Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 33 (1960)
Heft: [5]: Supplementum 5. Beiträge zur Entwicklung der Physik

Artikel: Kernspektroskopie
Autor: Bleuler, E. / Steffen, R.M.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-422254

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Kernspektroskopie

Von E. BLEULER und R. M. STEFFEN, Purdue University, Lafayette, Indiana, USA

Bedeutung der Kernspektroskopie

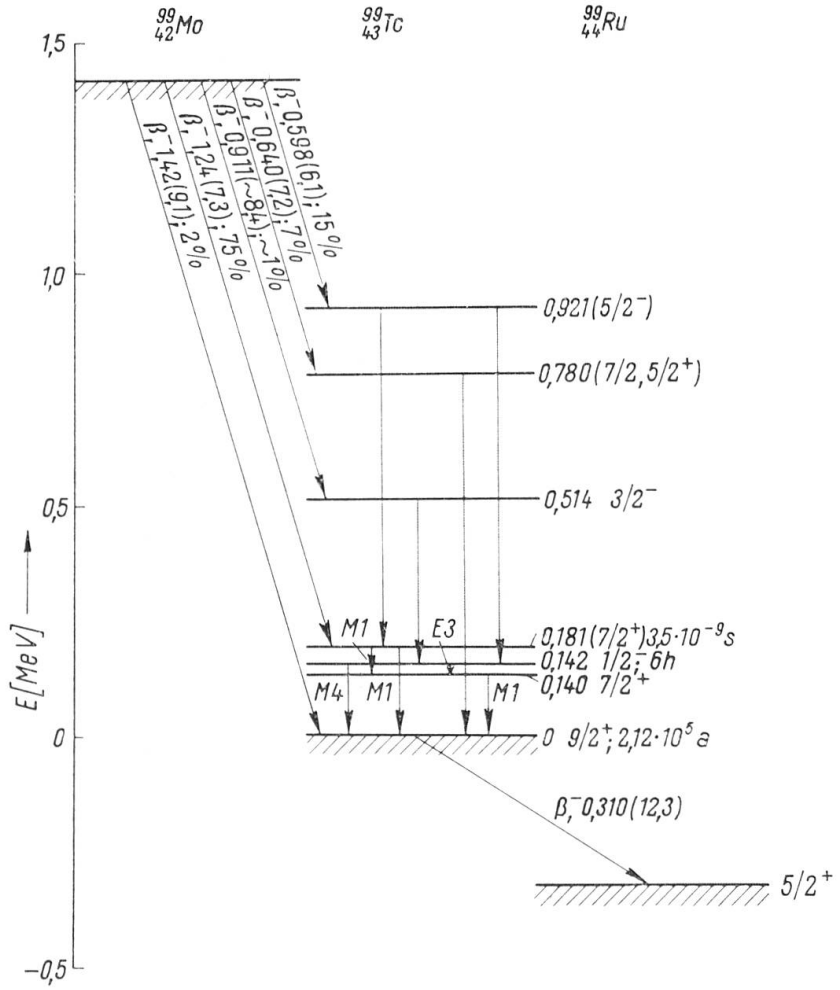
Kernspektroskopie ist das älteste Gebiet der Kernphysik. Kurz nach der Entdeckung der Radioaktivität durch BECQUEREL [1][1]) (1896) wurde die Frage nach der Art der emittierten radioaktiven Strahlung und deren Energiespektren, sowie deren Beziehung zu den emittierenden Körpern weitgehend untersucht und diskutiert [2, 3]. Allerdings erst von 1911 an, als RUTHERFORD die Kernhypothese des Atoms vorschlug, kann man von einem selbständigen Forschungsgebiet der Kernspektroskopie reden. Zuverlässige und genauere kernspektroskopische Messungen begannen etwa um 1920. In neuerer Zeit hat die Kernspektroskopie eine ungeheure Wiederbelebung erfahren durch das Entstehen quantitativer Theorien, die es erlauben, die gemessenen Daten befriedigend zu interpretieren. Physikalisch ausserordentlich wesentliche und fundamentale Erkenntnisse sind durch kernspektroskopische Untersuchungen gewonnen worden, wie zum Beispiel die Entdeckung des Neutrinos, der Kernisomerie und der Nichterhaltung der Parität im Betazerfall.

Kernspektroskopie befasst sich mit der Untersuchung und Klassifizierung der charakteristischen Eigenschaften der Kernzustände. In den meisten, jedoch nicht allen Fällen werden diese Kerneigenschaften eruiert auf Grund von Messungen an Kernstrahlungen, die von den betreffenden Kernzuständen emittiert werden, oder die zu den betreffenden Kernzuständen führen. Genau so wie die präzisen atomspektroskopischen Untersuchungen der Energiezustände der atomaren Elektronenschalen zuerst zum Bohr-Modell führten und dann zur Entdeckung und Entwicklung der Quantenmechanik beitrugen, so haben kernspektroskopische Untersuchungen zu umfangreichen und genauen Kenntnissen der Kernzustände beigetragen, so dass in vielen Fällen eine Interpretation der Daten auf Grund gewisser Modellvorstellungen möglich ist. In neuester Zeit sind wesentliche Fortschritte gemacht worden, diese Kernmodelle als Vielkörperprobleme von der Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung her zu verstehen [4]. Eine allgemeine Theorie der Kernstruktur, die auf Grund

[1]) Die Ziffern in eckigen Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis, Seite 144.

fundamentaler Prinzipien die Eigenschaften aller Kernzustände richtig zu beschreiben vermag, steht allerdings noch aus.

Das Ziel einer kernspektroskopischen Untersuchung eines Kernes ist die vollständige Kenntnis der Eigenschaften aller Zustände eines Kernes und aller Übergänge zwischen diesen Zuständen sowie die Angabe und



Termschema des $^{99}_{43}Tc$. Alle Energiewerte sind in MeV angegeben. Die log ft-Werte der Betaübergänge sind in Klammern angeführt.

Charakterisierung aller Übergänge zwischen den Zuständen des betreffenden Kernes und denjenigen benachbarter Kerne. Die Zusammenfassung dieser Grössen geschieht am praktischsten anhand eines Termschemas, wo jeder Kernzustand durch eine horizontale Gerade dargestellt wird, deren Position innerhalb einer Energieskala die Anregungsenergie des Zustandes bezeichnet. Die anderen charakteristischen Grössen eines Kernniveaus, wie Lebensdauer, Spin, Parität, magnetische und elektrische Momente, Isotopenspin, Bahnmomente ungerader Nukleonen usw. werden angeschrieben. Die Angabe von Kernübergängen geschieht durch

Pfeile. Die charakteristischen Eigenschaften der dabei emittierten Strahlung, wie Energie, Verzweigungsverhältnisse, Multipolordnung, ft-Werte im Betazerfall, Konversionskoeffizienten bei Gammaübergängen usw., werden ebenfalls angeschrieben. Die Figur stellt als typisches Beispiel das Termschema des Kernes ^{99}Tc dar. Eine Zusammenstellung aller bekannten Termschemata findet sich in den *Table of Isotopes* [5], welche von STROMINGER, HOLLANDER und SEABORG zusammengestellt wurden und in den *Skhemy Raspada Radioaktivnykh Izotopov* [6] von DZHELEPOV und PEKER. Eine fortlaufend ergänzte Katalogisierung kernspektroskopischer Daten stellen die *Nuclear Data Cards* dar, die von der Nuclear Data Group des National Research Council in Washington (USA) herausgegeben werden.

Die Bestimmung eines Termschemas ist im allgemeinen kompliziert und erfordert die Anwendung und Koordinierung vieler verschiedener Untersuchungsmethoden. Die Strahlungsarten, anhand deren Untersuchung die gewünschten Kerneigenschaften ermittelt werden, sind im wesentlichen Alpha- und Betateilchen für Übergänge zwischen Niveaus verschiedener Kerne, Gammaquanten und Konversionselektronen für Übergänge zwischen Zuständen eines gegebenen Kernes. Die Grössen, welche direkt bestimmt werden können sind a) Übergangsenergien und Energiespektren, b) Übergangswahrscheinlichkeiten – absolut durch Messung der Lebensdauer eines Zustandes, relativ durch Bestimmung des Verzweigungsverhältnisses zwischen verschiedenen emittierten Strahlungen, c) Koinzidenzen zwischen Strahlungen, d) Polarisation und e) räumliche Verteilung einer Strahlung in bezug auf eine bevorzugte Richtung, die entweder durch Ausrichtung des Spins des emittierenden Kernes in einem äusseren Feld oder aber durch die Emissionsrichtung einer vorhergehenden Strahlung (siehe E. HEER, Richtungskorrelation, Seite 157) gegeben ist. Die Zuordnung von Spin, Isotopenspin und Konfigurationen zu den Zuständen und von Multipolordnungen zu den Übergängen erfolgt dann für a), b) und c) auf Grund von Auswahlregeln, die natürlich zuerst festgelegt werden mussten, während der Zuordnung für d) und e) im wesentlichen ein geometrisches Problem zugrunde liegt (siehe E. HEER, Richtungskorrelation, Seite 157). Eine ausgezeichnete Einführung in die moderneren Arbeitsmethoden der Kernspektroskopie ist in dem Handbuch von K. SIEGBAHN, *Beta and Gamma Ray Spectroscopy* [7] und in dem neueren Werk *Nuclear Spectroscopy* von F. AJZENBERG-SELOVE [8] zu finden.

Entwicklung der Kernspektroskopie in Zürich

Eine strikt chronologische Übersicht über die kernspektroskopischen Arbeiten im Scherrerschen Institut der ETH wäre sehr schwerfällig, da gleichzeitige Untersuchungen verschiedener Gruppen sich oft über mehrere Jahre erstreckten. Wir ziehen es daher vor, die einzelnen Probleme

mehr oder weniger zusammenhängend zu behandeln. Das Literaturverzeichnis wird insofern unvollständig sein, als wir im allgemeinen Sitzungsberichte nicht anführen werden, falls die gleiche Arbeit in einem vollen Artikel erschien.

Die ersten Arbeiten (1943) behandelten, geziemenderweise, Probleme der natürlichen Radioaktivität: Betazerfall des RaA [9], Zerfall des UX [10], Halbwertzeit des ThC′ [11]. Da ThC′ durch Betazerfall des ThC gebildet wird und mit einer Halbwertzeit von $2{,}6 \cdot 10^{-7}$s zerfällt, mussten Zeitintervalle der Grössenordnung 10^{-7}s zwischen den Betastrahlen des ThC und den Alphateilchen des ThC′ gemessen werden. Zu diesem Zwecke entwickelten BRADT und SCHERRER eine Koinzidenzapparatur, mit welcher sie ein damals sehr beachtliches Auflösungsvermögen von $8 \cdot 10^{-8}$s – mit Geigerzählern – erreichten [12]. Die Messung der Konversionslinien des UX erfolgte mit Hilfe eines 180°-Betaspektrometers. Diese Arbeit wurde zu einer Untersuchung der UX_2–UZ-Isomerie erweitert [13,14].

Kernspektroskopische Arbeiten mit künstlich radioaktiven Substanzen begannen etwa 1944. Da die Stärke der Quellen, welche mit der Li-Gammastrahlung der Van-de-Graaff-Maschine hergestellt werden konnten, für Energiebestimmungen in magnetischen Spektrometern nicht ausreichte, benutzten WÄFFLER und Mitarbeiter ein einfaches Absorptionsverfahren für die Ermittlung von Beta- und Gammaenergien [15–17]. Die Methode wurde von BLEULER und ZÜNTI [18] verfeinert und in der Untersuchung der Zerfallsschemata mehrerer Radioisotope verwendet, welche mit Hilfe der D–D-Neutronen des Tensators produziert wurden [19–22].

Mit der Fertigstellung des Zyklotrons in 1944 wurde es möglich, genügend starke Quellen künstlich radioaktiver Substanzen herzustellen, um Präzisionsmessungen durchzuführen. Eines der ersten Probleme war die Prüfung der Fermischen Theorie des Betazerfalls durch Vergleich von Positronenemission und Elektroneneinfang. Arbeiten im Zusammenhang mit diesem Problem erstreckten sich von 1945 bis 1949 und bestätigten im wesentlichen die Theorie [23–25].

Ein zweites Problem war dasjenige der Isomerie oder, allgemeiner, des Zusammenhanges zwischen der Multipolordnung eines Gammaüberganges und den Übergangswahrscheinlichkeiten für Gammaemission und innere Konversion. Die Lage war zunächst ziemlich verworren, da zu dieser Zeit genaue theoretische Berechnungen der Konversionskoeffizienten und befriedigende Abschätzungen der Gammaübergangswahrscheinlichkeiten fehlten. Viele Klassifizierungsversuche scheiterten bis zu dem Erscheinen der Arbeiten von GOLDHABER und SUNYAR [26], WEISSKOPF [27] und ROSE und Mitarbeitern [28]. Der Beitrag der Zürcher

Gruppe lag in der experimentellen Bestimmung mancher der Daten, welche die schliessliche Abklärung möglich machten. Einige dieser Isomere wurden während mehreren Jahren, mit ständig verbesserten Methoden, untersucht. Als Beispiel mögen ^{107m}Ag und ^{109m}Ag dienen. Im ersten Artikel [29] (1947) werden die Konversionskoeffizienten ($\alpha = N_e/N_\gamma$) durch Messung der Elektronenintensität N_e im 180°-Spektrometer und Messung der Gammaintensität N_γ in geeichten Geigerzählern [30] bestimmt. Eine zweite Untersuchung wurde mit Hilfe des im Jahre 1948 von ZÜNTI gebauten Linsenspektrometers [31] durchgeführt. Da dieses Instrument eine hohe Lichtstärke hat, ist es möglich, Koinzidenzen zwischen den fokussierten Elektronen einerseits und den gleichzeitig emittierten Gamma- oder Elektronenstrahlen andererseits zu messen. Mit Hilfe solcher Koinzidenzmessungen zwischen den im Spektrometer fokussierten Auger-Elektronen und den Konversionselektronen konnten HUBER, HUMBEL, SCHNEIDER und DE-SHALIT (1951/2) sowohl die Konversionskoeffizienten als auch die Auger-Koeffizienten bestimmen [32, 33]. Bevor diese Messungen durchgeführt werden konnten, war es notwendig, schnelle Koinzidenzschaltungen zu untersuchen [34], Anthrazenszintillationszähler zu entwickeln [35, 36] und eine zuverlässige Methode für die Messung der Auger-Elektronen im Linsenspektrometer zu finden [37]. In einer dritten Messung (1953) wurde wiederum das Verhältnis N_e/N_γ durch direkte Messung von N_e im geeichten Linsenspektrometer und direkte Messung von N_γ im geeichten Szintillationsspektrometer bestimmt [38]. Die Entwicklung der quantitativen Gammastrahl-Szintillationsspektroskopie in Zürich war das Verdienst von MAEDER, welcher seine in Basel begonnene Technik des Graukeilspektrographen [39] zu einer vielseitig anpassungsfähigen Präzisionsmethode ausbaute [40–43].

Die gleiche Folge von Messmethoden wie bei den Silberisomeren wurde bei der Untersuchung einer Gruppe von Pt-, Au- und Hg-Isotopen angewendet. Sie erstreckte sich von einer ersten Arbeit von STEFFEN, HUBER und HUMBEL (1949) zu einem abschliessenden Bericht von BRUNNER, HALTER und SCHERRER im Jahre 1958 [44–50]. In dieser Serie wird eine bezeichnende Interessenverschiebung sichtbar. In der ersten Arbeit war eines der Hauptziele die Bestimmung von Konversions- und Auger-Koeffizienten, wobei die Abklärung der Zerfallsschemata im wesentlichen Mittel zum Zweck war; in den späteren Arbeiten dagegen rückte die Deutung der Zerfalls- und Termschemata im Sinne des 1949 vorgeschlagenen Schalenmodells [51–52] in den Vordergrund. Tatsächlich ist das bemerkenswerteste Resultat dieser Untersuchungen die Ähnlichkeit der Niveauschemata von Kernen, die sich nur um zwei Neutronen unterscheiden, zum Beispiel ^{193}Au, ^{195}Au, ^{197}Au, im Einklang mit dem Einteilchenmodell, nach dem das «Leuchtnukleon», in diesem Falle das letzte Proton, den Charakter der Kernzustände bestimmt.

Etwas komplizierter ist der Fall der ungerade-ungeraden Kerne, deren Eigenschaften im einfachsten Falle durch die Art der Kopplung des letzten Protons und des letzten Neutrons gegeben werden. Beiträge zu diesen Problemen sind in Arbeiten von MUKERJI und PREISWERK über den Zerfall der Ga-Isotope [53] und von MEDICUS und Mitarbeitern über den Zerfall der Tc-Isotope [54] enthalten. Zwei interessante Einzelheiten mögen im Zusammenhang mit den Tc-Untersuchungen erwähnt werden: In ^{99}Tc wurde ein Isomer mit nur 1,8 keV Anregungsenergie gefunden [55, 56], welches die kleinste bekannte Trennung von Kernniveaus ist, und die Röntgenstrahlung dieses Atoms – welches ja in der Natur nicht stabil vorkommt – wurde von MARMIER und Mitarbeitern mittels eines Cauchois-Spektrographen gemessen [57]. Das Problem der Kopplung der beiden ungeraden Nukleonen ist besonders interessant bei Kernen mit gleicher Protonen und Neutronenzahl, da Niveaus mit Isotopenspin 0 und 1 auftreten, die energetisch nicht stark verschieden sind. Die Frage der relativen Lage dieser Zustände wurde in einer Arbeit von STÄHELIN geklärt, in welcher ^{38}K und ^{34}Cl untersucht wurden [58].

Es würde zu weit führen, alle übrigen kernspektroskopischen Arbeiten, die sich mit verschiedenen Isotopen befassen, im Detail zu beschreiben. In einigen der früheren Arbeiten liegt das Hauptinteresse in der Bestimmung von Konversionskoeffizienten [59–61], in andern ist das Gammaspektrum, inklusive innere Bremsstrahlung, das Hauptobjekt [62–65], während in einem Grossteil der Untersuchungen die Aufstellung eines volltändigen Zerfallsschemas angestrebt wird [66–71].

Die Zürcher Arbeiten sind im allgemeinen durch die Anwendung und Kombination aller verfügbaren Methoden – magnetische und Szintillations-Spektrometer, Proportionalzählrohre, Koinzidenzmessungen – ausgezeichnet. In einer der neuesten Arbeiten über den Zerfall des ^{181}W von DEBRUNNER, HEER, KÜNDIG und RÜETSCHI [72] wurde zusätzlich die Technik der Richtungskorrelationsmessung verwendet, deren systematischer Gebrauch in der Kernspektroskopie von grossem Nutzen sein wird.

Die Entwicklung der Kernspektroskopie in Zürich ist ein deutliches Beispiel dafür, wie in einer relativ kurzen Zeitspanne die Messmethoden der Kernphysik gewaltig verfeinert und erweitert worden sind. Der begeisternden Initiative Professor SCHERRERS ist es weitgehend zu verdanken, dass im Physikalischen Institut der ETH immer mit den neuesten Methoden gearbeitet wurde, und sein unermüdlicher Ansporn war dafür verantwortlich, dass immer wieder neuartige und bedeutende physikalische Probleme in Angriff genommen wurden.

Über die systematische Klassifizierung und Deutung kernspektroskopischer Ergebnisse und die theoretische Entwicklung der Kernmodelle wird an anderer Stelle berichtet.

LITERATURVERZEICHNIS

[1] H. BECQUEREL, C. r. *122*, 420, 501, 559, 689, 762, 1086; *123*, 855 (1896).

[2] Mme PIERRE CURIE, *Radioactivité* (Paris 1935).

[3] E. RUTHERFORD, J. CHADWICK und C. D. ELLIS, *Radiations from Radioactive Substances* (Cambridge 1930).

[4] K. A. BRUECKNER et al., Phys. Rev. *110*, 431, 597 (1958); Phys. Rev. *109*, 1023 (1958).

[5] STROMINGER, HOLLANDER und SEABORG, Rev. mod. Physics *30*, 585 (1958).

[6] D. S. DZHELEPOV und L. K. PEKER, *Skhemy Raspada Radioaktivnykh Izotopov* (Akademia Nauk USSR, Moskau 1957).

[7] K. SIEGBAHN (Herausg.), *Beta and Gamma Ray Spectroscopy* (Amsterdam 1955).

[8] F. AJZENBERG-SELOVE (Herausgeber), *Nuclear Spectroscopy* (New York 1960).

[9] H. LABHART und H. MEDICUS, *Über den β-Zerfall des Radium A*, Helv. phys. Acta *16*, 392 bis 406 (1943).

[10] H. BRADT, H.-G. HEINE und P. SCHERRER, *Die Konversionslinien im β-Spektrum des UX*, Helv. phys. Acta *16*, 455–470 (1943).

[11] H. BRADT und P. SCHERRER, *Die Halbwertszeit des ThC'*, Helv. phys. Acta *16*, 259–264 (1943).

[12] H. BRADT und P. SCHERRER, *Eine Apparatur für Koinzidenzmessungen mit sehr hohem Auflösungsvermögen*, Helv. phys. Acta *16*, 251–258 (1943).

[13] H. BRADT und P. SCHERRER, *Der Zerfall des UZ und die UX_2–UZ-Isomerie*, Helv. phys. Acta *18*, 405–428 (1945).

[14] H. BRADT und P. SCHERRER, *Die 93 keV-Linie des UX_1*, Helv. phys. Acta *19*, 307–322 (1946).

[15] O. HUBER, O. LIENHARD, P. SCHERRER und H. WÄFFLER, *Kernphotoeffekt unter Abspaltung eines Protons: $Mg^{26}(\gamma, p)\ Na^{25}$*, Helv. phys. Acta *17*, 139–146 (1944).

[16] O. HUBER, O. LIENHARD, P. SCHERRER und H. WÄFFLER, *Eine einfache Absorptionsmethode zur Energiebestimmung intensitätsschwacher β-Spektren*, Helv. phys. Acta *18*, *221–225* (*1945*).

[17] O. HIRZEL und H. WÄFFLER, *Über die beim Zerfall des K^{40} emittierte γ-Strahlung*. Helv. phys. Acta *19*, 216–217 (1946).

[18] E. BLEULER und W. ZÜNTI, *Zur Absorptionsmethode der Bestimmung von β- und γ-Energien*, Helv. phys. Acta *19*, 375–398 (1946).

[19] E. BLEULER und W. ZÜNTI, *Über die Isotope S^{37} und P^{34}, die bei der Bestrahlung von Chlor mit schnellen Neutronen entstehen*, Helv. phys. Acta *19*, 137–166 (1946).

[20] E. BLEULER, W. BOLLMANN und W. ZÜNTI, *β-Zerfall von A^{41}*, Helv. phys. Acta *19*, 419–421 (1946).

[21] E. BLEULER, P. SCHERRER, M. WALTER und W. ZÜNTI, *β-Zerfall von N^{16}*, Helv. phys. Acta *20*, 96–104 (1947).

[22] E. BLEULER und W. ZÜNTI, *Die Zerfallsenergien von O^{19}, Na^{25}, Mg^{27}, Al^{28} und K^{42}*, Helv. phys. Acta *20*, 195–206 (1947).

[23] H. BRADT, P. C. GUGELOT, O. HUBER, H. MEDICUS, P. PREISWERK und P. SCHERRER, *Prüfung der Fermischen Theorie des β-Zerfalls durch Messung der Wahrscheinlichkeit von K-Einfang und e^+-Emission des 6,7 h Cadmiums*, Helv. phys. Acta *18*, 351–368 (1945).

[24] H. BRADT, P. C. GUGELOT, O. HUBER, H. MEDICUS, P. PREISWERK, P. SCHERRER und R. STEFFEN, *Die duale radioaktive Umwandlung des Cu^{64}*, Helv. phys. Acta *19*, 219–221 (1946).

[25] O. HUBER, R. RÜETSCHI und P. SCHERRER, *K-Einfang und Positronenemission von Cu^{61} und Cu^{64}*, Helv. phys. Acta *22*, 375–378 (1949).

[26] M. GOLDHABER und A. W. SUNYAR, *Classification of Nuclear Isomers*, Phys. Rev. *83*, 906 (1951).

[27] V. F. Weisskopf, *Radioactive Transition Probabilities in Nuclei*, Phys. Rev. *83*, 1073 (1951).

[28] M. E. Rose et al., *Internal Conversion Coefficients I: The K-Shell*, Phys. Rev. *83*, 79 (1951).

[29] H. Bradt, P. C. Gugelot, O. Huber, H. Medicus, P. Preiswerk, P. Scherrer und R. Steffen, *Die metastabilen Zustände der Silberkerne Ag^{107} und Ag^{109}*, Helv. phys. Acta *20*, 153–165 (1947).

[30] H. Bradt, P. C. Gugelot, O. Huber, H. Medicus, P. Preiswerk und P. Scherrer, *Empfindlichkeit von Zählrohren mit Blei-, Messing- und Aluminiumkathode für γ-Strahlung im Energieintervall 0,1 MeV bis 3 MeV*, Helv. phys. Acta *19*, 77–90 (1946).

[31] W. Zünti, *Ein Beta-Spektrometer hoher Lichtstärke*, Helv. phys. Acta *21*, 179 bis 180 (1948).

[32] O. Huber, F. Humbel, H. Schneider und A. de-Shalit, *Bestimmung der Augerkoeffizienten mit Hilfe spektrometrischer Koinzidenzmessungen*, Helv. phys. Acta *24*, 627–628 (1951).

[33] O. Huber, F. Humbel, H. Schneider und A. de-Shalit, *Spektrometrische Messungen von β–β Koinzidenzen*, Helv. phys. Acta *25*, 3–34 (1952).

[34] P. Stoll, M. Walter und W. Zünti, *Untersuchungen an verschiedenen Koinzidenz-Mischstufen*, Helv. phys. Acta *21*, 177–179 (1948).

[35] O. Huber, F. Humbel, H. Schneider und R. Steffen, *Verwendung von Anthrazen-Kristallen in Szintillationszählern*, Helv. phys. Acta *22*, 418–420 (1949).

[36] O. Huber, F. Humbel, H. Schneider und W. Zünti, *Ansprechwahrscheinlichkeit eines Anthracen-Scintillationszählers für Elektronen*, Helv. phys. Acta *23*, 855–857 (1950).

[37] H. Schneider, O. Huber, F. Humbel, A. de-Shalit und W. Zünti, *Elektronenspektren zwischen 1 und 10 keV*, Helv. phys. Acta *25*, 259–278 (1952).

[38] J. Brunner, O. Huber, R. Joly und D. Maeder, *Absolutmessung von N_e und N_γ zur Bestimmung von Konversionskoeffizienten*, Helv. phys. Acta *26*, 588–591 (1953).

[39] D. Maeder, *Elektronenröhren-Spektrograph zur Messung von Ionisationskammerimpulsen*, Helv. phys. Acta *20*, 139–152 (1947).

[40] D. Maeder, R. Müller und V. Wintersteiger, *Über die Linienform monochromatischer γ-Strahlungen im Szintillationsspektrographen*, Helv. phys. Acta *27*, 3–44 (1954).

[41] M. Garcia muñoz und D. Maeder, *Eichung von Szintillationsspektrometern mit den γ-Strahlen von Radium und Mn^{56}*, Helv. phys. Acta *28*, 359–361 (1955).

[42] D. Maeder, *Gamma-Ray Scintillation Spectrometer with Logarithmic Pulse-Height Response*, Rev. Sci. Instr. *26*, 805–808 (1955).

[43] D. Maeder und R. Müller, *Gamma-Spectrometer mit Antikoinzidenz-Abschirmung*, Helv. phys. Acta *29*, 446–448 (1956).

[44] R. M. Steffen, O. Huber und F. Humbel, *Innere Konversion der γ-Strahlung und Röntgenstrahlung beim K-Einfang schwerer Atomkerne*, Helv. phys. Acta *22*, 167–224 (1949).

[45] O. Huber, F. Humbel, H. Schneider, A. de-Shalit und W. Zünti, *Zerfall der Quecksilber-Isomere Hg^{197}*, Helv. phys. Acta *24*, 127–152 (1951).

[46] A. de-Shalit, O. Huber und H. Schneider, *On the Decay of Some Odd Isotopes of Pt, Au and Hg*, Helv. phys. Acta *25*, 279–304 (1952).

[47] J. Brunner, J. Halter, O. Huber, R. Joly und D. Maeder, *Untersuchungen des Zerfalls Hg^{195}-Au^{195} mit spektrometrischen β-γ-Koinzidenzen*, Helv. phys. Acta *27*, 572 bis 576 (1954).

[48] J. BRUNNER, H. GUHL, J. HALTER und O. HUBER, *Ein 3,8 sec Isomer* Au^{193m}, Helv. phys. Acta *28*, 85–88 (1955).

[49] R. JOLY, J. BRUNNER, J. HALTER und O. HUBER, *Etude des Isotopes 197 et 195 de l'Or et du Mercure*, Helv. phys. Acta *28*, 403–441 (1955).

[50] J. BRUNNER, J. HALTER und P. SCHERRER, *Kernspektroskopische Untersuchungen der radioaktiven Isotope Hg-*Au^{195} *und Hg-*Au^{193}, Helv. phys. Acta *31*, 335–378 (1958).

[51] O. HAXEL, J. H. D. JENSEN und H. E. SUESS, *On the 'Magic Numbers' in Nuclear Structure*, Phys. Rev. *75*, 1766 (1949).

[52] MARIA GOEPPERT MAYER, *On Closed Shells in Nuclei*, Phys. Rev. *75*, 1969 (1949).

[53] AMBUJ MUKERJI und P. PREISWERK, *Investigations on the odd-odd isotopes* Ga^{64}, Ga^{66}, Ga^{68} *and the odd-even isotope* Ga^{67}, Helv. phys. Acta *25*, 387–416 (1952).

[54] H. MEDICUS, P. PREISWERK und P. SCHERRER, *Untersuchungen über den radioaktiven Zerfall bei Isotopen des Technetiums*, Helv. phys. Acta *23*, 299–346 (1950).

[55] O. HUBER, P. MARMIER, H. MEDICUS, P. PREISWERK und R. STEFFEN, *A New Isomer of Element 43 (Tc) of Very Small Excitation Energy*, Phys. Rev. *73*, 1211–1212 (1948).

[56] H. MEDICUS, D. MAEDER und H. SCHNEIDER, *Der Zerfall des* Mo^{99} *und die Isomerie des* Tc^{99}, Helv. phys. Acta *24*, 72–88 (1951).

[57] P. MARMIER, J.-P. BLASER, P. PREISWERK und P. SCHERRER, *Mesures spectroscopiques des radiations X des radioéléments*, Helv. phys. Acta *22*, 155–163 (1949).

[58] P. STÄHELIN, *Die* 0^+*-Zustände der* $(4n+2)$*-Kerne*, Helv. phys. Acta *26*, 691 bis 696 (1953).

[59] H. BRADT, P. C. GUGELOT, O. HUBER, H. MEDICUS, P. PREISWERK und P. SCHERRER, *Die radioaktive Umwandlung des* Cr^{51}, Helv. phys. Acta *18*, 259 bis 260 (1945).

[60] F. BOEHM, O. HUBER, P. MARMIER, P. PREISWERK und R. STEFFEN, *Die Konversion der Gammastrahlen des* In^{111}, Helv. phys. Acta *22*, 69–77 (1949).

[61] D. MAEDER, P. PREISWERK und A. STEINMANN, *Die Zerfallsreihe* Mn^{51}-Cr^{51}-V^{51} *und der Spin der Mn-Isotope*, Helv. phys. Acta *25*, 461–463 (1952).

[62] H. BRADT, P. C. GUGELOT, O. HUBER, H. MEDICUS, P. PREISWERK, P. SCHERRER und R. STEFFEN, *K-Einfang des* Fe^{55}, Helv. phys. Acta *19*, 222–224 (1946).

[63] D. MAEDER und P. PREISWERK, *Untersuchungen von* γ*-Spektren mit dem Szintillationsspektrographen*, Helv. phys. Acta *24*, 625–627 (1951).

[64] P. ERDÖS, P. JORDAN, D. MAEDER und P. STOLL, *Untersuchung des Zerfalls von* Co^{61} *im Scintillationsspektrometer*, Helv. phys. Acta *28*, 323–325 (1955).

[65] W. BEUSCH, P. ERDÖS, D. MAEDER und P. STOLL, *Über den Zerfall von* Cu^{67}, Helv. phys. Acta *30*, 268–269 (1957).

[66] O. HUBER, H. MEDICUS, P. PREISWERK und R. STEFFEN, *Die radioaktive Umwandlung des* Zn^{63}, Helv. phys. Acta *20*, 495–518 (1947).

[67] F. BOEHM und P. PREISWERK, *Dualer Zerfall von* In^{114}, Helv. phys. Acta *22*, 331–338 (1949).

[68] J.-P. BLASER, F. BOEHM und P. MARMIER, *Der Zerfall von* Sb^{120}, Helv. phys. Acta *23*, 623–626 (1950).

[69] P. PREISWERK und P. STÄHELIN, *Termschemata einiger Niobisotope*, Helv. phys. Acta *24*, 300–301 (1951).

[70] D. MAEDER und P. STÄHELIN, *Die komplexen Betaumwandlungen von* Na^{25} *und* Al^{25}, Helv. phys. Acta *28*, 193–226 (1955).

[71] H. J. GERBER, M. GARCIA MUÑOZ und D. MAEDER, *Untersuchung des Betazerfalls von* Ne^{23}, Helv. phys. Acta *28*, 478–480 (1955).

[72] P. DEBRUNNER, E. HEER, W. KÜNDIG und R. RÜETSCHI, *Das Niveauschema des* Ta^{181}, Helv. phys. Acta *29*, 463–506 (1956).