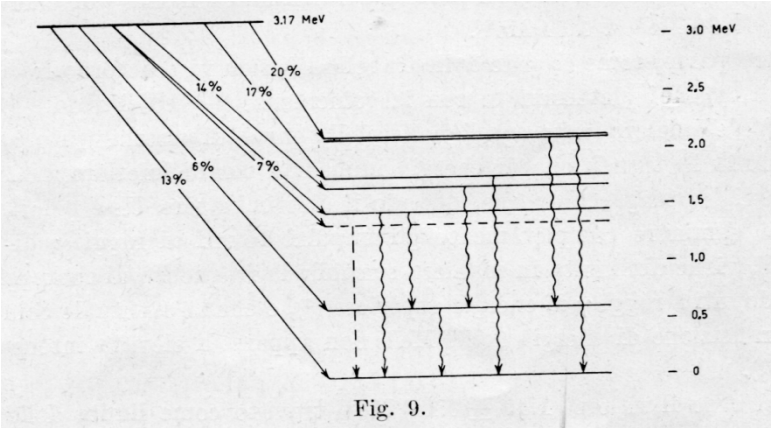


Fig. 9.

ANALISI SPETTRO β ^{214}Bi

a) Curva di assorbimento

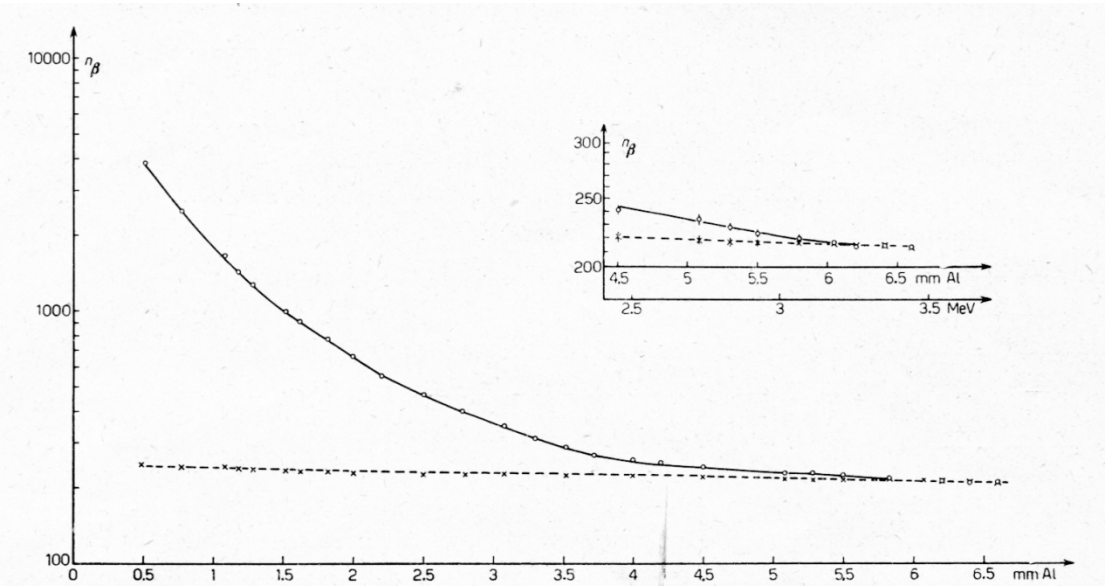


Fig. 2. – (n_β, eventi al secondo).

b) Kurie Plot (*ennesime potenze*)

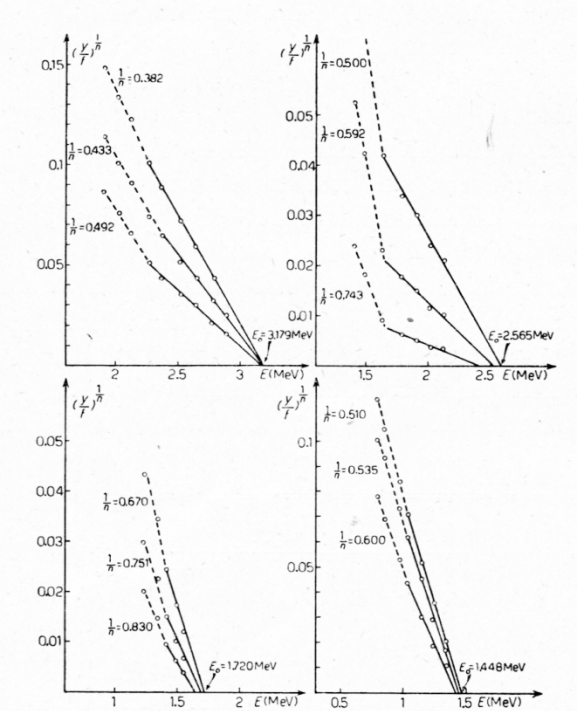


Fig. 4.

SPETTROMETRIA A SCINTILLAZIONE

- Performance di uno spettrometro beta a scintillazione(antracene 2.5x1.3 cm) + Du Mont 6292 + single channel an.)

- *R.A.R. Physica, 23,1957,p.693 (cfr. Cowan, Reines, neutrino; conv.el.K 207Bi)*

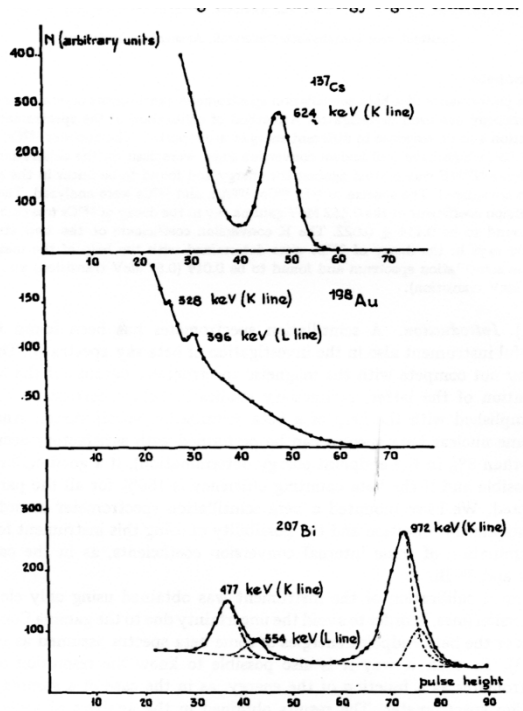


Fig. 1. Electron and conversion spectra of ^{137}Cs, ^{198}Au and ^{207}Bi, as obtained with the scintillation spectrometer.

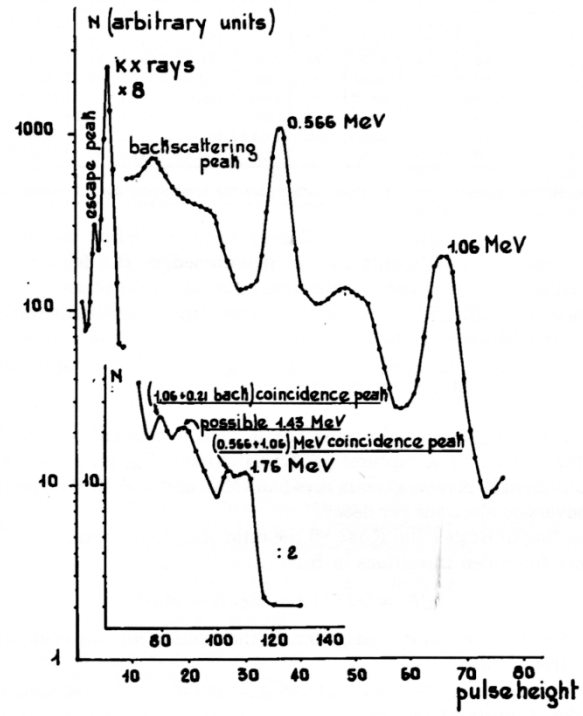


Fig. 9. Gamma scintillation spectrum of ^{207}Bi.

The relative intensities of the gamma and K X rays were computed from the areas under the photopeaks taking into account the efficiency curve of the crystal, which was determined experimentally by Wapstra [10]). For the K X rays the contribution due to the escape peak was taken into account. This contribution of 9% is in very good agreement with the data of Axel for an intermediate geometry [11]).

Spettrometria gamma a scintillazione

Determinazione efficienza e taratura energia («poor man technique»)

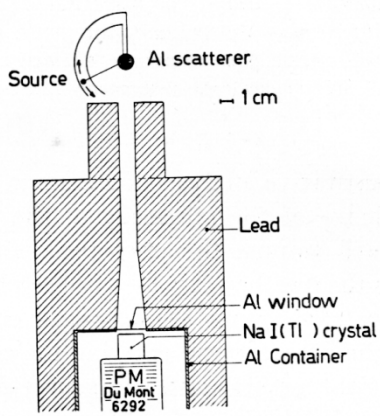


Fig. 1. Experimental apparatus.

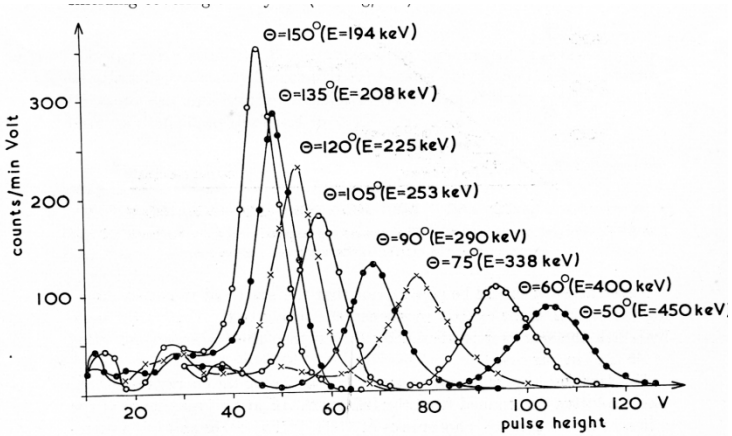


Fig. 2. Experimental spectra of the different scattered radiations at various scattering angles θ, for a 2×2 cm NaI(Tl) crystal and a distance source detector of 20 cm. Primary gamma rays of 662 keV (^{137}Cs).

The gamma spectra were analyzed at different values of θ. Fig. 2 shows these spectra obtained for $\theta = 50°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°$ and $150°$; the corresponding energies:

$$E = \frac{E_0}{1 + E_0(1 - \cos\theta)/mc^2},$$

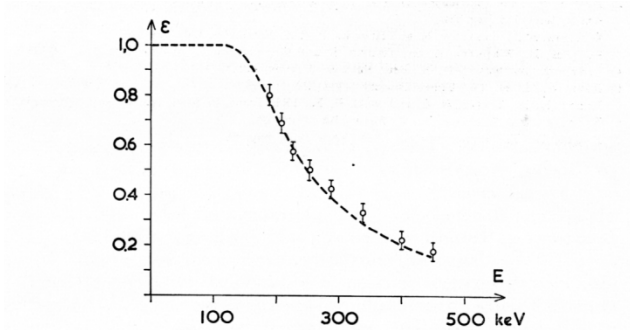


Fig. 6. Absolute crystal efficiencies. The experimental points for the 2×2 cm crystal are shown in comparison with the efficiency curve obtained by Lidèn and Starfelt for a 1.5×1.5 cm crystal.

R.A.R. : Physica 24, 1958, p.289

1956-58:TORINO-AMSTERDAM-TORINO

IKO SPETTROSCOPIA NUCLEARE (Nuovi isotopi radioattivi, Spettri ɣ a scintillazione)

Gruppo Ricci-Girgis-Van Lieshout

Primo lavoro della serie: ^{66}Ge e ^{67}Ge (1-*R.A.R e R.Van Lieshout, Il N.C.Serie X,4(1956)p.1592 ; 2*

R.A.R.;R.K.Girgis,R.Van Lieshout: Nucl.Phys. 21,1960,177)

- Nota: Produzione Sincrociclotrone IKO α (52 MeV) + Zn + separazione Radiochimica (Lab. Aten jr.)
- *Cfr: Invarianza isobarica (Transizioni Fermi Isospin-forbidden 0+-0+, $\Delta T \neq 0$; v. Bohr-Mottelsson*)

AMSTERDAM IKO: SPETTROMETRIA A SCINTILLAZIONE β e γ 1960-65

Primo esperimento ^{66}Ge

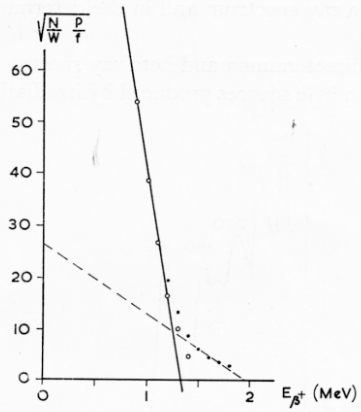


Fig. 4. Fermi-Kurie diagram of the positon spectrum from ^{66}Ge. The contributions due to ^{66}Ga and ^{69}Ge have been subtracted.

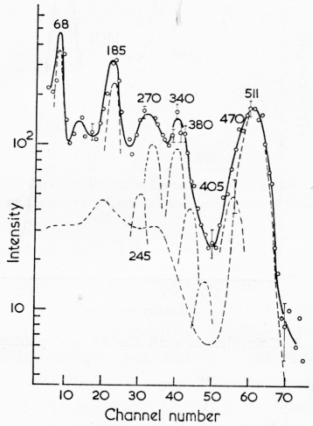


Fig. 5. Pulse height distribution of gamma rays in coincidence with the 46 keV photopeak. The analysed peaks are shown as dashed curves, no corrections have been made in this graph for Compton contributions to the coincidences.

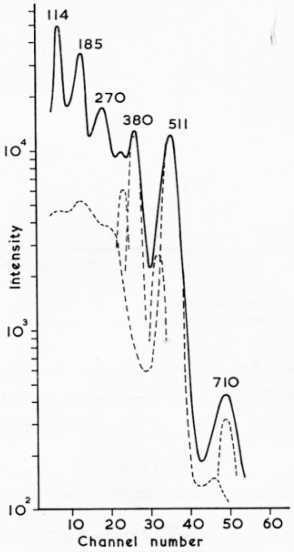
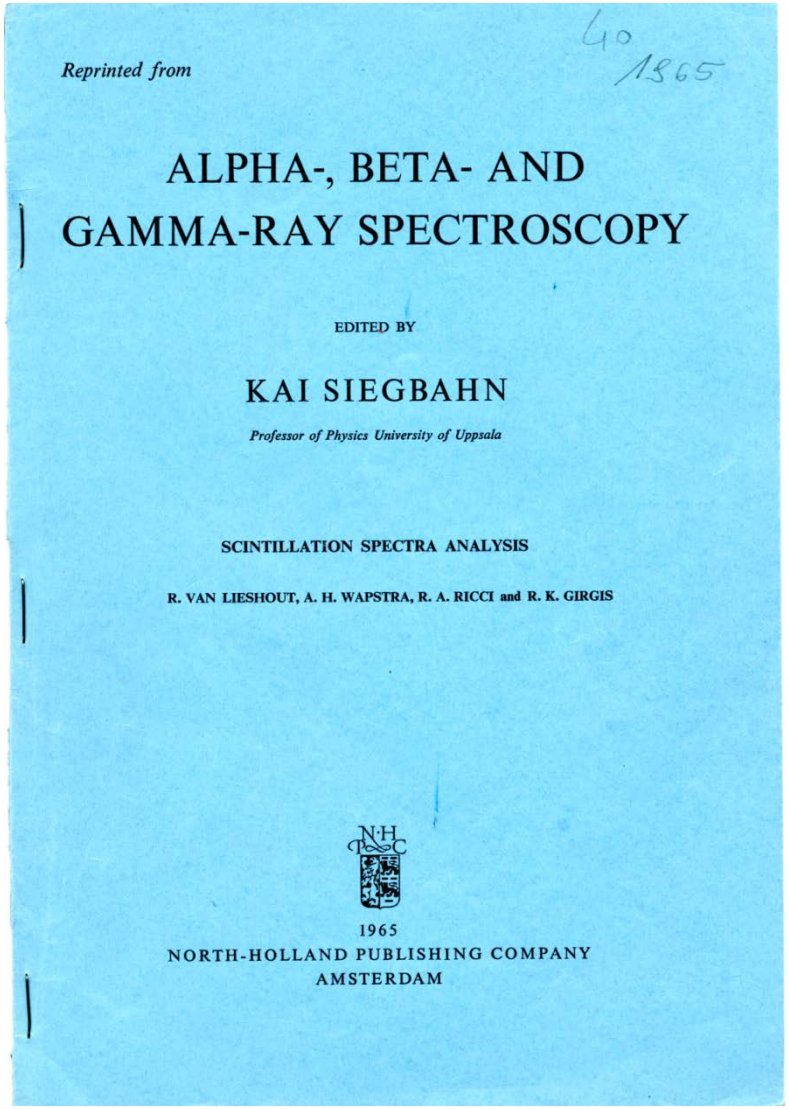


Fig. 3. Part of the gamma ray spectrum of ^{66}Ge involving the weak 710 keV gamma ray. The tail of the 511 keV peak due to annihilation in flight of the positons and the backscattering coincidences (see ref. [4])) is also shown.

....

ANALISI DEGLI SPETTRI A SCINTILLAZIONE (IKO anni 60)- La «Bibbia» di Amsterdam



Reprinted from

40
1965

ALPHA-, BETA- AND GAMMA-RAY SPECTROSCOPY

EDITED BY

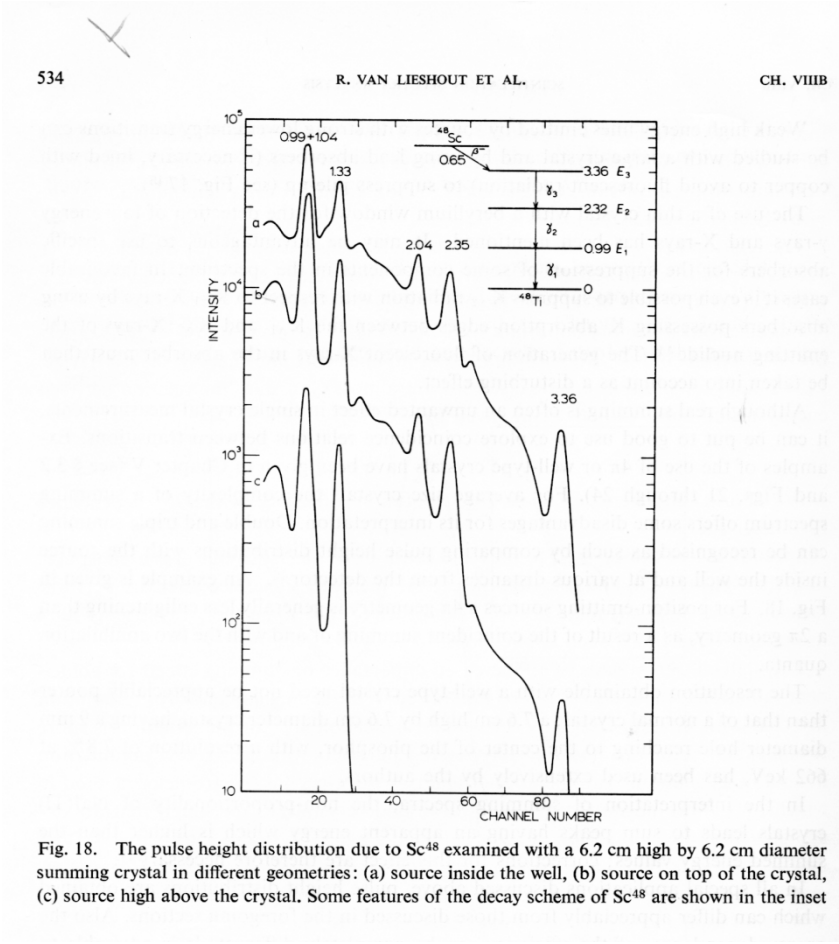
KAI SIEGBAHN

Professor of Physics University of Uppsala

SCINTILLATION SPECTRA ANALYSIS

R. VAN LIESHOUT, A. H. WAPSTRA, R. A. RICCI and R. K. GIRGIS

1965
NORTH-HOLLAND PUBLISHING COMPANY
AMSTERDAM



534 R. VAN LIESHOUT ET AL. CH. VIIIB

Fig. 18. The pulse height distribution due to Sc^{48} examined with a 6.2 cm high by 6.2 cm diameter summing crystal in different geometries: (a) source inside the well, (b) source on top of the crystal, (c) source high above the crystal. Some features of the decay scheme of Sc^{48} are shown in the inset

Spettroscopia γ: the scintillation method

1° rivoluzione NaI(Tl):

spettri γ e tecniche di rivelazione

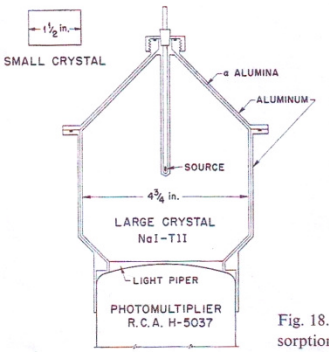
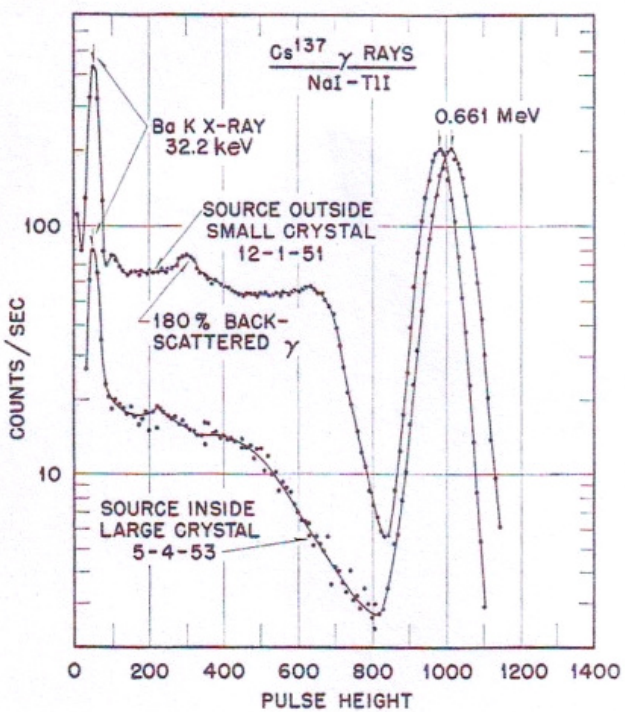


Fig. 18.
sorption



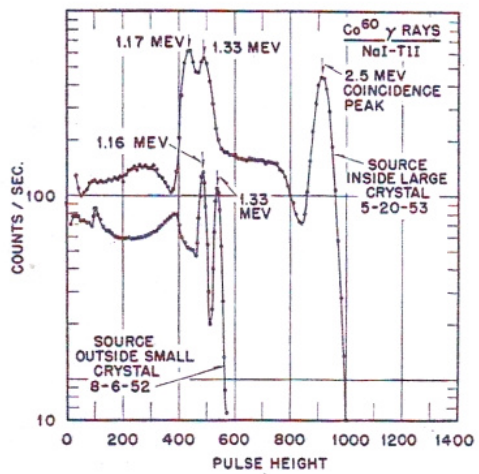
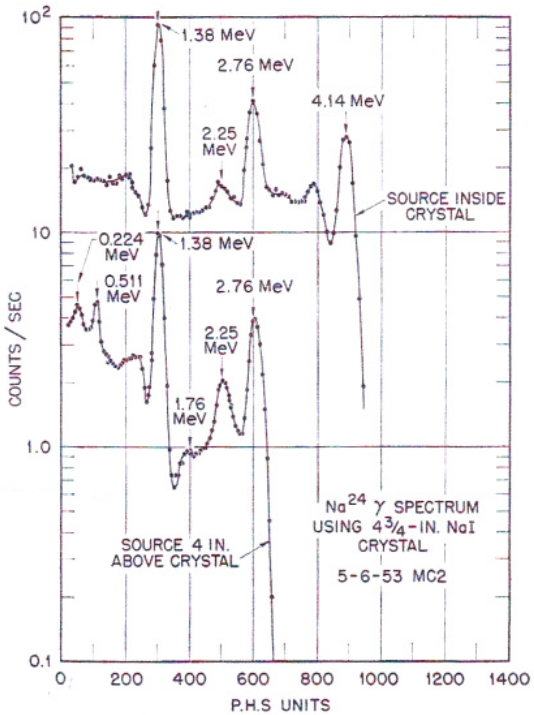


Fig. 21. Response of small crystal and total absorption spectrometer to the γ-rays of Co^{60} showing intense sum line

Fig. 22. Response of total absorption spectrometer to a source of Na^{24} inside and outside the spectrometer



Dalla RADIOATTIVITA' ALLA SPETTROSCOPIA NUCLEARE ALLA FISICA NUCLEARE

- Radiazioni β , γ
- Decadimenti,Transizioni
- Livelli nucleari.
- Struttura dei nuclei

LA FISICA NUCLEARE(STRUTTURA E DINAMICA dei nuclei atomici))

- 1950-2000. Dopo l'istruzione la comprensione e la ricerca effettiva.
- Dove sta il nucleo
- Il mondo inquieto dei nuclei atomici
- cfr: Relazione 50mo INFN (ciò che precede e ciò che segue):
- Cfr.Bassa e Alta Energia
- Situazione italiana.

IL NUCLEO CROCEVIA

IL NUCLEO GULLIVER

NANO(Materia Macroscopica)

GIGANTE (Particelle costituenti)

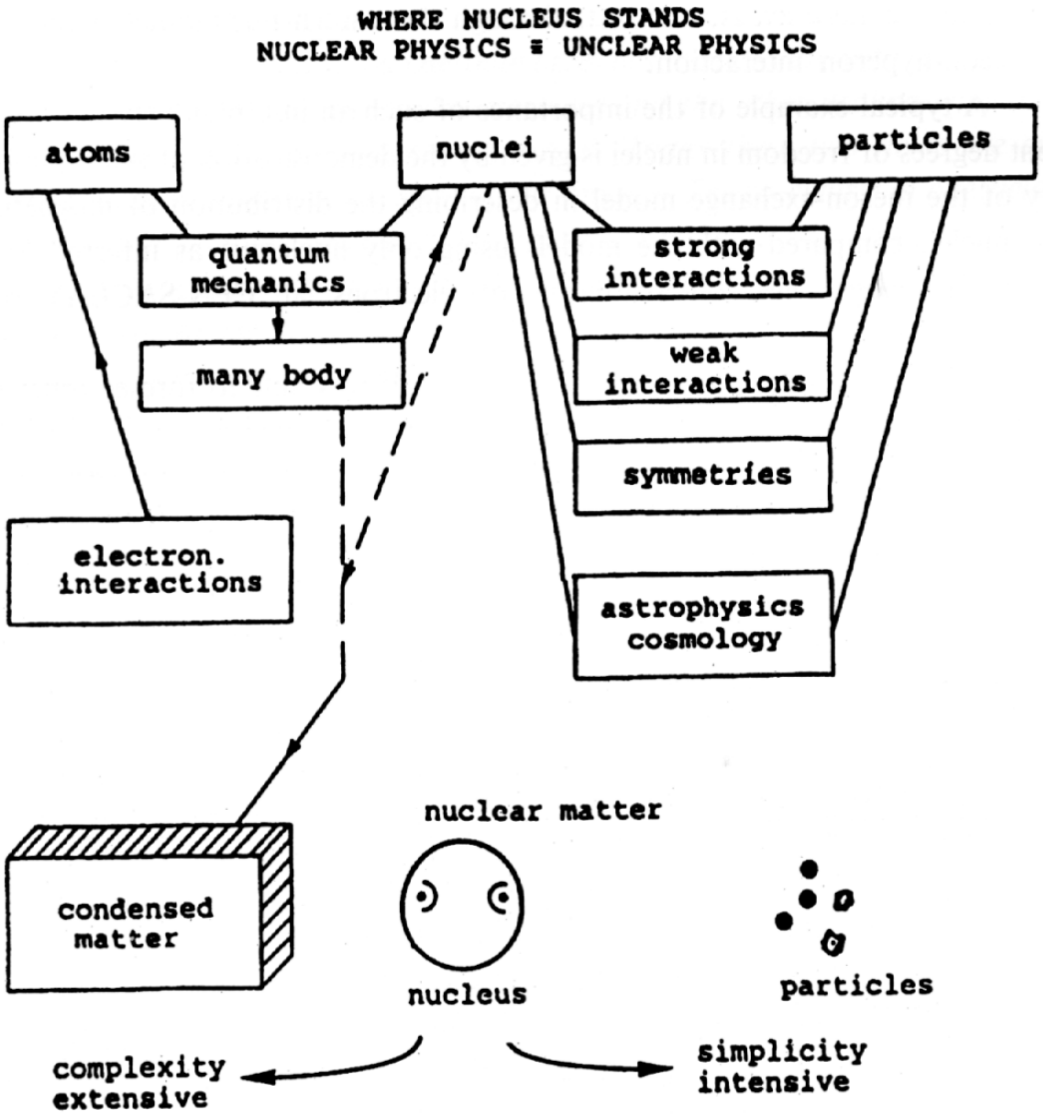


Fig. 3. Standing position of Nuclear Physics and their relationships with fundamental problems.

Source: Valentino RIGATO INFN-LNL 2015

La Fisica dei Nuclei in Italia negli anni 1950-1960

DA ATTIVITA' LOCALI (~ Universita')

(TORINO, MILANO, PADOVA, TRIESTE, ROMA, CATANIA
reazioni nucleari, proprieta' nucleari da decadimenti radioattivi, processi di fissione.....

A ESPERIMENTI CON FACILITIES DEDICATE

TORINO: BETATRONE (e)
Acc. E.S. CW 300 kV → n 14 MeV
σ Fotoreazioni, reazioni, scattering
+ SINCROTRONE: fotodisintegrazioni
assorbimento fotonico (~RG)

TRIESTE: Acc. E.S. CW 600 kV →n 14 MeV
reazioni n, ...p... n. scattering

CATANIA: V.d.G. (p; d) →2 MeV
fissioni da n, d, ^{3}He trasf.

MILANO: CICLOTRONE 2xFoc 20-40 MeV p
reazioni, scattering nuclei leggeri p, α
p→fissione, nucleo composto

CISE: V.d.G. 3,5 MV →Tandem 8 MV
struttura nucleare, reazioni

NAPOLI: V.d.G. 400 kV(d,t) → 14 MeV.n
Start: SPETTROSCOPIA NUCLEARE (+ FIRENZE)

LNL/PADOVA: V.d.G. 5.5 MV reazioni p,d,^{3}He (+ SSC. FMA)
+ struttura (p,n), (p,γ) 400 kV (n puls.)

E. Amaldi:

"*Spettroscopia nucleare*

L'attività principale si è svolta a ***Napoli*** *dove in collaborazione con un gruppo di* ***Amsterdam*** *vengono svolte sistematicamente investigazioni sulle proprietà dei livelli eccitati dei nuclei pari-pari, per ottenere informazioni sulle eccitazioni collettive, e sui nuclei pari-dispari per investigare gli accoppiamenti tra particelle singole e moti vibrazionali: tali ricerche hanno condotto a importanti risultati sulla interazione tra moti collettivi e forze di corto range.*

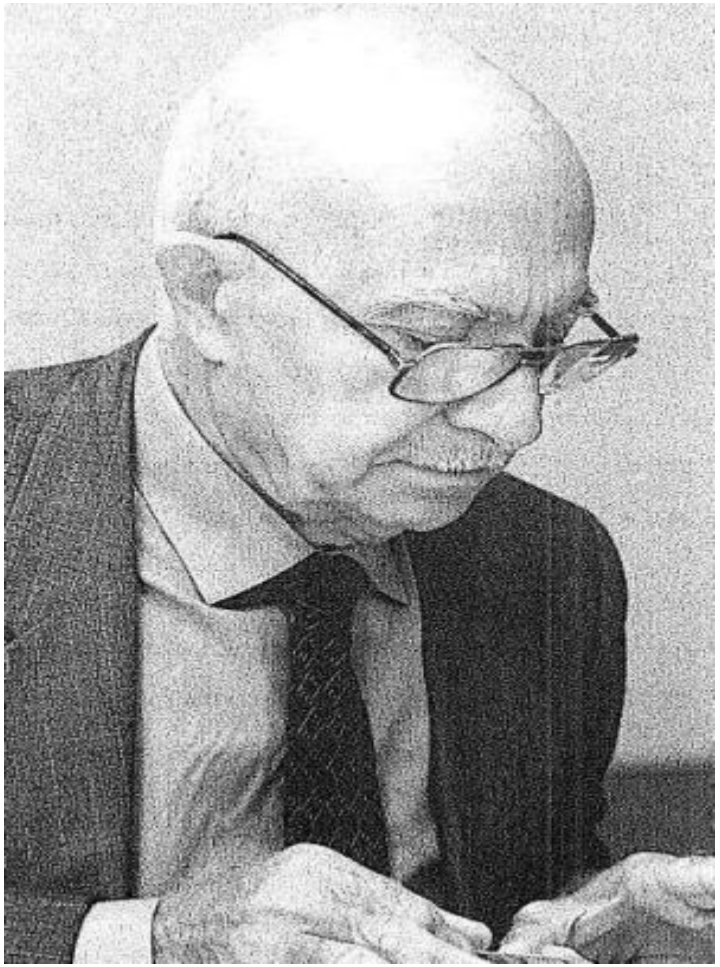
A ***Padova****, sono state studiate le correlazioni elettrone-nucleo di rinculo nei decadimenti beta, gli spettri di bremsstrahlung interna nell'emissione beta e i processi di decadimento per cattura.*

A ***Firenze*** *si sono iniziate ricerche sugli isomeri ed è stata trovata una nuova attività del Niobio "*

NAPOLI 1959-1965 Fondazione della Spettroscopia Nucleare in Italia

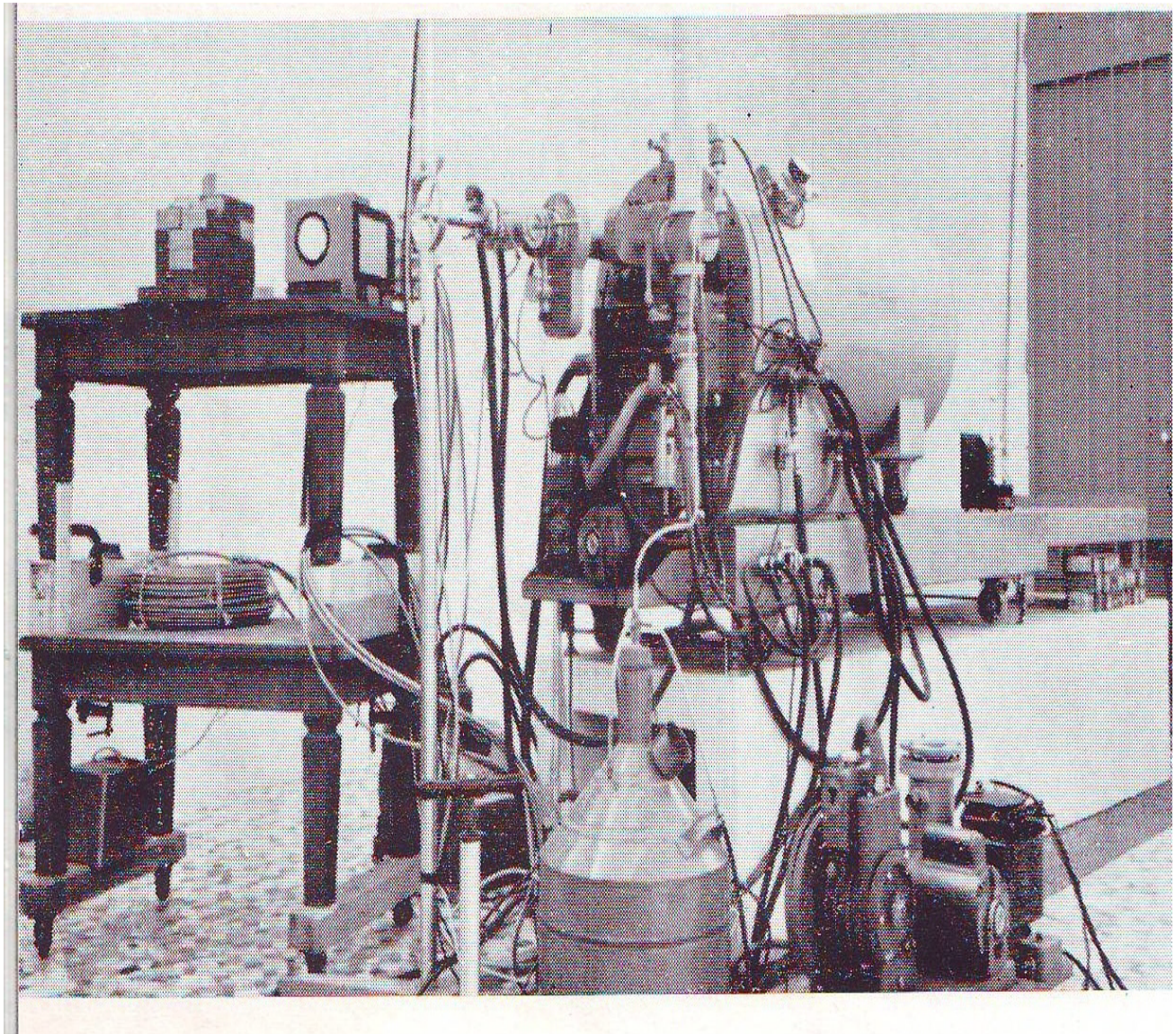
- Collaborazione Napoli-Amsterdam (Orsay)
- Nuclei pari-pari : vibrazioni, rotazioni. q-p states.
- Nuclei dispari. Accoppiamenti particella-core; Teorema del centro di gravità
- *Gli* $f_{7/2}$ *il* ^{50}Ti *: interazione efficace a 2 corpi: indipendenza dalla carica.*

1960 Scuola di Perfezionamento in Fisica Teorica e Nucleare 1958-1960
E.Caianiello, G.Cortini

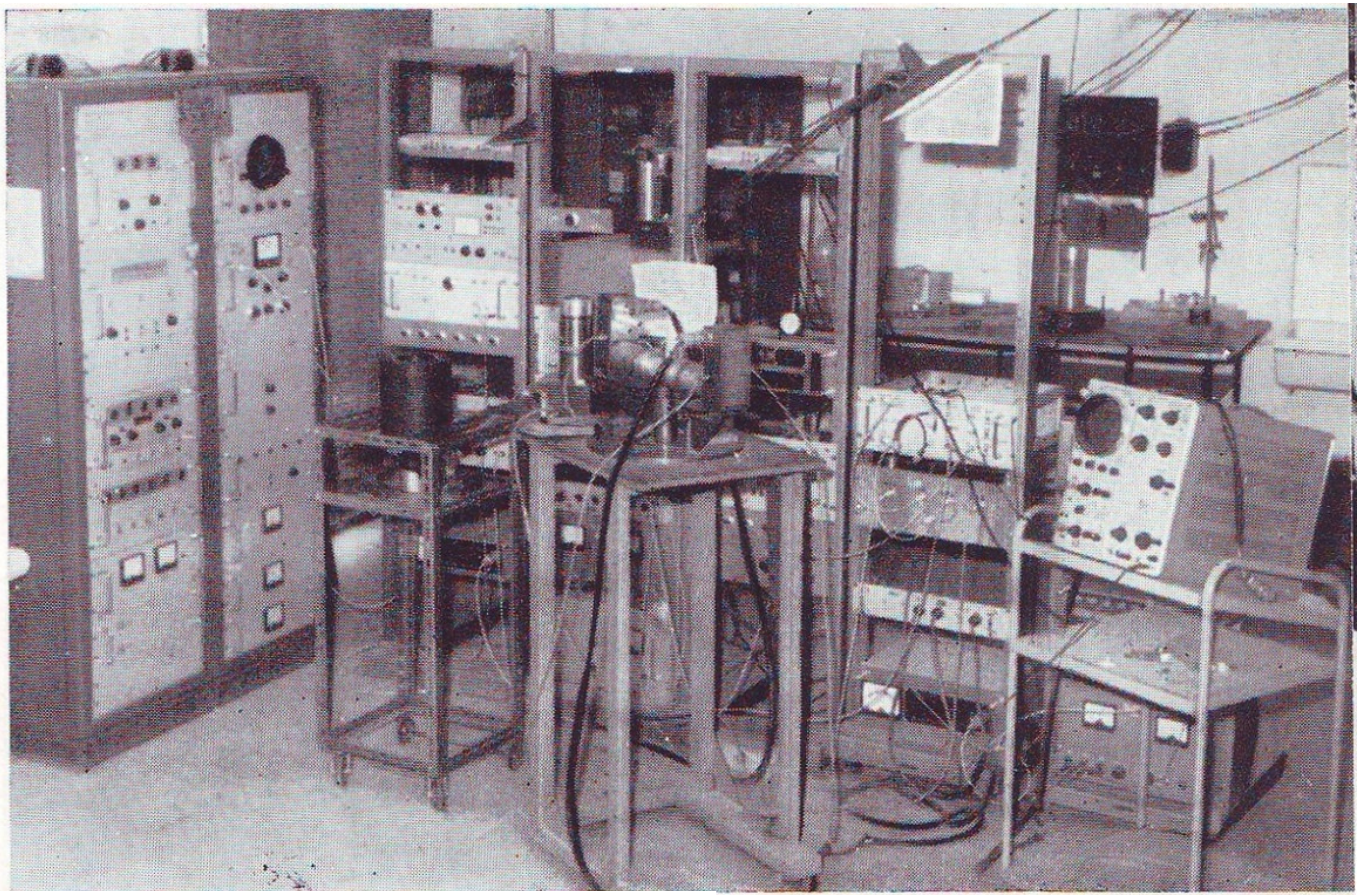


Acceleratore HVE 400 keV Napoli 1962

reazione (d,t) n da 14 MeV



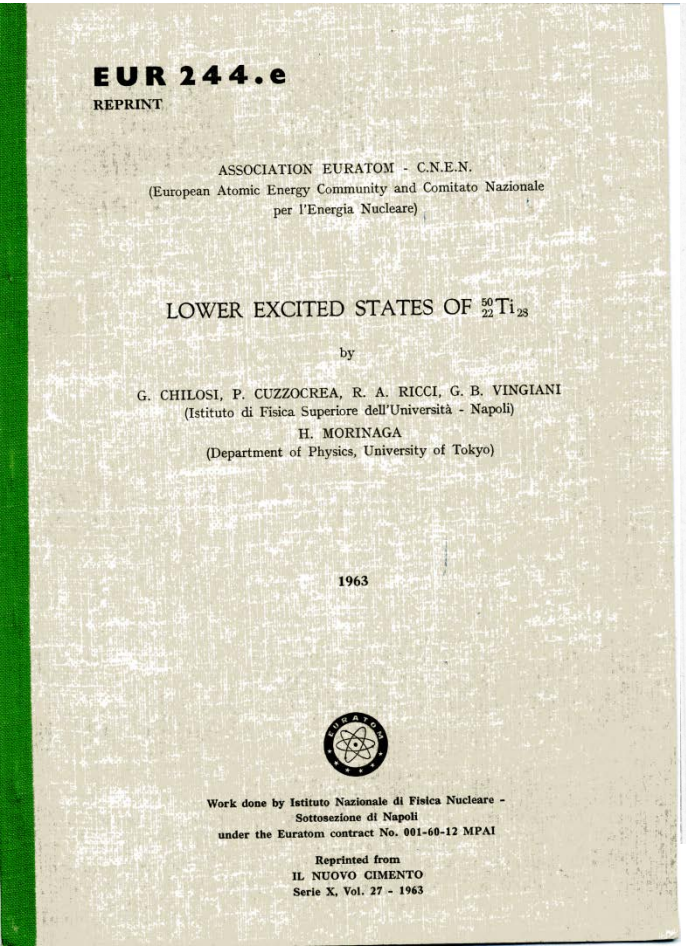
Laboratorio Spettroscopia Nucleare



SOTTOSEZIONE DI NAPOLI
IMPIANTO PER LE MISURE DI SPETTROSCOPIA NUCLEARE
SI VEDONO L'APPARECCHIATURA PER LE MISURE
DI CORRELAZIONE ANGOLARI γ-γ,
LE LINEE DI CONTEGGIO E LO SPETTROMETRO LABEN
A 200 CANALI (FIG. 20)

Napoli 1962

Il $^{50}Ti:(\pi\ f_{7/2})^2$



EUR 244.e

REPRINT

ASSOCIATION EURATOM - C.N.E.N.
(European Atomic Energy Community and Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare)

LOWER EXCITED STATES OF $^{50}_{22}Ti_{28}$

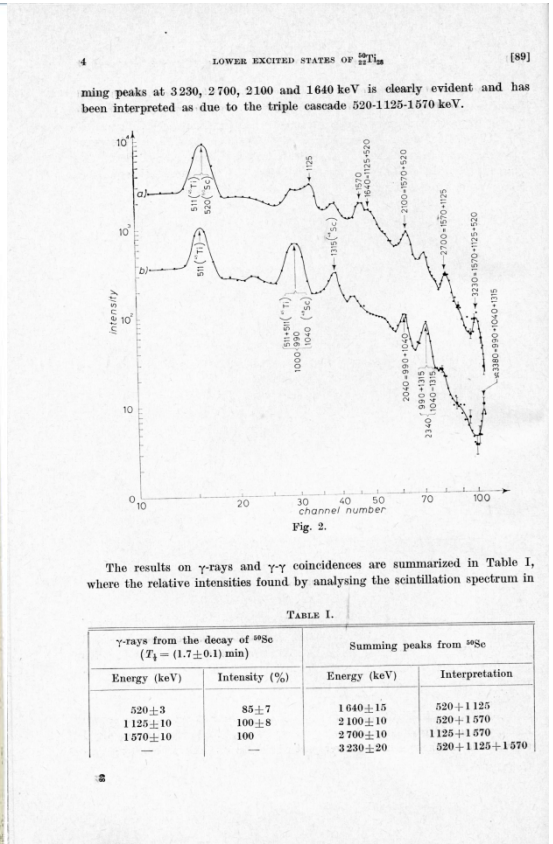
by

G. CHILOSI, P. CUZZOCREA, R. A. RICCI, G. B. VINGIANI
(Istituto di Fisica Superiore dell'Università - Napoli)
H. MORINAGA
(Department of Physics, University of Tokyo)

1963

Work done by Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sottosezione di Napoli
under the Euratom contract No. 001-60-12 MPAI

Reprinted from
IL NUOVO CIMENTO
Serie X, Vol. 27 - 1963



4 LOWER EXCITED STATES OF $^{50}_{22}Ti_{28}$ [89]

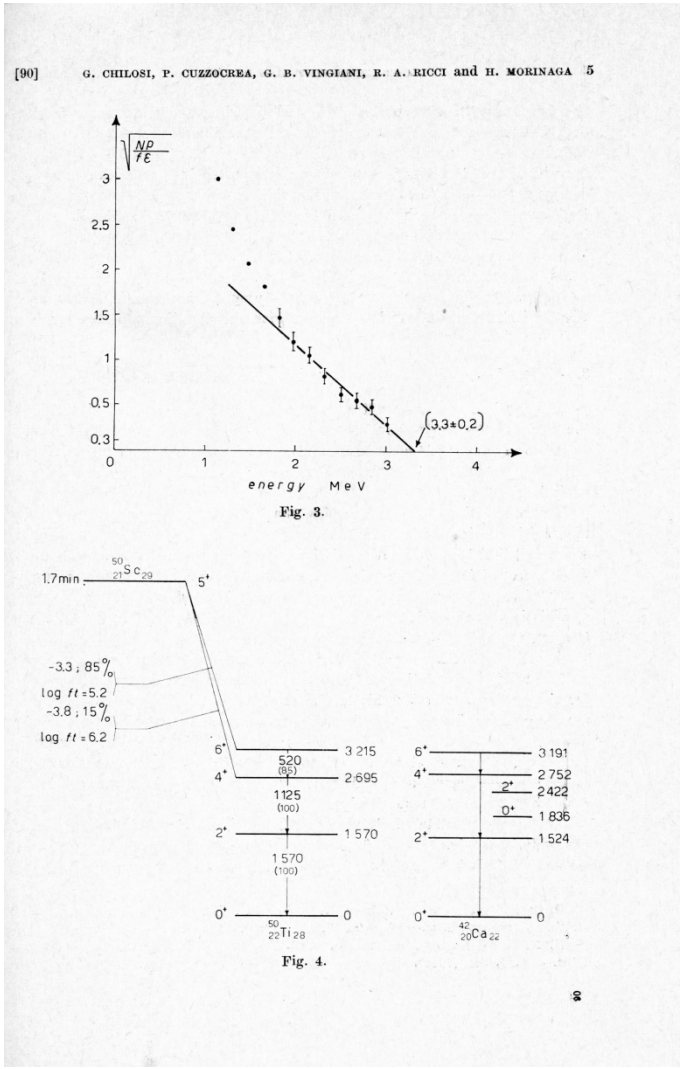
ming peaks at 3 230, 2 700, 2 100 and 1 640 keV is clearly evident and has been interpreted as due to the triple cascade 520-1125-1570 keV.

Fig. 2.

The results on γ-rays and γ-γ coincidences are summarized in Table I, where the relative intensities found by analysing the scintillation spectrum in

TABLE I.

γ-rays from the decay of ^{50}Sc ($T_{\frac{1}{2}}$ = (1.7±0.1) min)		Summing peaks from ^{50}Sc	
Energy (keV)	Intensity (%)	Energy (keV)	Interpretation
520±3	85±7	1 640±15	520+1 125
1 125±10	100±8	2 100±10	520+1 570
1 570±10	100	2 700±10	1 125+1 570
—	—	3 230±20	520+1 125+1 570



[90] G. CHILOSI, P. CUZZOCREA, G. B. VINGIANI, R. A. RICCI and H. MORINAGA 5

Fig. 3.

Fig. 4.

PAIRING + QUADRUPOLO

R.A.Ricci, M.Jean, R.Van Lieshout: « Effects of pairing and quadrupole forceson the branching ratios from the higher excited states in spherical even.even nuclei»

Collective and single-particle states

NOTA: MODELLO COLLETTIVO

E INTERPLAY con stati di p.s.

A.Bohr- B.Mottelson

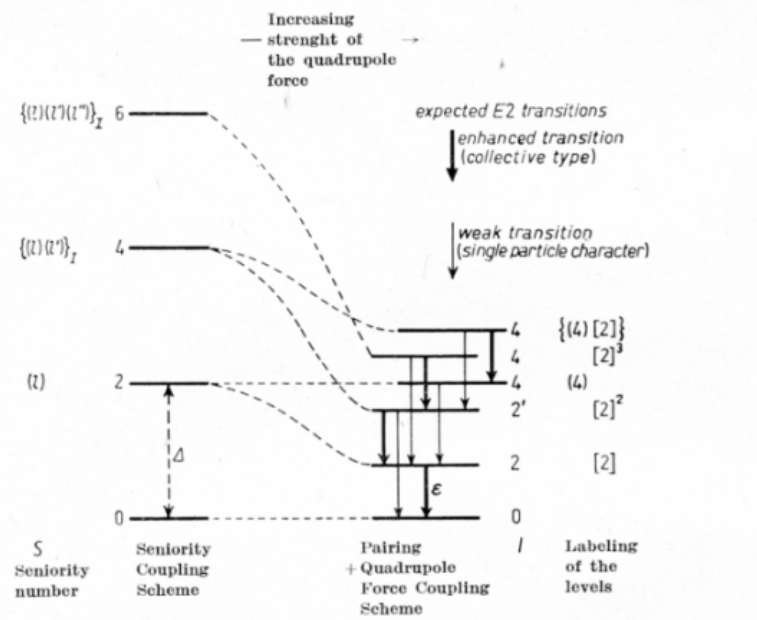


Fig. 1. – Energy levels in the pairing plus quadrupole force coupling scheme. The level sequence is only qualitative and has been chosen in order to reproduce in the lowest part the situation expected for vibrational nuclei. Among the possible higher excited states only the $I=4$ levels have been drawn.

NON SOLO SPETTROSCOPIA γ

1)DIFFUSIONE INELASTICA
2)REAZIONI DI KNOCK OUT(p,2p)

Orsay Ciclotrone Protoni 155 MeV

Cfr: ***R.A.Ricci:« Inelastic and quasi-free proton scattering on medium-weight nuclei at 155 MeV» Proc. Int. School of Phys. E.Fermi, Course. XXXVI, edited by C.Bloch,Ac.Press.1966***

2.A.1:
2.L

Nuclear Physics **A91** (1967) 609—632; © *North-Holland Publishing Co., Amsterdam*

Not to be reproduced by photoprint or microfilm without written permission from the publisher

ÉTUDE DES NOYAUX DE MASSE MOYENNE PAR DIFFUSION INÉLASTIQUE DE PROTONS DE 155 MeV

(II). Diffusion inélastique sur quelques noyaux $f_{\frac{7}{2}}$ (^{48}Ti, ^{52}Cr, ^{56}Fe, ^{51}V et ^{59}Co)

R. A. RICCI †, J. C. JACMART, M. LIU, M. RIOU et C. RUHLA

Institut de Physique Nucléaire, Orsay, France

Reçu le 20 juillet 1966

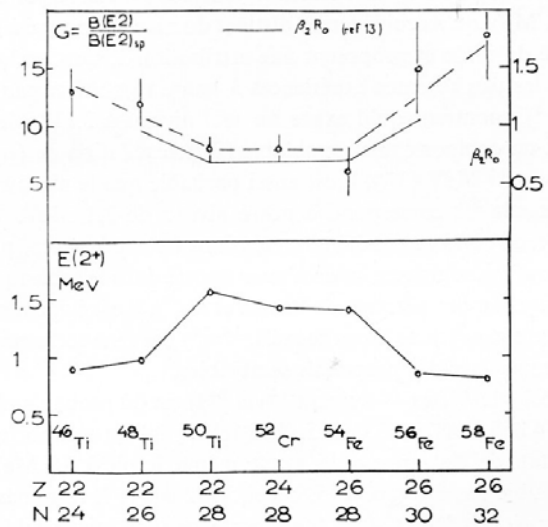


Fig. 7. Energie d'excitation E(2+) et facteur d'accélération $G = B(E2\downarrow)/B(E2\downarrow)_{sp}$ du premier niveau 2+ en fonction de Z et de N, dans les noyaux pairs $f_{\frac{7}{2}}$. Le trait continu sur la figure du haut joint les valeurs du paramètre $\beta_2 R_0$ déterminées par Funsten *et al.* [13]); l'échelle des ordonnées correspondantes est à droite.

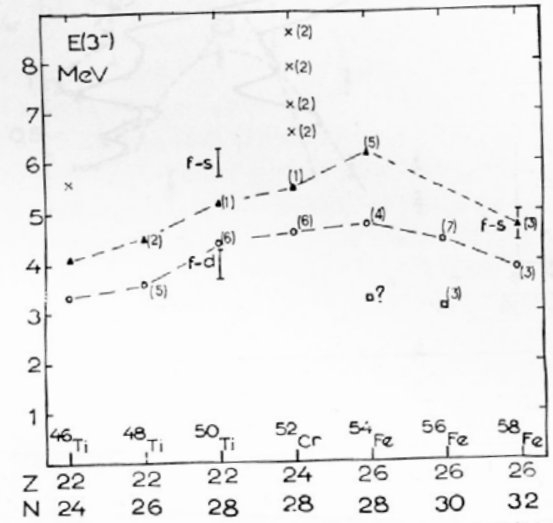


Fig. 8. Energie d'excitation E(3−) et facteur d'accélération $G = B(E3\downarrow)/B(E3\downarrow)_{sp}$ (chiffres entre parenthèses) concernant les niveaux 3− observés dans les noyaux pairs $f_{\frac{7}{2}}$; les barres verticales représentent la position (aux erreurs près) des niveaux provenant des configurations $(f_{\frac{7}{2}})(d_{\frac{3}{2}})^{-1}$ (indiquée ici par f-d) et $(f_{\frac{7}{2}})(2s_{\frac{1}{2}})^{-1}$ (indiquée ici par f-s) ((cfr. réf. [6])).

Reprinted from:

NUCLEAR PHYSICS, VOLUME A95 (1967) No. 3

C. RUHLA, M. ARDITI, H. DOUBRE, J. C. JACMART, M. LIU,
R. A. RICCI, M. RIOU et J. C. ROYNETTE
Institut de Physique Nucléaire, Orsay

RÉACTIONS (p, 2p) À 156 MeV
(I). Noyaux de $Z = 20$ à $Z = 28$

NORTH-HOLLAND PUBLISHING COMPANY - AMSTERDAM

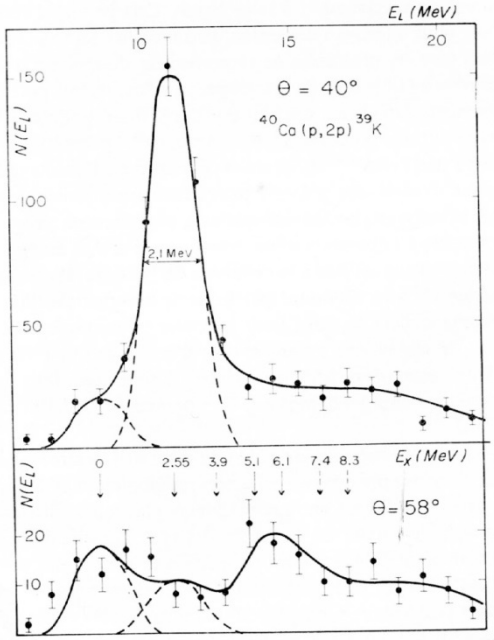


Fig. 3. Spectre de somme de la réaction ^{40}Ca(p, 2p)^{39}K pour $\theta = 40°$ et $\theta = 58°$.

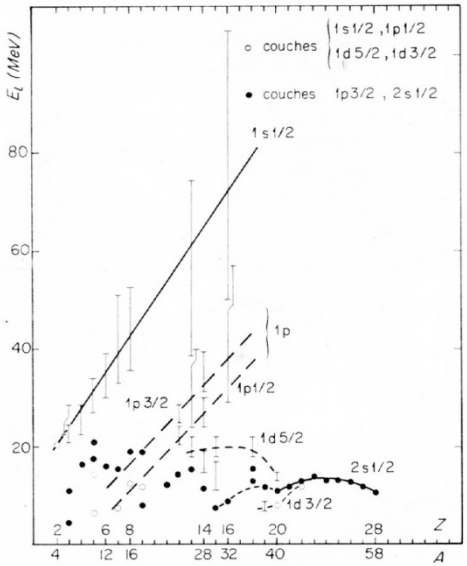


Fig. 9. Tableau général des énergies de liaisons des protons dans les différentes couches en fonctio de Z ou A (résultats expérimentaux). La largeur naturelle des niveaux d'excitation du noyau résidue est également portée sur ce diagramme chaque fois que la valeur de E_L correspond à un état de vi moyenne très faible.

FIRENZE : SPETTROSCOPIA con Rivelatori a stato solido. Dal NaI(Tl) al Ge(Li)

- Il caso del ^{174}Lu. (Collaborazione Firenze-Napoli)
  - *A.Barone,G.Greco,R.Speranza,R.A.Ricci(Na);*
  - *P.Blasi, P.R.Maurenzig,P.Sona (Fi), il N.C.vol.46B, 1965, p.134*

  - Stati a 2 particelle in nuclei
  - deformati: livello 7- (1518 keV)
  - trans.γ 1265 keV risolto con
  - Ge(Li) 2 cm^3

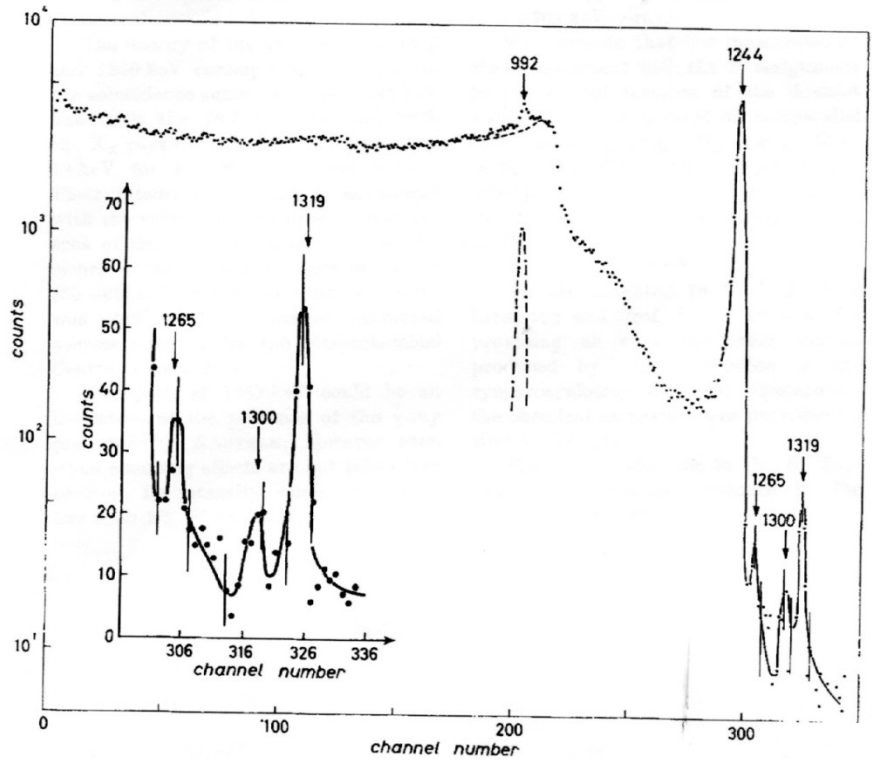


Fig. 2. – High-energy part of the γ spectrum from the ^{174}Lu decay; in the insert is shown the (1250 ÷ 1350) keV region of the γ spectrum.

Evoluzione della Spettrometria γ 1960 ---1965

NaI(Tl) vs Ge vs diffr.crystal

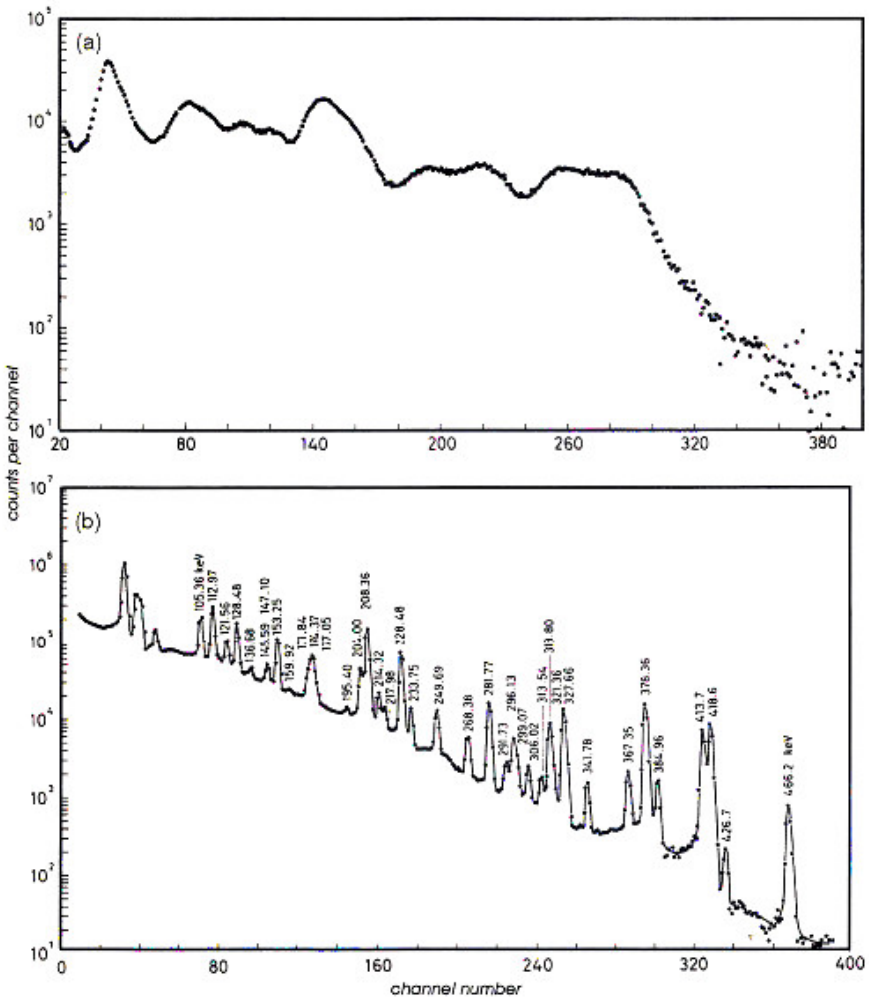
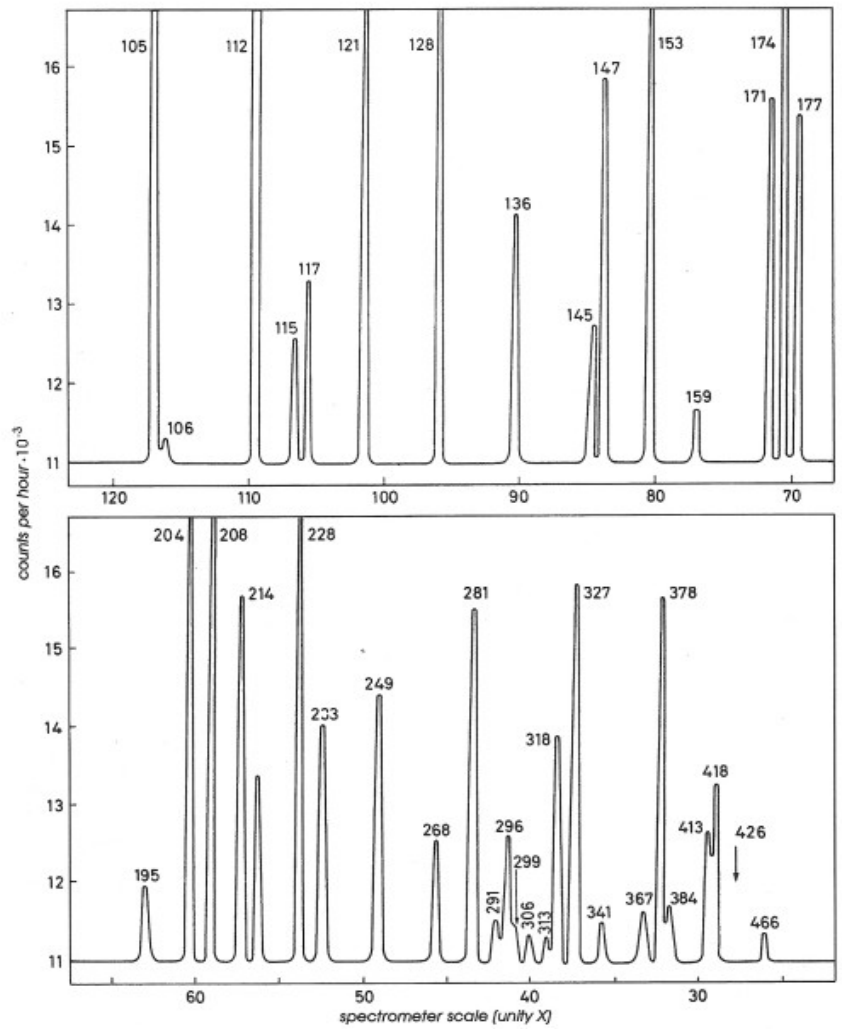


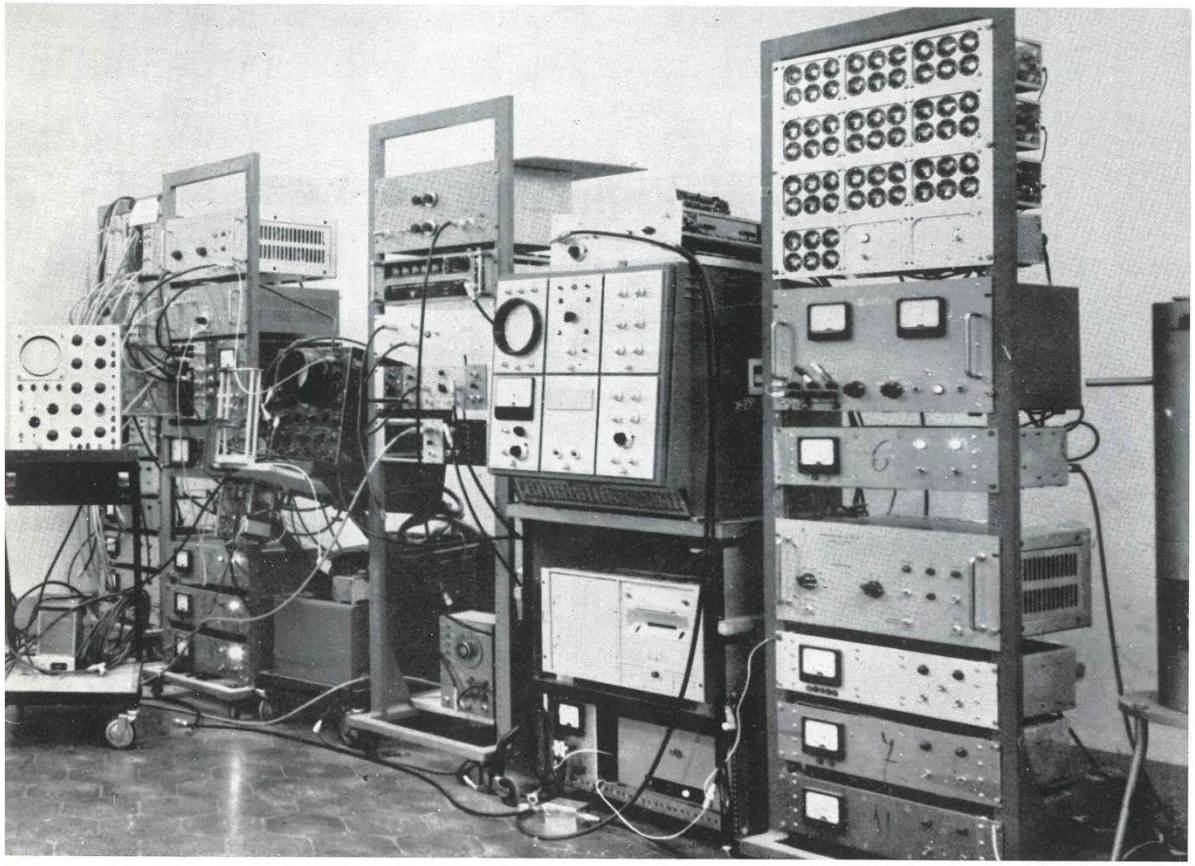
Fig. 9. – a) γ-spectrum of ^{177}Lu measured with a scintillator detector (NaI(Ti), 3 in. × 3 in.). b) γ-spectrum of a) measured with a germanium detector (2 cm^2 × 7 mm).



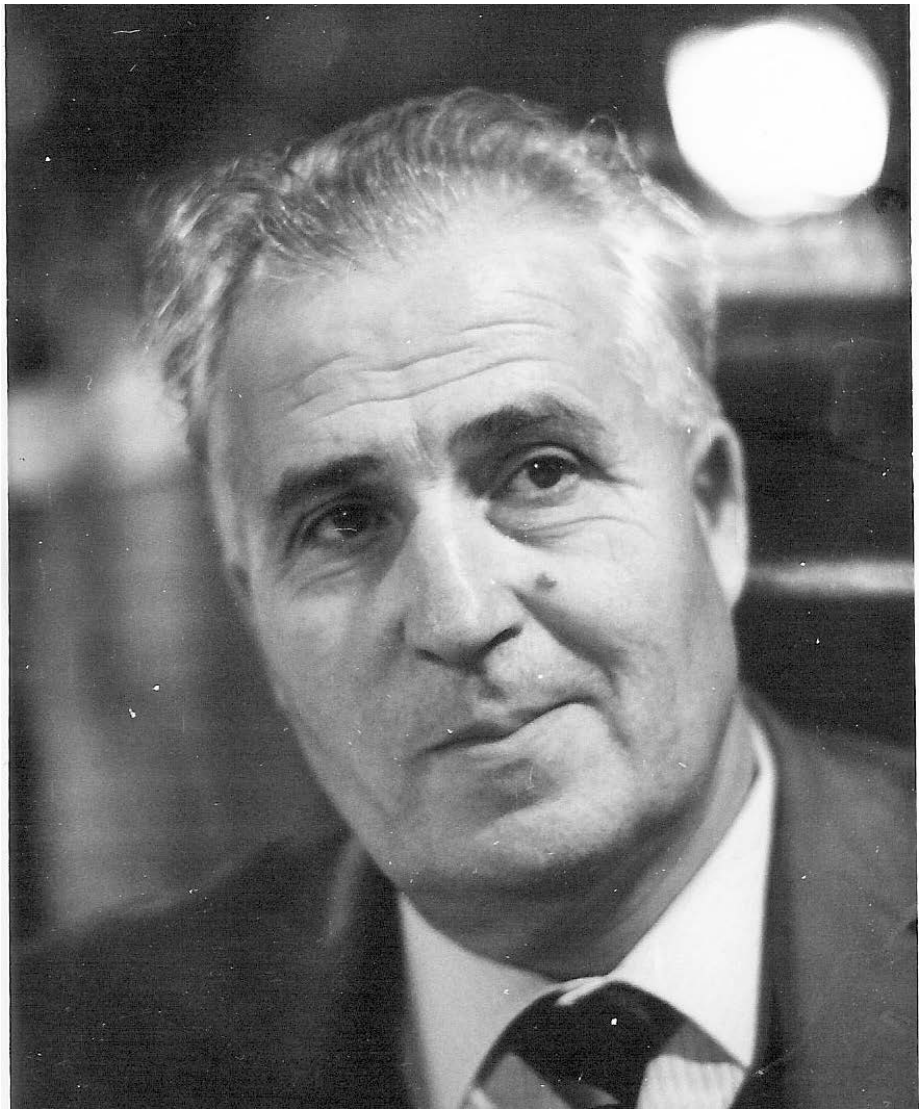
g. 10. – Spectrum of fig. 9 as measured with a diffraction spectrometer.

FIRENZE anni 60 LABORATORIO DI SPETTROSCOPIA NUCLEARE

SOTTOSEZIONE DI FIRENZE. APPARECCHIATURE ELETTRONICHE
ANNESSE ALL'ACCELERATORE
(A DESTRA L'ANALIZZATORE
A 512 CANALI DELLA R.C.L.
A SINISTRA I PANNELLI DI COMANDO)
(FIG. 19)



M.Mando’



«THE $1f_{7/2}$ PROBLEM IN NUCLEAR SPECTROSCOPY»
R.A.Ricci,P.Maurenzig

-cfr.:R.A.R «Experimental Nuclear Spectroscopy in the $1f_{7/2}$ Shell» Proc. Int. Summer School E.Fermi course XL,1969,p.80

v. **Proc.Top.Conference on «The structure of $1f_{7/2}$ nuclei».Legnaro,R.A.Ricci ed.1971**:

- P.G.Bizzeti: «Electromagnetic transitions in $1f_{7/2}$ nuclei» p.393.
- P.m.Maurenzig:»Rotational bands in $1f_{7/2}$ nuclei»p.303
- G.B.Vingiani:,R.A.Ricci:»Spectrscopic nformationson $1f_{7/2}$ nuclei fro isobac analogue resonances»-p,303
- -G.Chilosi,G.B.Vingiani,C.Rossi-Alvarez:» The $^{40}Ca(\alpha,\gamma)^{44}Ti$ reaction»p. 211c

REF: I.Talmi:» **Shell model approach to the $1f_{7/2}$ shell»**

STORIA ED EVOLUZIONE DELLA SAGA $1f_{7/2}$

COLLABORAZIONE Firenze-Padova-LNL-Monaco (Tandem) Livelli alto J

SELETTIVITA' con reazioni da Ioni Pesanti

In beam ɣ-ray spectroscopy (H. Morinaga., P.Gugelot (α,xnɣ) Dy : J=12+) IKO_Amsterdam : Nucl.Phys., 46, 1963, p.210

ES: ^{45}Sc

Bande rotazionali parità negativa e positiva

P.g.Bizzeti,A.M.BizzetiSona,M.Bucciolini,R.Huber, W.Kutschera, H.Morinaga, R.A.Ricci, C.Signorini

Il N.C.,serie II, v.26, p.25

«*States of high angular momentum in 45Sc*»

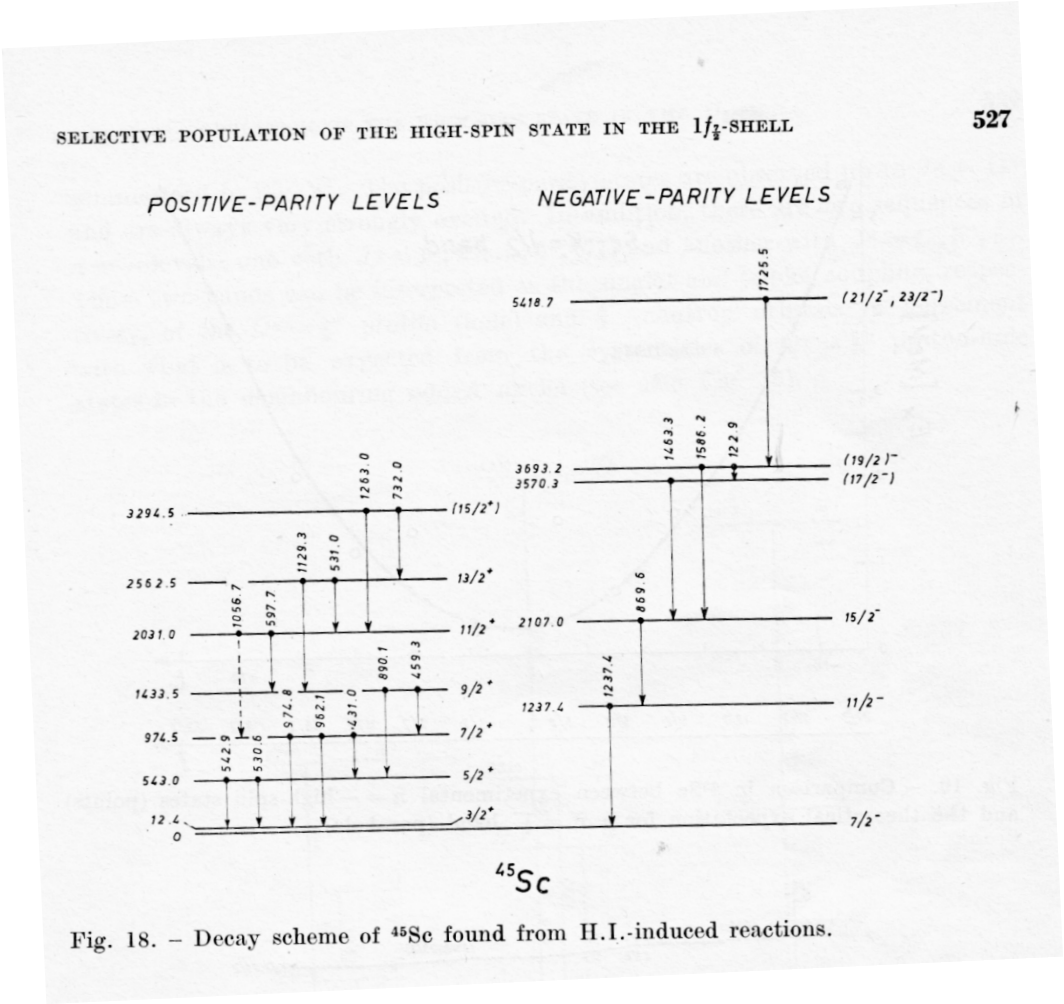


Fig. 18. – Decay scheme of ^{45}Sc found from H.I.-induced reactions.

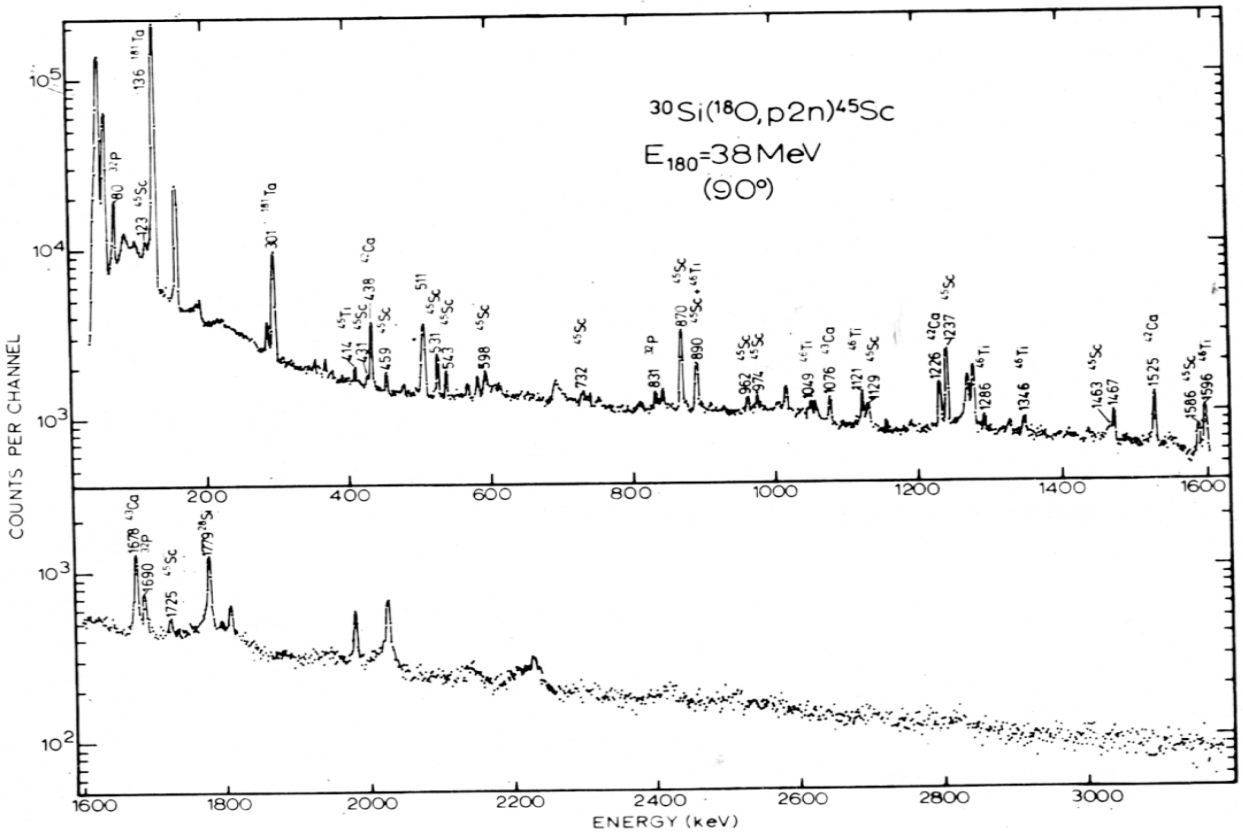


Fig. 17. – Spectrum of γ-rays observed from the bombardment of ^{30}Si target with ^{18}O beam.

expected already starting from low excitation. The energy spacing of the levels of such a band is given by the formula

$$E_J = \frac{\hbar^2}{2I}\left[J(J+1) + (-)^{J+\frac{1}{2}}\, a(J+\tfrac{1}{2})\right] + \text{const}$$

STATI ALTO J (f7/2) BANDA YRAST;BACK BENDING,DEFORM. E SHELL MODEL

1)^{50}Cr (Z=24,N=26), 2)^{48}Cr(Z=N=24)

3)^{46,48}Ti (Z=22,N=24,26)

1)W.Kutschera, R.B.Huber, C.Signorini:,H.Morinaga: Phys.Rev.Lett-33,1974,p.1108

2)cfr. S.M. Lenzi et al. Phys.Rev.C,60,1999,p1303

3)G.Fortuna,R.B.Huber, W.Kutschera,M.Morando,H.Morinaga, R.A.Ricci, C.Signorini; Il N.C. ,v. 34A.N.2,1976

V. anche: S.M.Lenzi, C.A.Uhr, D.R.Napoli, D.Bazzacco, F.Brandolini, J.A.Camerun, G.De Angelis, M. DePoli, E.Farnea, A.Gadea, S.Lunardi, G.Martinez-Pinedo, A.Povest, C.Rossi-Alvarez, H.Somacal, C.E.Svensson: Il Nuovo Cimento A, Volume 111, Issue 0607, p.739.

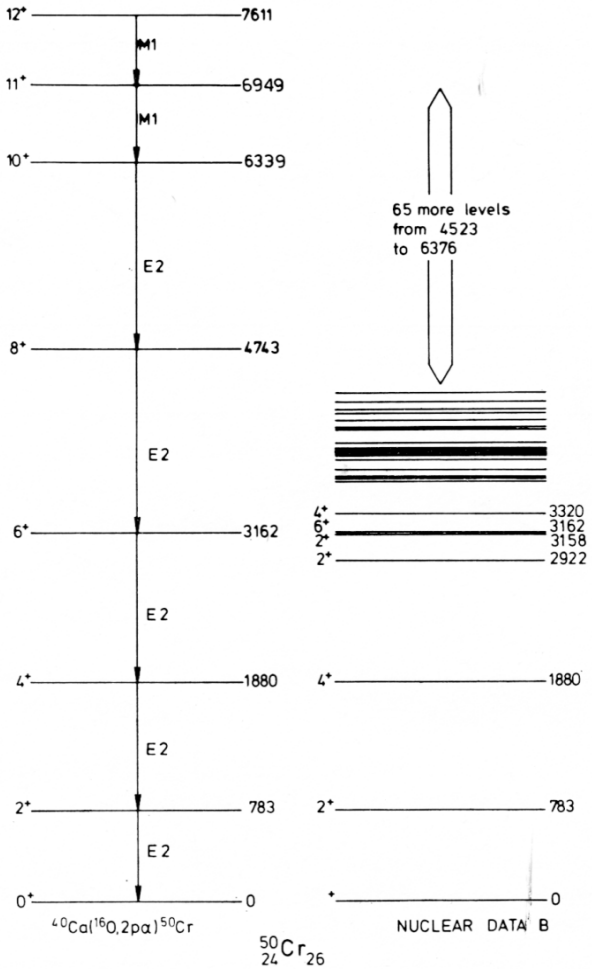


Fig. 6. – Levels observed in ^{50}Cr from H.I.-induced reactions compared with what is known from other type of reactions.

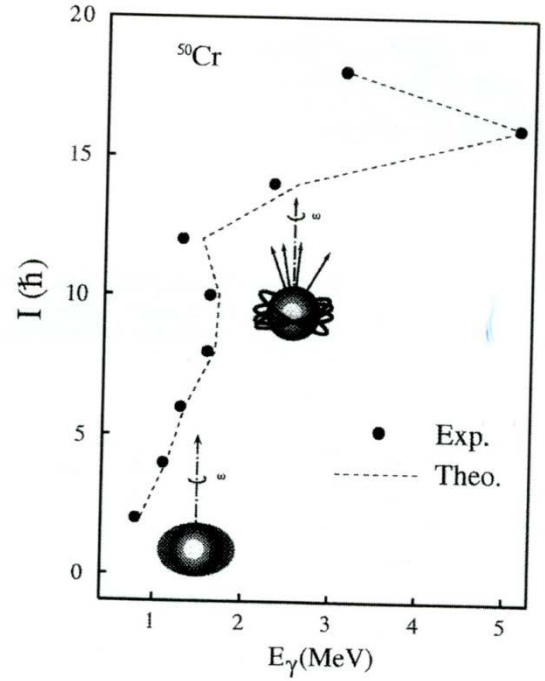


Fig. 23. – Backbending plot (J *vs.* E_γ) of the yrast band of ^{50}Cr (see text).

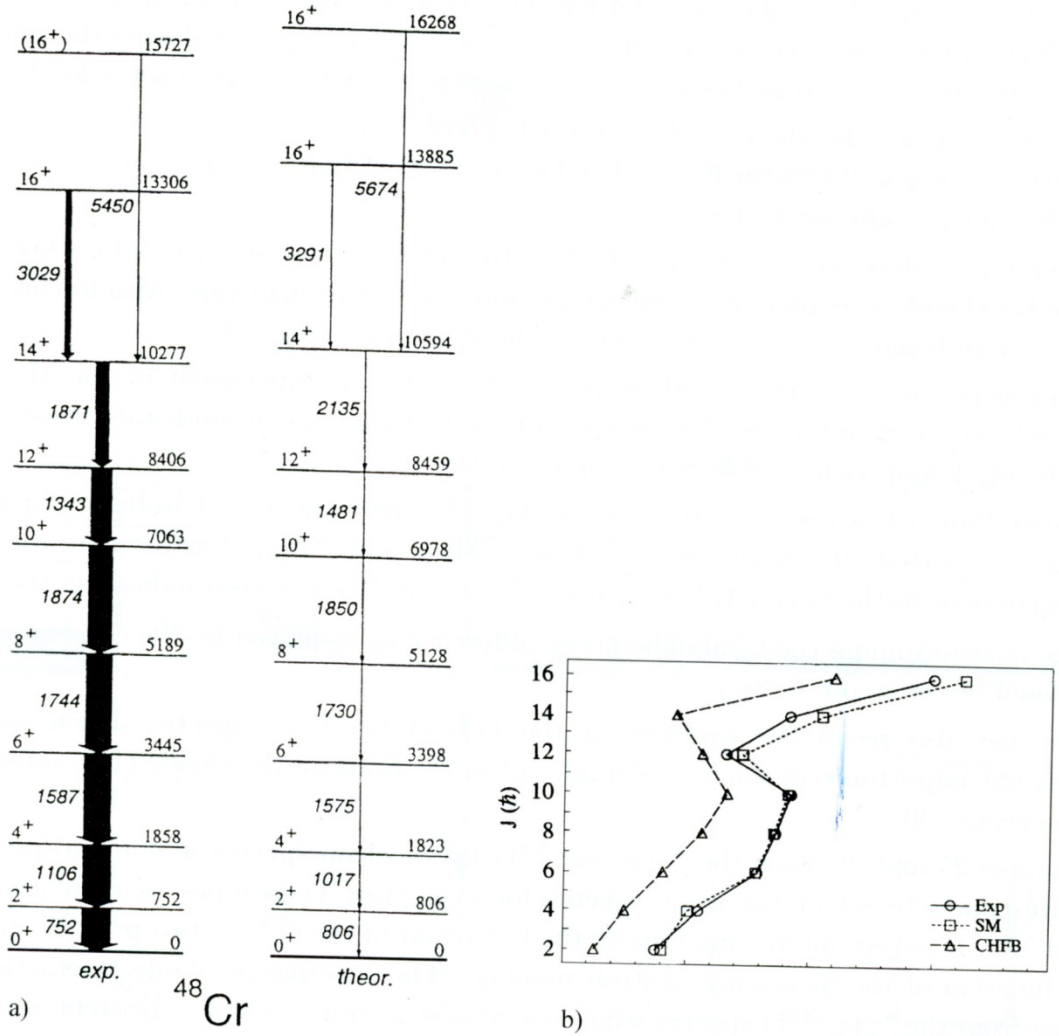


Fig. 22. – a) ^{48}Cr level scheme; experiment *vs.* theory (shell-model with interaction). b) Backbending plot of the yrast band of ^{48}Cr shell-model (SM), mean field (CHFB) and experiment (Exp) (J *vs.* E_γ) (see ref. [28]).

La configurazione$(1f_{7/2})^2$ rivisitata

(Legnaro, Fornal 2007)

Ti pari

Z=22.

N=20,24.28,32

34

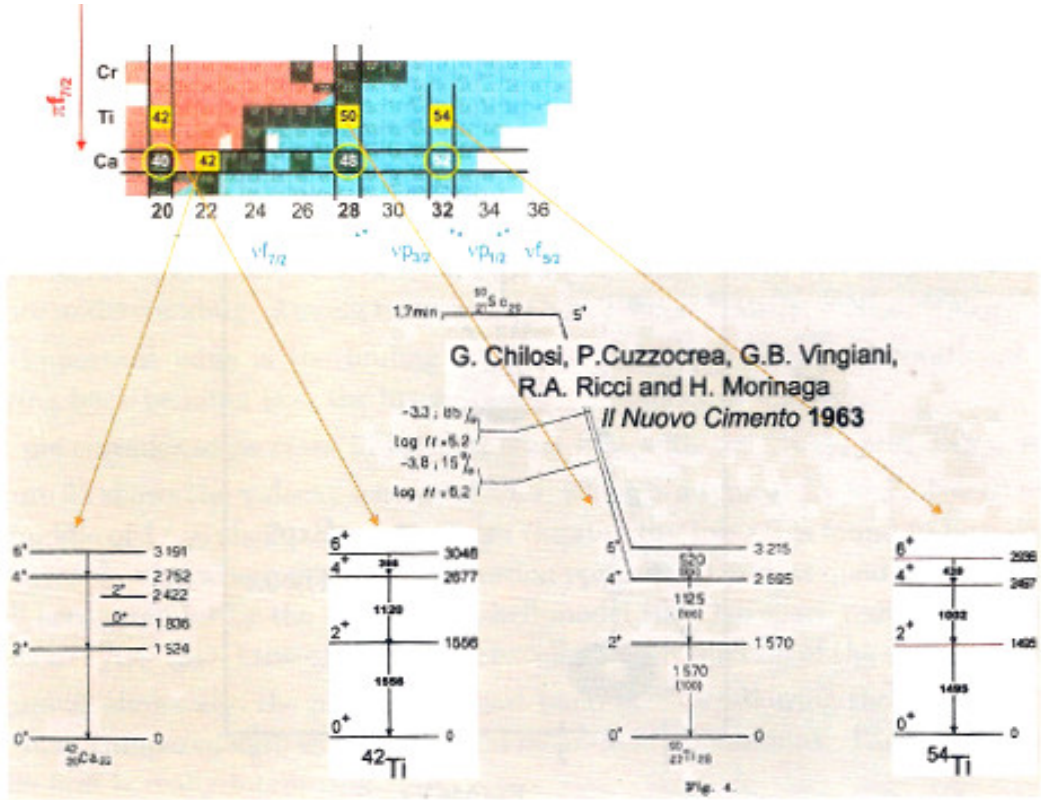
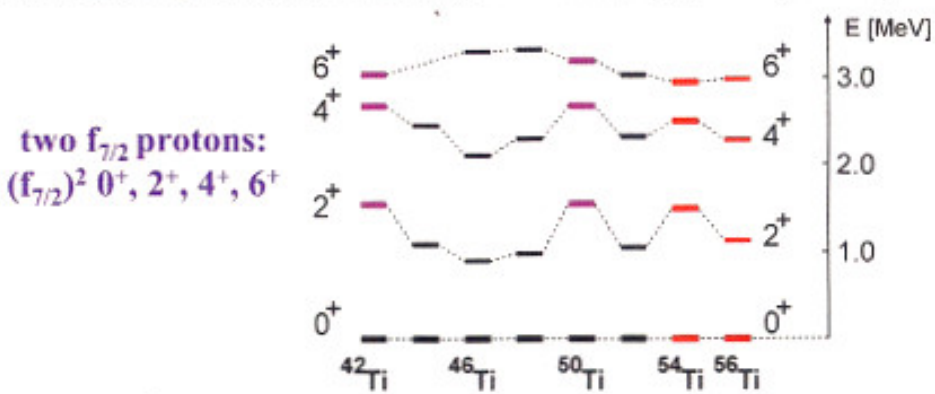


Fig. 25. – Two particle (proton and neutron) spectra in the $1f_{1/2}$ shell (see text).



1968 : I Laboratori Nazionali di Legnaro (di Fisica dei Nuclei)

- La strategia vincente di A. Rostagni e C. Villi.
- Nascono i primi Laboratori Nazionali dell'INFN per la Fisica dei Nuclei. (Convenzione INFN-Università)
- Convergenza Padova-Napoli-Firenze-Trieste-Bologna (+Ispra+CNEN)

- *Effetto trascinamento attività nazionali di fisica dei nuclei* (cfr.Milano ciclotrone,Catania-Laboratori del Sud)

LA CARAVELLA ITALIANA DI FISICA DEL NUCLEO
ICNP-Da Berkeley (1980) a Firenze (1983)

INTER-
NATIO-
NAL
CONFE-
RENCE
ON
NUCLEAR
PHYSICS

1983

Proceedings of the
International Conference
on Nuclear Physics

FLORENCE - ITALY

August 29 - September 3, 1983

VOL. 2
INVITED PAPERS

Edited by
P. BLASI and R. A. RICCI

Tipografia Compositori Bologna

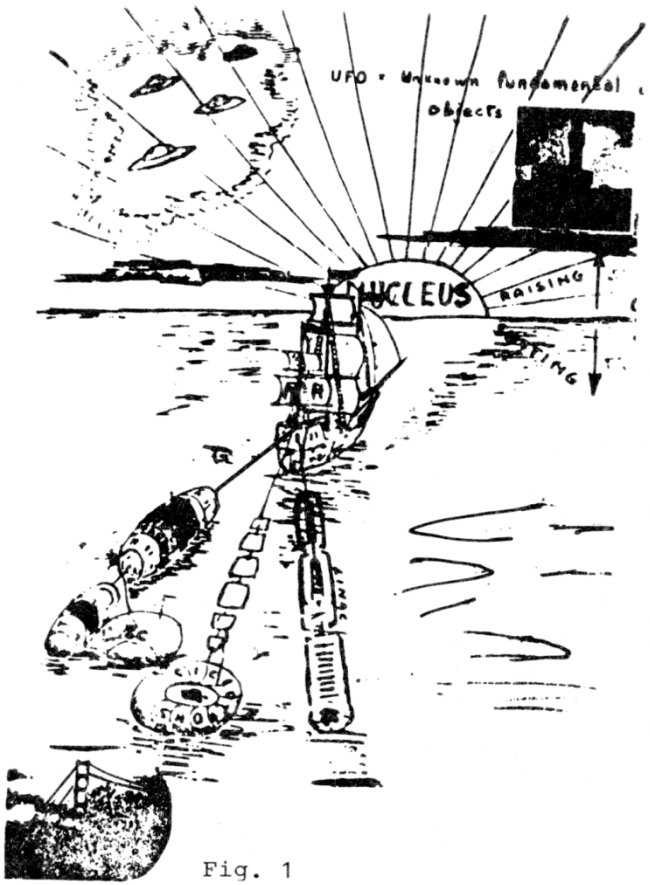


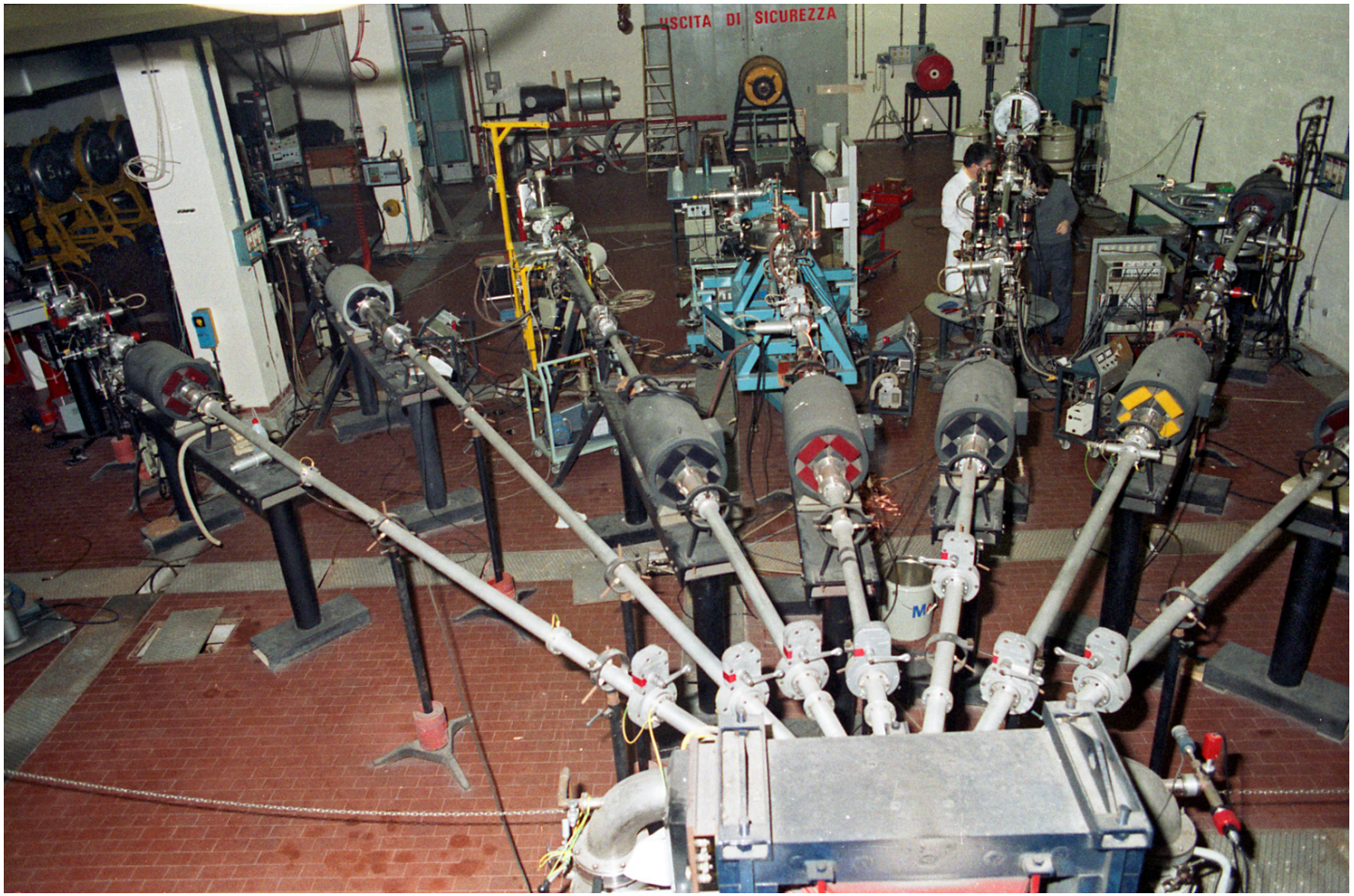
Fig. 1

Padova-Legnaro
A.Rostagni e C. Villi (foto 1983,in.Tandem)

3

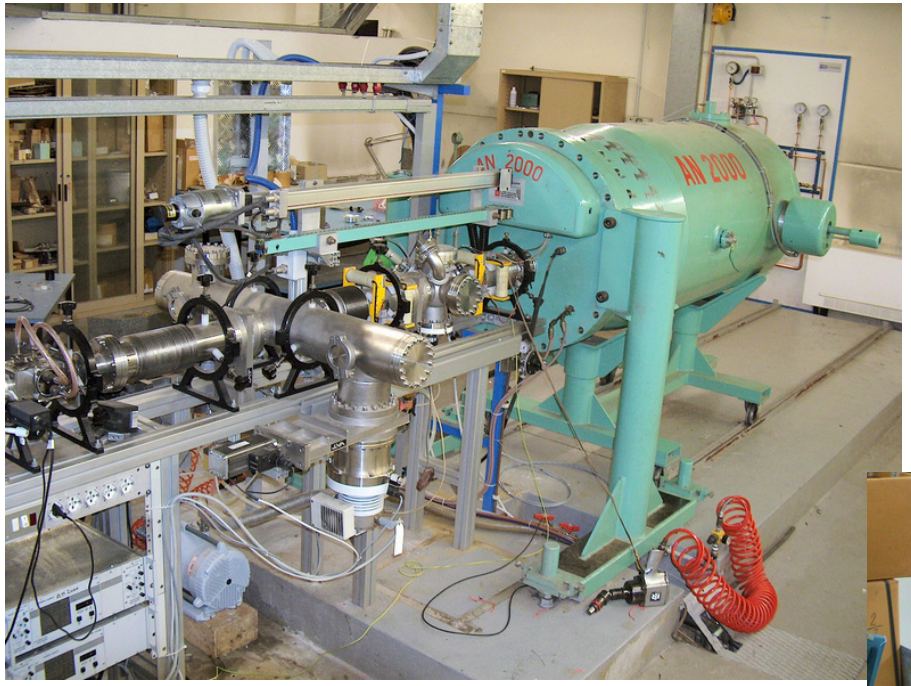
I 7 CANALI DEL CN 1970

SALA SPERIMENTALE

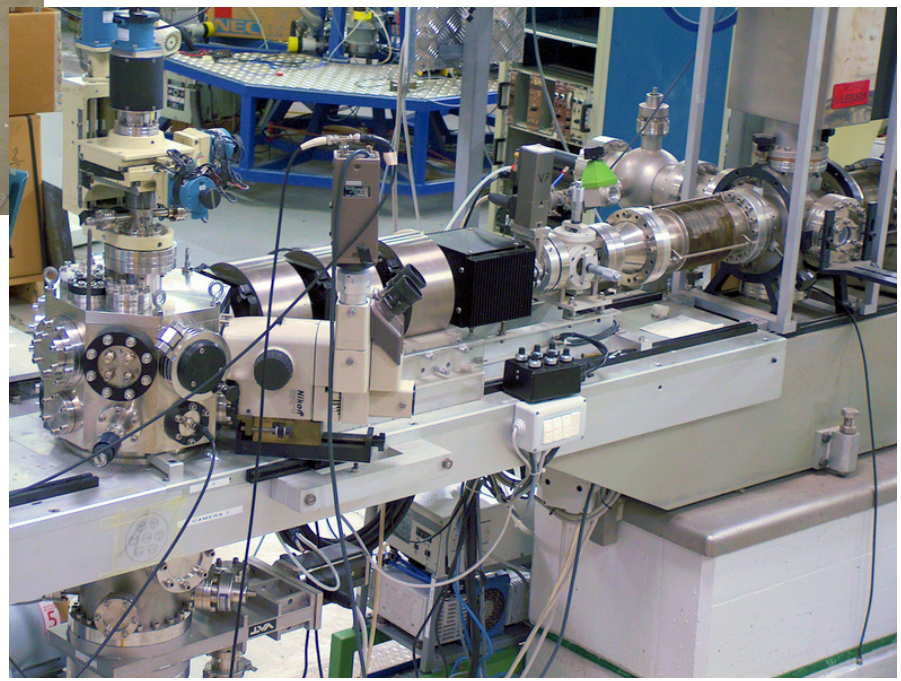


AN2000 - 1971

DINTORNI: ATTIVITA' INTER(MULTI)DISCIPLINARE



Microfascio 1992

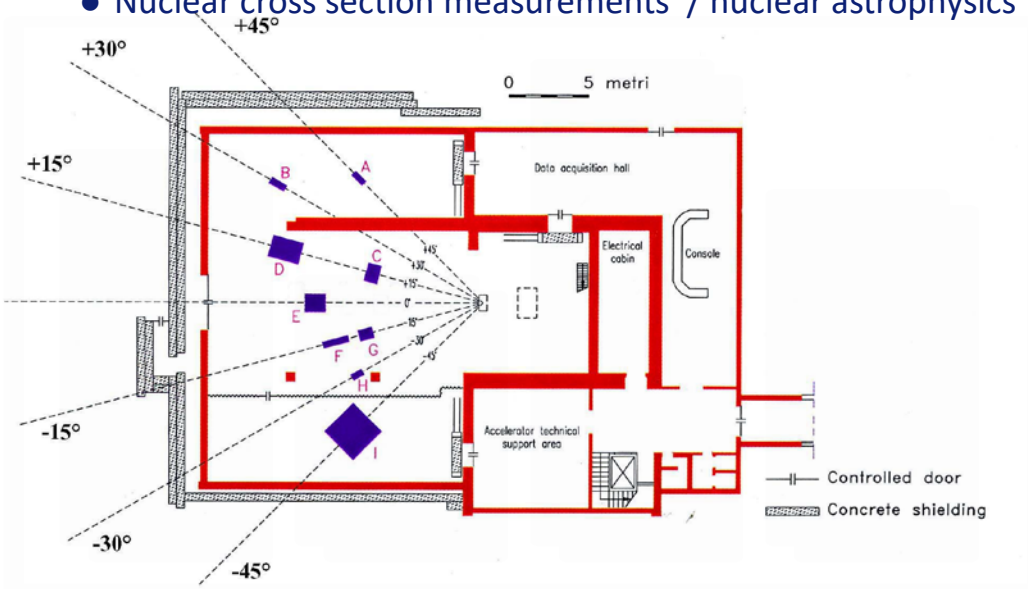


AN2000 and CN Accelerators for Applied Nuclear and Multi-disciplinary Research

CN (oper. since 1961)

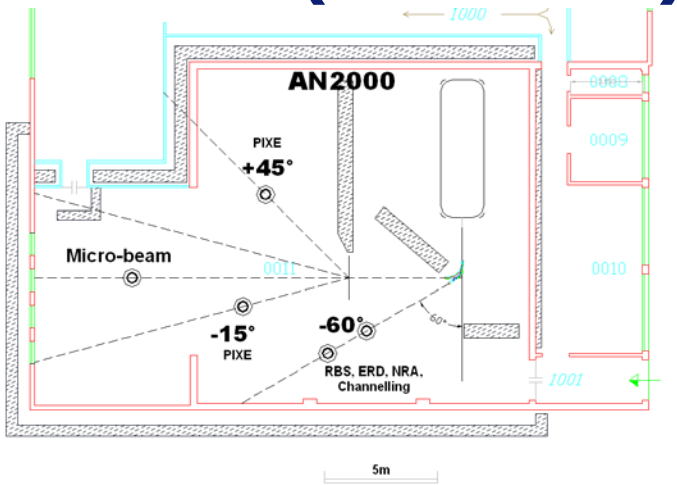
7 beam lines (1-6MV pulsed/cont, ^{1}H,^{2}H,^{3}He,^{4}He,^{14}N)

- Radiation-Biology (broad beam in air, single ion microbeam in air – resolution: **5μm**)
- Neutron Production (dosimetry/spectrometry):
  - $^{7}Li(p,n)^{7}Be$: Q=-1.644 MeV – thin target
  - $^{7}Li(d,n)^{8}Be$: Q=15.031 MeV – thin target
  - $^{9}Be(p,n)^{9}B$: Q=-1.85MeV, – thick target
  - $^{9}Be(d,n)^{10}B$: Q=4.361MeV – thick target
- Radiation Damage
- Ion Beam Analysis (NRA, EBS, ERDA, IBIL, PIXE, PIGE)
- Nuclear cross section measurements / nuclear astrophysics



Source: Valentino RIGATO INFN-LNL 2015

AN2000 (oper. 1971)



4 beam-lines (0.25-2.2MV ^{1}H,^{3}He,^{4}He)

- Micro-beam (best resolution: **1 μm**)
  - MicroPIXE, microIBICC, microIBIL
  - Ion Beam Writing (MEMS)
  - Single event
- Ion Beam Analysis
  - NRA, RBS, ERD, IBIL
  - Ion Channelling
- PIXE
  - Archaeology, Cultural Heritage
  - Environmental

CATTURA DELLA BALENA BIANCA (1981)

E INAUGURAZIONE DEL TANDEM (1982)

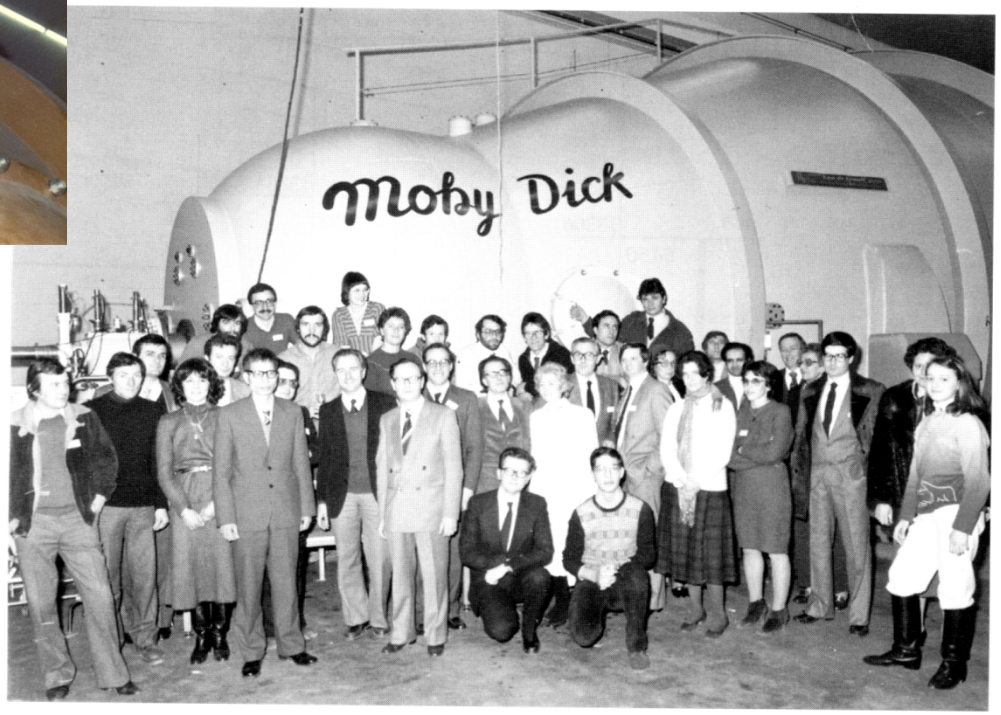


Fig. 17. – The celebration of the XTU Tandem Accelerator at LNL (January 23, 1982).

SALA SPERIMENTALE TANDEM

1982-1985

ALPI 1991

Evoluzione dei gruppi e delle ricerche di Spettroscopia Nucleare (Spettrometria ɣ)

- Napoli-Firenze-Padova-Legnaro
- 1961-1966-1971-1977-1983-anni 90 …….

- 1 rivoluz. Cont. Scint. NaI(Tl) rif. Napoli
- 2 rivoluz. Rivelatori al Germanio " Firenze
- 3 rivoluz. ɣ –Arrrays

(cfr LNL anni 1990 , 2000)

La nuova Spettroscopia nucleare

3° rivoluzione: *spettrometria gamma con γ-arrays ad alta risoluzione ed efficienza,spettroscopia sotto fascio con ioni pesanti;*

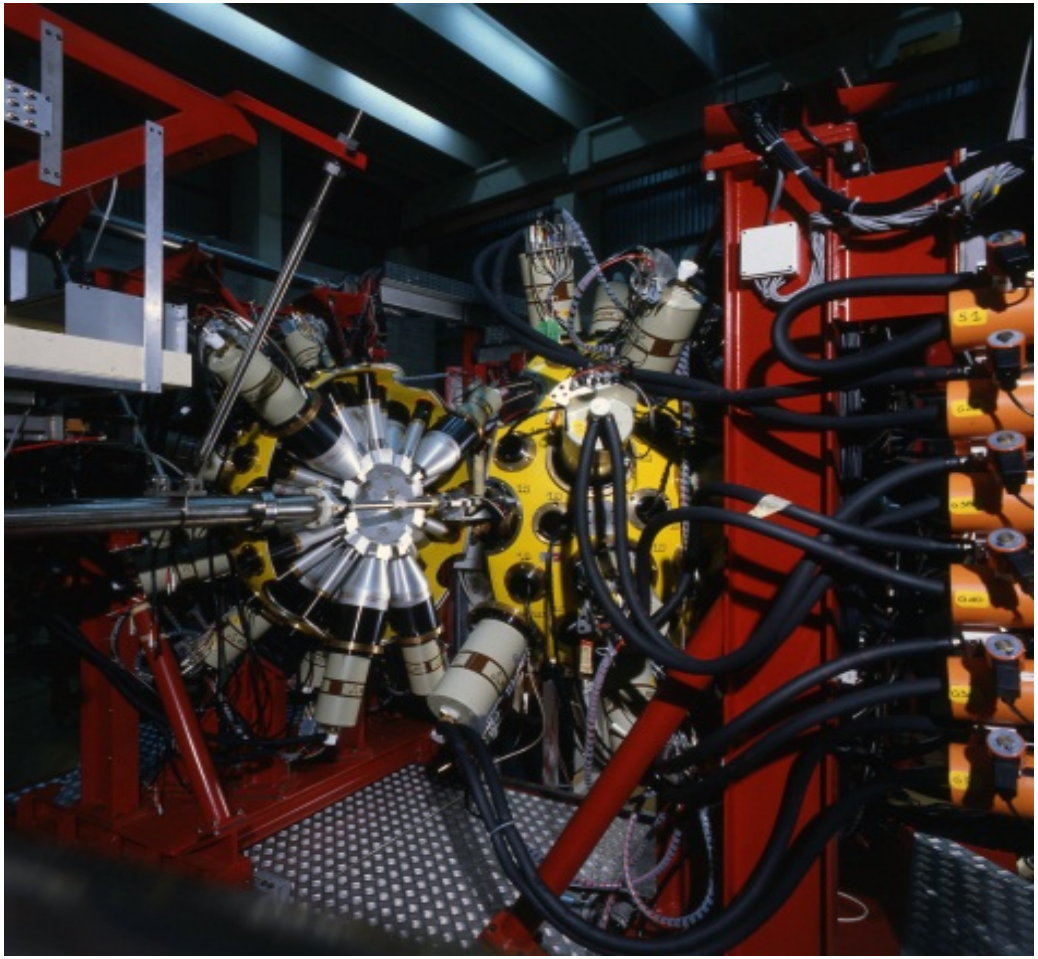
4° rivoluzione: *fasci di ioni pesanti radioattivi e spettroscopia di nuclei esotici lontano dalla valle di stabilità(cfr.drip lines) (*Cfr.LNL SPES)

Dalla concezione storica del modello a shell, dalle proprietà di particella singola e collettive ai calcoli più sofisticati con larghe configurazioni,alle proprietà di simmetria bosoniche e fermioniche.

R.A.R: Phenomenological Nuclear Spectroscopy,
Proc.Int.School"E.Fermi",Course CLXIX,
A.Covello, F.Iachello, R.A.Ricci, G.Maino, IOS Press,2008.

SPETTROSCOPIA GAMMA LNL-TANDEM (I.P)

GASP (PARTICOLARE)



Spettro γ del ^{144}Gd, banda SuperDeformata(cascata yrast)

- Legnaro GASP 1993 (cfr.C.Rossi Alvarez et al.)

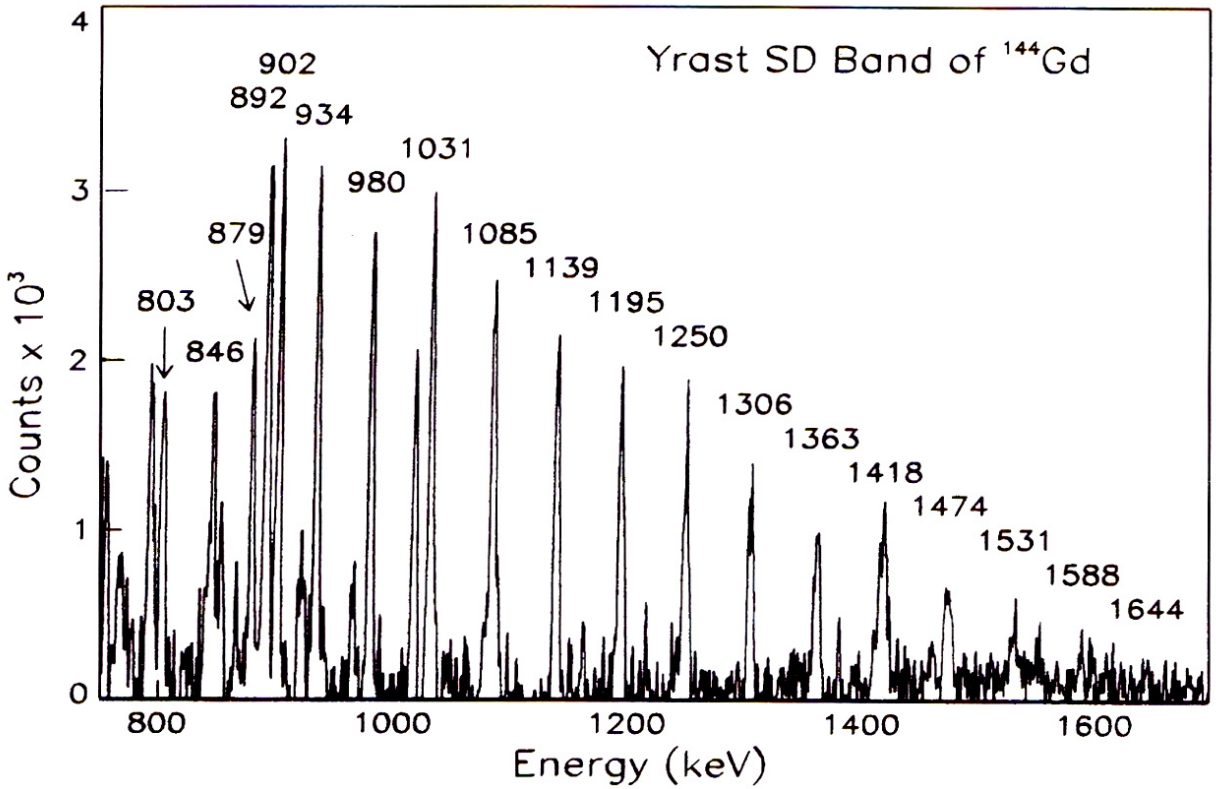


Fig. 12. – The yrast superdeformed band of ^{144}Gd showing a backbending at $E_\gamma = 900$ keV. The band numbers are marked by their transition energies in keV (LNL, 1993).

LNL-TANDEM
DINAMICA-REAZIONI NUCLEARI (IONI PESANTI)

- Es: GARFIELD

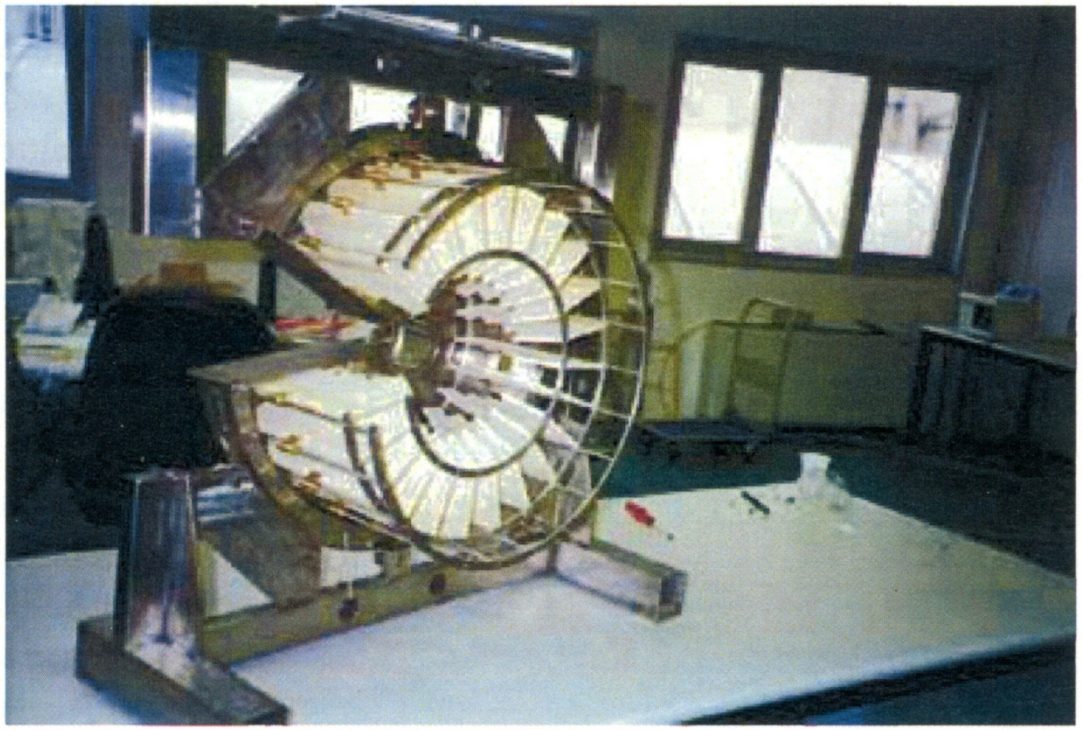


Fig. 26 GARFIELD (General Array for Fragment Identification and Emission of Light particle Dissipative collisions).

UN CAMMINO SCIENTIFICO DIDATTICO TRA LE TESI DI LAUREA

- Padova-LNL 1968-2000 VdG, Tandem (+ Monaco, Heidelberg); CERN
- Dalla Spettroscopia nucleare s.p.+ coll.($f_{7/2}$)a:
- Dinamica reazioni nucleari(int. Astrofisica); Ioni pesanti; processi dissipativi: fusione-fissione; deep inelastico; processi a 3 corpi.

Rivelatori, Apparati

Interazioni Antinucleone-nucleo- CERN-LEAR; OBELIX,

Collisioni Nucleo-Nucleo (I.P. relativistici) CERN-SPS: esp.Na57, WA97. Particelle strane.

CERN-LHC: ALICE (QGP)

F.Veronese 1969/70

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI SCIENZE

ISTITUTO DI FISICA "G. GALILEI"

TESI DI LAUREA

Determinazione di probabilità di transizione elettromagnetiche mediante misure di vite medie nucleari nella Shell S-D

Relatore: Ch.mo Prof. R. A. RICCI

Laureando: FRANCO VERONESE

ANNO ACCADEMICO 1969-70

A.Paloppi 1969/70

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Istituto di Fisica " G. Galilei "

Tesina di laurea

DETERMINAZIONE DELL' EFFICIENZA

DEI RIVELATORI AL Ge - Li

Relatore : dott. pref. Renato Ricci

Laureande : Alberto Paloppi

anno accademico 1969 - 70

M.Veggian 1971/72

Università degli Studi di Padova

Facoltà di Scienze

Istituto di Fisica "G. Galilei"

TESI DI LAUREA:

Livelli a momento angolare elevato ed effetto "back-bending" in bande rotazionali prodotte da reazioni con ioni pesanti.

Caso degli isotopi pari $^{130,132,134}Ce$.

Relatore
Prof. R. Ricci

Laureanda:
Mattea Veggian

Anno Accademico 1971-1972

A.Stefanini 1972/73

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Facoltà di Scienze

Istituto di Fisica "Galileo Galilei"

Tesi di Laurea

SPETTROSCOPIA GAMMA SOTTO FASCIO. STUDIO DI LIVELLI A PARITA' NON NATURALE NELLA REGIONE 1f7/2

Relatore: Ch.mo Prof. R. A. Ricci
Correlatore: Dott. C. Signorini

Laureando: Alberto Stefanini

Anno Accademico 1972-73

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI SCIENZE

ISTITUTO DI FISICA "G. GALILEI"

LABORATORI NAZIONALI DI LEGNARO

TESI DI LAUREA

STUDIO DELL'UTILIZZAZIONE DELL'ACCELERATORE TANDEM XTU COME SPETTROMETRO DI MASSA

Relatore: Ch.mo Prof. R. A. RICCI

Correlatore: Dott. P. BOCCACCIO

Laureanda: CRISTINA FANELLO

ANNO ACCADEMICO 1980-81

D.Fanello 1980/81

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI SCIENZE

ISTITUTO DI FISICA "G. GALILEI"

LABORATORI NAZIONALI DI LEGNARO

TESI DI LAUREA

STUDIO SPERIMENTALE DELL'ASSORBIMENTO DI PIONI NEGATIVI A RIPOSO IN ^{12}C

Relatore: Prof. R. A. RICCI

Correlatore Prof. G. PAULI

Laureando: ROBERTO CHERUBINI

ANNO ACCADEMICO 1980-81

R.Cherubini 1980/81

M.Temporal 1989/90

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTA' DI SCIENZE

DIPARTIMENTO DI FISICA "G. GALILEI"

TESI DI LAUREA

UN MODELLO PER L'OTTIMIZZAZIONE DEI PARAMETRI DI FASCIO-BERSAGLIO PER LA FUSIONE TERMONUCLEARE A CONFINAMENTO INERZIALE INDOTTA DA IONI PESANTI A IRRAGGIAMENTO DIRETTO

Relatore: Prof. RENATO ANGELO RICCI (UNIV. DI PADOVA)

Correlatore: Dott. STEFANO ATZENI (CENTRO ENEA, FRASCATI)

Laureando: MAURO TEMPORAL

ANNO ACCADEMICO 1989-90

CORSO DI LAUREA IN FISICA

TESI DI LAUREA

IDENTIFICAZIONE DI IONI PESANTI IN FISICA NUCLEARE.
REALIZZAZIONE DI UN RIVELATORE PROPORZIONALE
PER MISURE DI TEMPO DI VOLO E DI POSIZIONE

A.Dainelli 1981/82

Relatore: Prof. R.A. RICCI

Correlatore: Dott. G. PRETE

Laureando: ANTONIO DAINELLI

ANNO ACCADEM

L.Feltrin 1982/83

UNIVERSITÁ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTA' DI SCIENZE MM. FF. NN.
ISTITUTO DI FISICA -G. GALILEI-

TESI DI LAUREA

LA REAZIONE
$^{32}S + ^{100}Mo$ A 150 MeV

RELATORE: Chmo Prof. R. A. RICCI
CORRELATORE: Dott. G. VIESTI

LAUREANDA: LUCIA FELTRIN

ICO 1982-83

M.Bettiolo 1984/85

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Facoltà di Scienze MM.FF.NN.

Dipartimento di Fisica "Galileo Galilei"
Laboratori Nazionali di Legnaro

TESI DI LAUREA

STUDIO SPERIMENTALE DEI PROCESSI DISSIPATIVI
IN REAZIONI INDOTTE DA IONI PESANTI
AD ENERGIE DI CIRCA 5 MeV/nucleone.
CARATTERIZZAZIONE DEI MECCANISMI DI TIPO INTERMEDIO
NELLE REAZIONI $^{32}S + ^{63}Cu$ E $^{28}Si + ^{74}Ge$

Relatore: Prof. R. A. RICCI
Correlatore: Dott. P. BOCCACCIO

Laureando: MASSIMO BETTIOLO

demico 1984-85

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI SCIENZE
Istituto di Fisica « G. Galilei »
Laboratori Nazionali di Legnaro

F.Reffo 1982/83

Tesi di Laurea

Meccanismi di tipo intermedio nella reazione $^{32}S + ^{59}Co$ ad energie di circa 5 MeV/nucleone

Laureando: FABIO REFFO

Relatore: Prof. R. A. RICCI
Correlatore: Dott. P. BOCCACCIO

Anno Accademico 1982 - 83

UNIVERSITÁ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTA' DI SCIENZE MM. FF. NN.

DIPARTIMENTO DI FISICA "G. GALILEI"

I.N.F.N. LABORATORI NAZIONALI DI LEGNARO

TESI DI LAUREA

PROCESSI DISSIPATIVI A TRE CORPI IN REAZIONI
INDOTTE DA IONI PESANTI A BASSA ENERGIA
(STUDIO DELLA REAZIONE $^{32}S + ^{63}Cu$)

Relatore: Ch.mo Prof. R. A. RICCI
Correlatore: Dott. L. VANNUCCI

Laureando: DONÀ ROBERTO

R.Donà 1989/90

ANNO ACCADEMICO 1989 - 90

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI SCIENZE MM.FF.NN.
CORSO DI LAUREA IN FISICA

A.Bologna 1995/96

TESI DI LAUREA

GARFIELD: UN NUOVO APPARATO PER LO STUDIO DELLE COLLISIONI DISSIPATIVE INDOTTE DA IONI PESANTI ALLE ENERGIE DI ALPI

Relatore: Prof. R. A. Ricci

Correlatori:
Dott. F. Gramegna
Dott. L. Vannucci

Laureanda: Annarita Bologna

ANNO ACCADEMICO 1995-1996

TESI DI LAUREA

CARATTERIZZAZIONE DI NUOVI TIPI DI RIVELATORI A GAS, CON PARTICOLARE RIGUARDO A LORO POSSIBILI APPLICAZIONI NELLA FISICA DEGLI IONI PESANTI

RELATORE: CH.MO PROF. R.A. RICCI
CORRELATORE: DOTT. F. GRAMEGNA

LAUREANDA: LAURA TRAVAGLINI

L.Travaglini 1996/97

ANNO ACCADEMICO 1996 - 1997

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTÀ DI SCIENZE MM.FF.NN.
CORSO DI LAUREA IN FISICA

TESI DI LAUREA

CALIBRAZIONE CON IONI PESANTI DEI CRISTALLI DI IODURO DI CESIO E TEST DELLE CAMERE A DERIVA DELL'APPARATO G.AR.F.I.E.L.D.

RELATORE: Ch.mo Prof. R.A.RICCI
CORRELATORE:Dott. F. GRAMEGNA

LAUREANDO: MASSIMILIANO FALSIROLI

ANNO ACCADEMICO: 1997-1998

M.Falsiroli 1997/98

1

Cenno a proprietà spettroscopiche Correlazioni angolari β-γ e schemi di decadimento

ES: F.Demichelis e R.A.Ricci : « β-γ angular correlations of ^{208}Tl (ThC'')» Il.N.Cim. Serie X,vol.4,p.96.

Serie radioattiva del ^{228}RdTh (45µCurie) in equilibrio

anisotropia β-ɣ; catena radioattiva del ^{212}Bi e spettri ɣ del ^{207}Pb e del ^{208}Pb,

Assegnazione spin (Modello a shell) (*)

- (*)… *Il Modello a shell nasce nel 1949 (Wigner-Mayer-Jensen) e si sviluppa nel periodo 1950-1960.*
- *Parte essenziale: la Spettroscopia nucleare.*

E.Tomasi 1978/79

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI SCIENZE
Istituto di Fisica "G. Galilei"

Tesi di Laurea

Reazioni deep-inelastic indotte da ioni pesanti

LA REAZIONE $^{28}Si + ^{27}Al$

Relatore: Prof. R. A. RICCI
Correlatore: Prof. J. C. JACMART

Laureanda: EGLE TOMASI

Anno Accademico 1978-79

F.Gramegna 1978/79

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI SCIENZE
Istituto di Fisica "G. Galilei"
Laboratori Nazionali di Legnaro

Tesi di Laurea

Studio e realizzazione di un rivelatore di neutroni per la misura di sezioni d'urto nucleari di interesse astrofisico

Relatore: Ch.mo Prof. R. A. RICCI
Correlatori: Dott. P. BOCCACCIO
Dott. G. VIESTI

Laureanda: FABIANA GRAMEGNA

Anno Accademico 1978-79

C. Magnago 1979/80

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI SCIENZE
Istituto di Fisica "G. Galilei"
Laboratori Nazionali di Legnaro

Tesi di Laurea

Studio della reazione $^{4}He + ^{23}Na$ e sua importanza nella nucleosintesi stellare *

Relatore: Ch.mo Prof. R. A. RICCI
Correlatori: Dott. P. BOCCACCIO
Dott. G. VIESTI

Carla Magnago

Laureanda: CARLA MAGNAGO

Anno Accademico 1979-80

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI SCIENZE
Istituto di Fisica "G. Galilei"
Laboratori Nazionali di Legnaro

Tesi di Laurea

Realizzazione di un prototipo di rivelatore a gas per l'identificazione in massa di ioni pesanti

Relatore: Prof. R. A. RICCI
Correlatore: Dott. G. VIESTI

Laureanda: DANIELA FABRIS

D.Fabris 1980/81

Anno Accademico 1980/81

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI SCIENZE
Istituto di Fisica "G. Galilei"

Tesi di Laurea

Studio e realizzazione di un telescopio per l'identificazione in massa di prodotti di reazioni indotte da ioni pesanti

Relatore: Prof. R. A. RICCI
Correlatore: Dott. P. BOCCACCIO

Laureando: LUIGI VANNUCCI

L.Vannucci 1980/81

Anno Accademico 1980/81

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI SCIENZE
Dipartimento di Fisica "G. Galilei"
Laboratori Nazionali di Legnaro

Tesi di Laurea

FISICA DELL'INTERAZIONE ANTINUCLEONE - NUCLEO AL LEAR DEL CERN. SIMULAZIONE DI UN RIVELATORE DI VERTICE DELLO SPETTROMETRO OBELIX

Relatori: Dott.ssa F. GRAMEGNA
Prof. R. A. RICCI

Laureanda: MICHELINA GIAVEDONI

Al maestro approximente e approximante

M.Giavedoni 1987/88

Anno Accademico 1987-88

A.Andrighetto 1988/89

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTA' DI SCIENZE MM. FF. NN.

DIPARTIMENTO DI FISICA

TESI DI LAUREA

CANALI CON STRANEZZA INDOTTI DA REAZIONI TRA ANTIPROTONE E NUCLEO

Relatori:

Ch.mo Prof. R.A.Ricci

Ch.mo Prof. M. Morando

Laureando:

Alberto Andrighetto

ANNO ACCADEMICO 1988/89

UNIVERSITÁ DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTÁ DI SCIENZE MM.FF.NN.
CORSO DI LAUREA IN FISICA

TESI DI LAUREA

PRODUZIONE DI PARTICELLE STRANE NELLE COLLISIONI DI IONI Pb-Pb a 160 GeV/A

Relatore: *Ch.mo Prof. R.A. Ricci*
Laureanda: *Alessandra Cracco*
Correlatore: *Prof. M. Morando*

A.Cracco 1995/96

ANNO ACCADEMICO 1995-96

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

Corso di laurea in Fisica

TESI DI LAUREA

Il rivelatore di vertice (ITS) dell'esperimento ALICE al CERN

N.Bustreo 1999/00

Relatore: Ch.mo Prof. Renato Angelo Ricci

Correlatore: Dott. Luigi Vannucci

Laureando: Nicola Bustreo

ANNO ACCADEMICO 1999 - 2000

HIGH-ENERGY NUCLEUS-NUCLEUS COLLISIONS AND NUCLEAR MATTER

Renato A. RICCI

Department of Physics, University of Padova and Laboratori Nazionali di Legnaro - INFN, Padova

1. INTRODUCTION

Figure 1 shows a representation of the possible common inte-

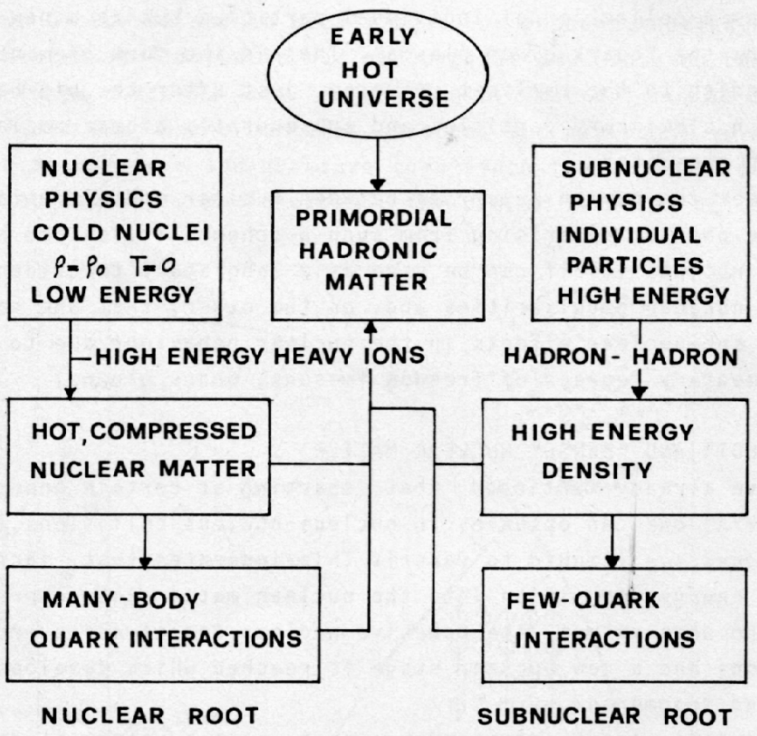


Fig. 1. Fundamental problems and corresponding rootes to approach them for nuclear and subnuclear physics, respectively. ρ_B, T and ε are the baryon density, temperature and energy-density, respectively.

INTERAZIONE IONI PESANTI:EVOLUZIONE MOMENTO ANGOLARE

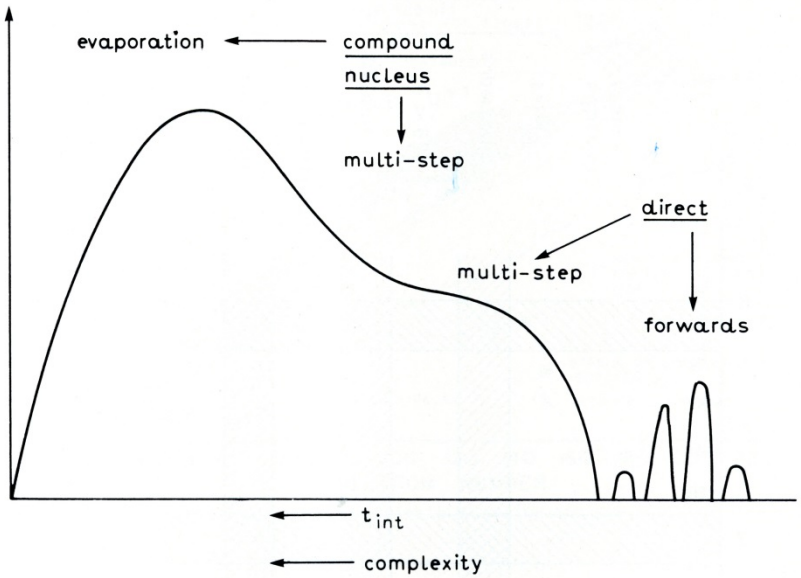
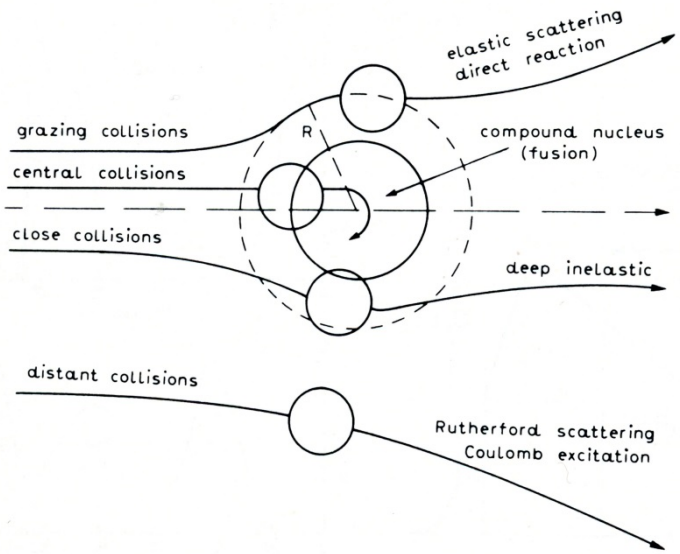


Fig. 3. The Fesbach diagram. The evolution, with increasing interaction time, from direct to compound (evaporation) process, through multi-step intermediate stages, is indicated.



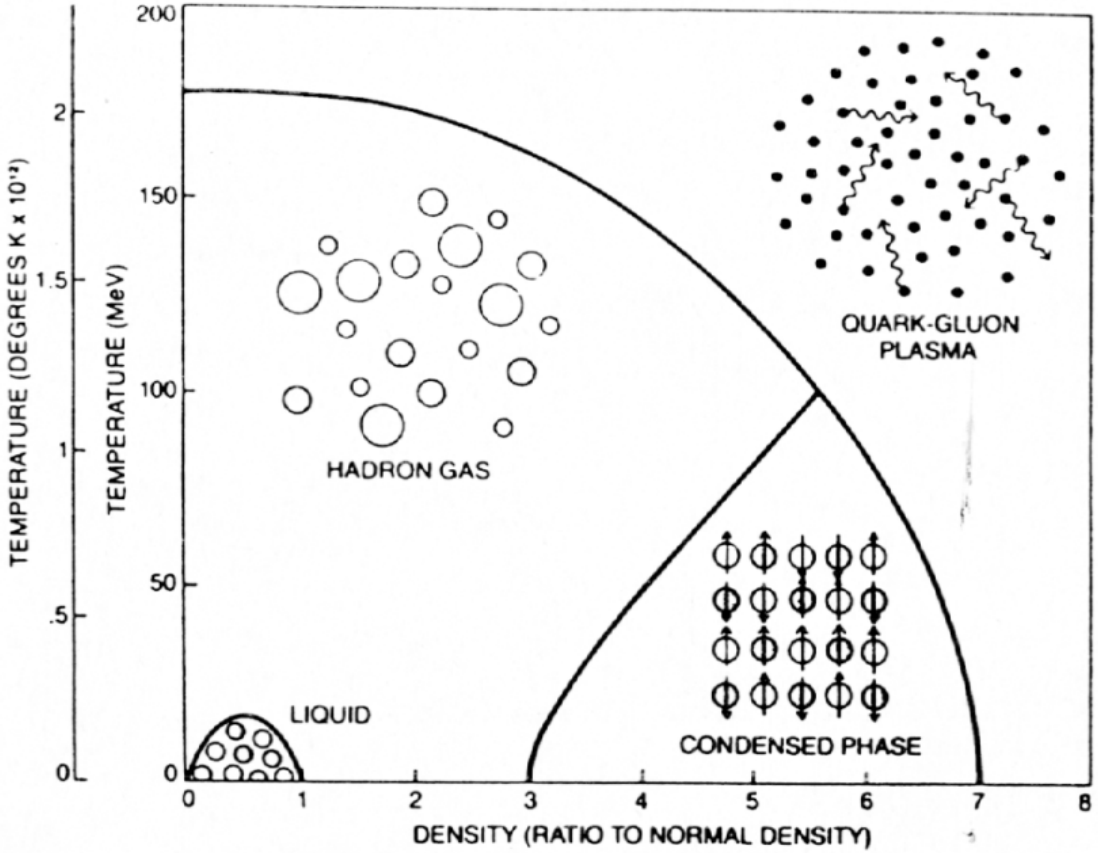


Fig. 2. Phase diagram (T,ρ) of nuclear matter with the different speculative fundamental states (from ref. 9).

High-Energy Nucleus-Nucleus Collisions

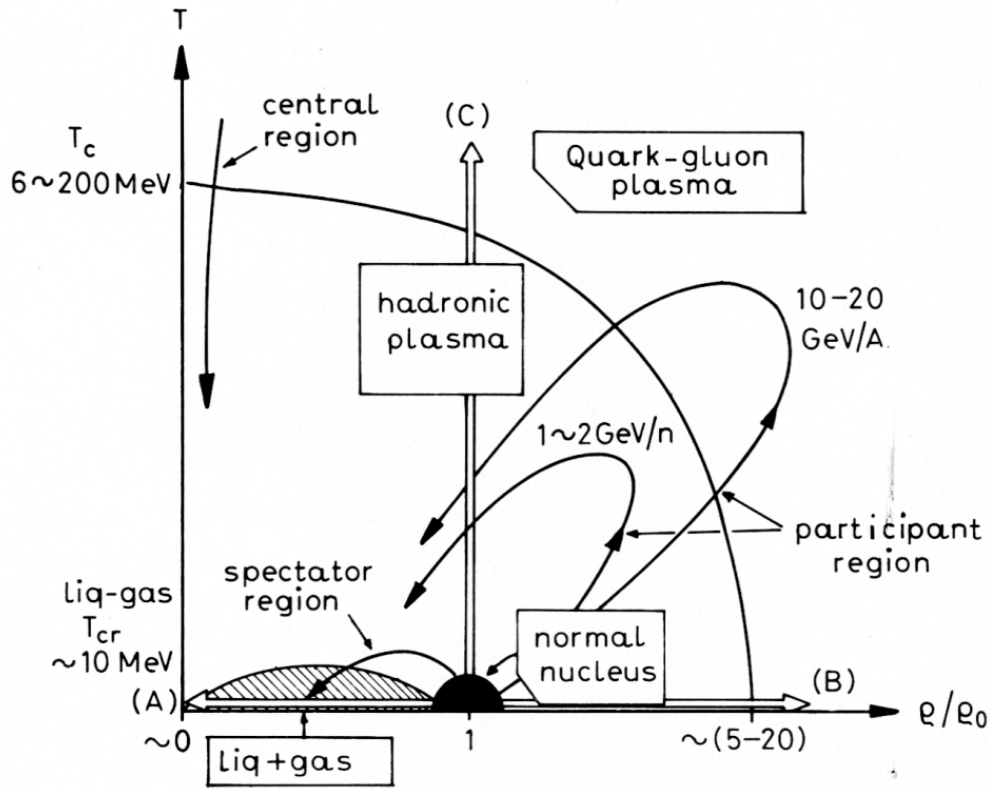


Fig. 3. The different roots to new phases of nuclear matter (from ref. 3).

ALICE

Nel paese delle meraviglie

NATURE PHYSICS | LETTER OPEN

Enhanced production of multi-strange hadrons in high-multiplicity proton–proton collisions

ALICE Collaboration

Using heavy-ion collisions at the LHC to test the CPT invariance: a precision measurement of the mass difference between light nuclei and anti-nuclei by ALICE

A. Dainese[1], R.A. Ricci[2]

[1] *INFN, Sezione di Padova, Padova, Italy.* [2] *INFN, Laboratori Nazionali di Legnaro, Legnaro (Padova), Italy.*

First ALICE results from proton-lead collisions at LHC

A. Dainese[1], R.A. Ricci[2], L. Vannucci[3]

[1] *INFN, Sezione di Padova, Padova, Italy.* [2] *Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Padova, Padova, Italy.*
[3] *INFN, Laboratori Nazionali di Legnaro, Legnaro (Padova), Italy.*

In memory of Luigi Vannucci

INTRODUCTION

In September 2012, the LHC provided proton–lead (pPb) collisions for the first time, two years after its heavy-ion collisions opened a new chapter in exploration of the properties of the deconfined, chirally symmetrical state of matter known as quark–gluon plasma (QGP). Until then, measurements in lead–lead (PbPb) collisions had been typically compared with the corresponding proton–proton (pp) results to assess the properties of the QGP. The strategy proved to be successful but remained incomplete. Indeed, within such an approach, the initial wave function of the colliding nuclei is not taken into account. This consideration was the primary motivation for including the measurements in pPb collisions as part of the heavy-ion programme at the LHC, with the expectation of being able to disentangle effects arising from the structure of the initial state of the collision – often dubbed "cold nuclear matter" effects – from the final-state effects related to the medium created, presumably, only in PbPb collisions.

ALICE collected data from pPb collisions at the LHC during both the short pilot run in September 2012 and the longer high-luminosity run in January and February 2013. In these runs, the energy in the nucleon–nucleon centre-of-mass system was $\sqrt{s_{NN}}$ = 5.02 TeV.

RESULTS

The results from the basic control measurements, the charged-particle multiplicity density and transverse-momentum spectrum, were in agreement with expectations experimental uncertainties. The above observations confirm that the suppression of high transverse-momenta hadrons and jets observed in central PbPb collisions can be attributed to a final-state effect, namely, the energy loss experienced by partons traversing the medium created in these collisions.

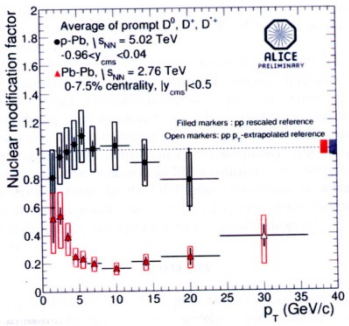


Fig. 1. Nuclear modification factor of charmed mesons in pPb and in central PbPb collisions, measured by ALICE as a function of transverse momentum pT. Deviations from unity quantify the modification of the particle production in nuclear collisions with respect to a superposition of independent nucleon-nucleon collisions.

Gruppi e Connessioni

- Amsterdam : R.K. GIRGIS, R.A. Ricci, R. VAN LISHOUT, A.H.WAPSTRA, C.YTHIER, G.WOLZAK
- Napoli :
- RAR, G.CHILOSI, P.CUZZOCREA, A.COVELLO, G.B.VINGIANI,
- G.VARCACCIO, V.MANFREDI, S.MONARO,G.SARTORIS,
- C.ROSSI ALVAREZ,M.DROSI, G.SPERANZA, A.BUSCEMI,
- A.BARONE,G.GRECO. (+R.MUSTO,F.NICODEMI)
- Orsay : M.JEAN,J.TOUCHARD,M.PAUTRAT,M.RIOU, J.C.JACMART, C.RUHLA, H.DOUBRE, M.LIU, L.VALENTIN
- Firenze:
- RAR, P.BLASI, P.G.BIZZETI, P.MAURENZIG, P.SONA, A.M.BIZZETI-SONA, N.TACCETTI, BOCCIOLINI,T.FAZZINI, M.BINI, P.MANDO'
- Trieste: G.POIANI,G,PAULI, U.ABBONDANNO,R.GIACOMICH, M.LAGONEGRO – C.CERNIGOI
- Bologna: A.BERTIN,A.VITALE, I.MASSA.G.VANNINI, MAURO
- Milano:I.IORI,A.MORONI
- Bari: A.PANTALEO; G. D'ERASMO,.
- **Torino:**T.BRESSANI , L.RICCATI,
- Padova:
- I.FILOSOFO,F.PELLEGRINI, F.BRANDOLINI, C SIGNORINI, A.BRUSEGAN, M.MORANDO, (+RAR, G.B.VINGIANI, C.ROSSI ALVAREZ, V.MANFREDI), G.VIESTI, A.VITTURI, F.BORTIGNON,
- S.LUNARDI,G.VIESTI,G.NEBBIA.I,D.FABRIS,G.MONTAGNOLI, BAZZACCO,S.LENZI
- LNL:
- RAR,, A.M.STEFANINI, G.FORTUNA,F.GRAMEGNA, M.DE POLI,P.BOCCACCIO, L.VANNUCCI, M.LOMBARDI,L.CORRADI,G.DE ANGELIS, D.NAPOLI,G.PRETE,R.DONA'
- + Monaco:
- H.MORINAGA:, W.KUTSCHERA, R.B.HUBER, (M.MORANDO,C.SIGNORINI,R.A.R.)
- Strasburgo.
- J.P.COFFIN, P.FINTZ, G.GUILLAUME, B.HEUSCH, F.JUNDT, F.RAMI, P.WAGNER

IT HAS BEEN A LONG WAY TO GO.
STOP?
GRAZIE…. THANK YOU

R.A.R

WHAT NEXT?

The best way to know the future of physics is to stay alive as much as possible

Freeman Dyson