

**Zeitschrift:** Helvetica Physica Acta  
**Band:** 25 (1952)  
**Heft:** IV  
  
**Artikel:** Winkelverteilung von gestreuten Neutronen an He<sup>4</sup>  
**Autor:** Huber, P. / Baldinger, E.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-112317>

### **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:** 15.01.2026

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

# Winkelverteilung von gestreuten Neutronen an $\text{He}^4$

von P. Huber und E. Baldinger, Basel.

(21. VI. 1952.)

*Zusammenfassung.* Im Energiegebiet von 3—4,14 MeV wurde die Winkelverteilung der elastisch an  $\text{He}^4$  gestreuten Neutronen gemessen. Eine Phasenanalyse, wozu auch die Messresultate von ADAIR im Energiegebiet von 0,4—2,7 MeV benutzt werden, liefert als tiefsten Zustand ein  $P_{3/2}$ -Niveau und 1,76 MeV höher ein  $P_{1/2}$ -Niveau.

## Einleitung.

In der Arbeit „Streuung von schnellen Neutronen an Sauerstoff“<sup>1)</sup> wurde gezeigt, dass aus dem relativen differentiellen Wirkungsquerschnitt  $\sigma(\theta)$ , zusammen mit dem totalen Querschnitt  $\sigma_t$ , die Phasen der auftretenden Streuwellen berechnet werden können. Aus dem Phasenverlauf lässt sich sowohl die Energie der Niveaus als auch der totale und der Bahn-Drehimpuls bestimmen. Zur Diskussion der Spin-Bahnpkopplung ist es wünschenswert, die Aufspaltung der Niveaus bei leichten Kernen zu wissen.

Für das Experiment leicht zugänglich ist die Streuung von monochromatischen Neutronen an  $\text{He}^4$ . Aus der Analyse solcher Experimente können die Niveaus im Zwischenkern  $\text{He}^5$  bestimmt werden. Es liegen bereits eine grosse Reihe von Streumessungen<sup>2) 3) 4) 5) 6)</sup> vor. Als erste haben BALDINGER, HUBER und STAUB bei 2,6 MeV Neutronenenergie Messungen an  $\text{He}^4$  ausgeführt. STAUB und TATEL konnten durch Bestimmung der Rückwärtsstreuung zeigen, dass der  $P$ -Zustand aufgespalten sein muss. Die Grösse der Aufspaltung war aber nur qualitativ angebbbar. ADAIR<sup>6)</sup> kommt auf Grund einer Extrapolation der (p-He)-Streuung zu einer Aufspaltung der  $P_{3/2}$  und  $P_{1/2}$ -Zustände von 5 MeV.

<sup>1)</sup> E. BALDINGER, P. HUBER & W. A. PROCTOR, *Helv. Phys. Acta*, **25**, 142, 1952.

<sup>2)</sup> E. BALDINGER, P. HUBER & H. STAUB, *Helv. Phys. Acta*, **11**, 245 (1938).

<sup>3)</sup> H. H. BARSCHALL & M. H. KANNER, *Phys. Rev.* **58**, 590 (1940).

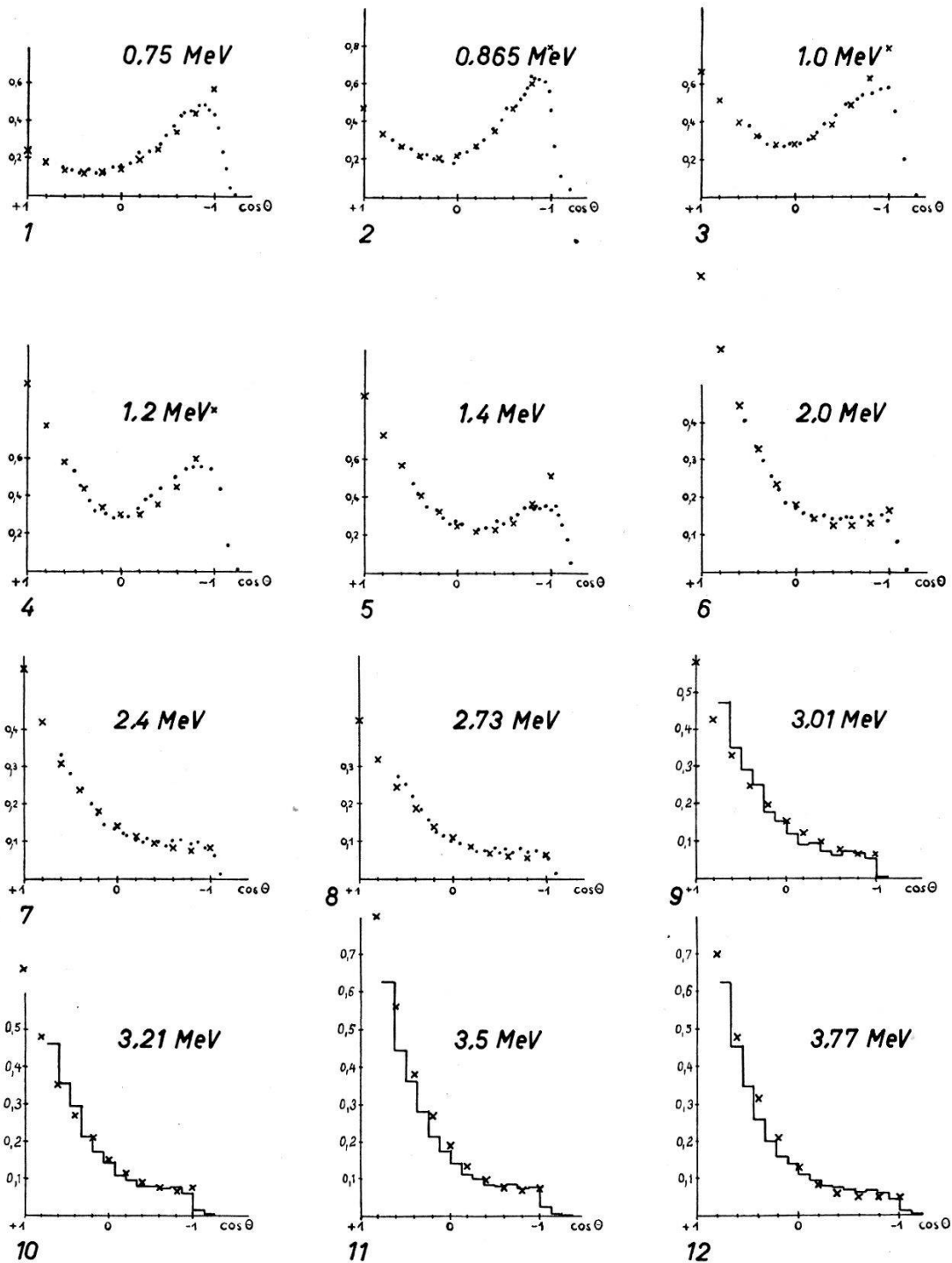
<sup>4)</sup> H. STAUB & H. TATEL, *Phys. Rev.* **57**, 936 (1940).

<sup>5)</sup> T. A. HALL & P. A. KOONTZ, *Phys. Rev.* **72**, 196 (1947).

<sup>6)</sup> R. K. ADAIR, *Phys. Rev.* **86**, 155 (1952).

### Apparatur und Messmethode.

Als Neutronenquelle diente uns die  $dd$ -Reaktion. Die Deuteronen konnten bis zu maximal 1 MeV beschleunigt werden. Streumessungen wurden im Energiebereich 3,01—4,14 MeV ausgeführt. Apparatur und Messmethode sind in einer früheren Arbeit beschrieben<sup>1)</sup>. Die Ionisationskammer besteht aus 2 parallelen Platten mit 1 cm Distanz und 4 cm Durchmesser der Auffänger-Elektrode.



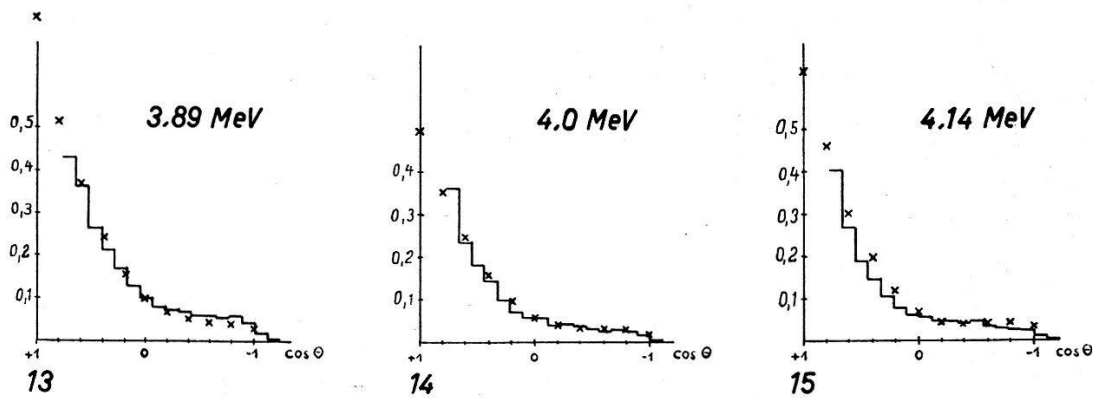


Fig. 1—15.

Relative differentielle Querschnitte für die  $n\text{-He}^4$ -Streuung. Die in Fig. 1—8 dargestellten Messwerte ( $\cdot$ ) sind von ADAIR, die Stufenkurven von uns gemessen. Die Kreuze geben die aus den Phasen berechneten Werte. Als Abszisse ist der Cosinus des Streuwinkels  $\Theta$ , als Ordinate ein rel. Mass des differentiellen Querschnittes aufgetragen.

Die Neutronen wurden parallel den Platten eingestrahlt. Die Kammer ist mit 16 ata Helium gefüllt. Die Reichweite der Rückstosskerne bei 4 MeV-Neutronenenergie beträgt 7 mm.

### Ergebnisse.

Die von uns neu gemessenen, relativen, differentiellen Streuquerschnitte sind in den Fig. 9—15 dargestellt. Die Fig. 1—8 zeigen die von ADAIR gemessenen differentiellen Querschnitte. Als totalen Querschnitt benutzten wir die Messungen von BASHKIN, MOORING und PETREE<sup>7)</sup> (Fig. 16).

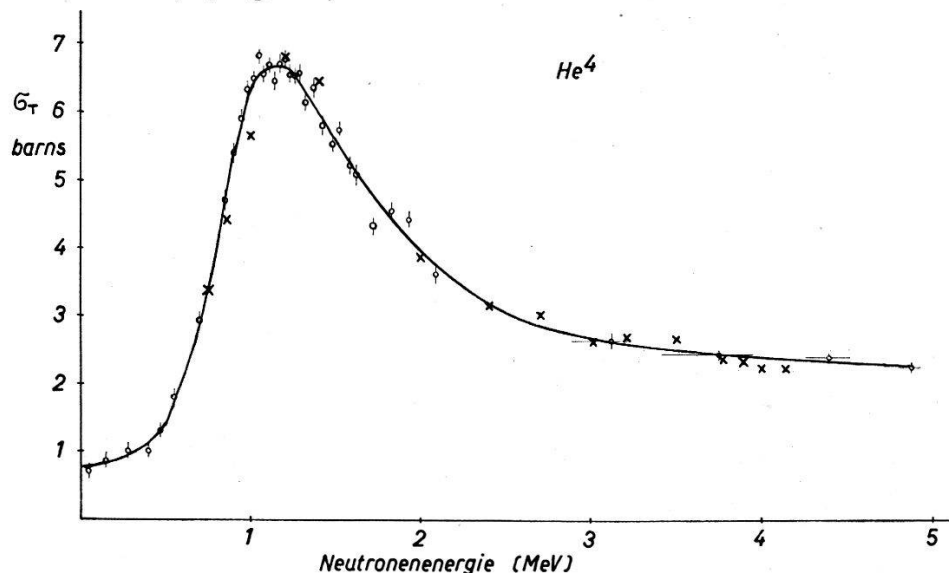


Fig. 16.

Totaler Querschnitt für die  $(n\text{-He}^4)$ -Streuung nach BASHKIN u. a. Die Kreuze ( $\times$ ) geben die aus den Phasen (Fig. 17) berechneten Werte.

<sup>7)</sup> BASHKIN, MOORING & PETREE, Phys. Rev. **82**, 378 (1951).

Die Theorie des Streuprozesses mit Spin-Bahnkopplung und Spin 0 des Streukernes wurde von BLOCH<sup>8)</sup> und anderen gegeben. Der differentielle Wirkungsquerschnitt der gestreuten Neutronen lässt sich durch die Phasen der einzelnen  $(l, j)$ -Streuwellen beschreiben. ( $l$  Bahndrehimpuls,  $j = l \pm \frac{1}{2}$  totaler Drehimpuls):

$$k^2 \sigma(\Theta) = \left| \sum_l (2l+1)^{-\frac{1}{2}} [(l+1) e^{i\eta_{l+\frac{1}{2}}} \sin \eta_{l+\frac{1}{2}} + l e^{i\eta_{l-\frac{1}{2}}} \sin \eta_{l-\frac{1}{2}}] Y_l^0 \right|^2 + \left| \sum_l \left( \frac{l(l+1)}{2l+1} \right)^{\frac{1}{2}} [e^{i(\eta_{l+\frac{1}{2}} + \eta_{l-\frac{1}{2}})} \sin(\eta_{l+\frac{1}{2}} - \eta_{l-\frac{1}{2}})] Y_l^1 \right|^2.$$

Es bedeuten:  $k$  Wellenzahl der gestreuten Neutronen

$\Theta$  Streuwinkel des Neutrons im Schwerpunktssystem

$j = l \pm \frac{1}{2}$  Phase der auslaufenden Streuwelle mit dem totalen Drehimpuls  $j$

$Y_l^0$  und  $Y_l^1$  normierte und zugeordnete Kugelfunktion 1. Art.

Integriert man den differentiellen Querschnitt über den ganzen Winkelraum, so bekommt man den totalen Streuquerschnitt:

$$\sigma_t = \frac{4\pi}{k^2} \sum_l [(l+1) \sin^2 \eta_{l+\frac{1}{2}} + l \sin^2 \eta_{l-\frac{1}{2}}].$$

Zur Phasenanalyse benutzten wir Streuwellen bis  $l = 2$ . Analysiert wurde mit einem Analogie-Rechengerät<sup>9)</sup>. Mit diesem Gerät war es möglich, ca. 10–20 Kurven pro Stunde auszurechnen. Die Phasenwerte wurden so ausgewählt, dass zunächst der totale Querschnitt stimmte, und dann unter Einhaltung dieser Bedingung so geändert, dass auch der differentielle Querschnittsverlauf möglichst gut beschrieben werden konnte. Der Phasenverlauf der die experimentellen Resultate am besten wiedergibt, ist in Fig. 17 aufgezeichnet. Wie gut die Messwerte dadurch dargestellt sind, zeigen die Kreuze (x) in den Fig. 1–15. Die Wiedergabe des experimentellen Materials durch diese Phasen ist recht befriedigend. Dass die experimentellen Kurven keine Spitzen enthalten, ist durch den Untergrund der Messanordnung bedingt.

Der Phasenverlauf gibt im vermessenen Energiebereich zwei breite Niveaus. Das tiefere entspricht einem  $P_{3/2}$ , das höhere einem  $P_{1/2}$ -Zustand. Das  $P_{1/2}$ -Niveau ist wesentlich unschärfer als das  $P_{3/2}$ -Niveau. Als Niveau-Energie wollen wir die Energie ansehen, bei der die Phase den Wert  $90^\circ$  annimmt. Im totalen Streuquerschnitt besitzt bei  $\eta_{l,j} = 90^\circ$  der Anteil der  $(l, j)$ -Streuwellen den

<sup>8)</sup> F. BLOCH, Phys. Rev. **58**, 829 (1940).

<sup>9)</sup> E. BALDINGER, Helv. Phys. Acta (im Druck).

maximalen Wirkungsquerschnitt. Mit dieser Festsetzung der Niveau-Energie liegt der  $P_{3/2}$ -Zustand bei  $\frac{4}{5} \cdot 1,3 = 1,04$  MeV, das  $P_{1/2}$ -Niveau bei 2,8 MeV. Im Schwerpunktsystem ergibt sich daraus eine Aufspaltung des P-Niveaus von 1,76 MeV.

Der Phasenverlauf der  $P_{3/2}$ -Streuwellen zeigt im Energiegebiet 2,2–3 MeV eine kleine Einsattelung. Mit unserer Messgenauigkeit können wir nicht feststellen, ob diese Einsattelung reell ist. Die Phasen der D-Wellen mussten in die Rechnung einbezogen werden, um die experimentellen Kurven der differentiellen Querschnitte gut wiedergeben zu können.

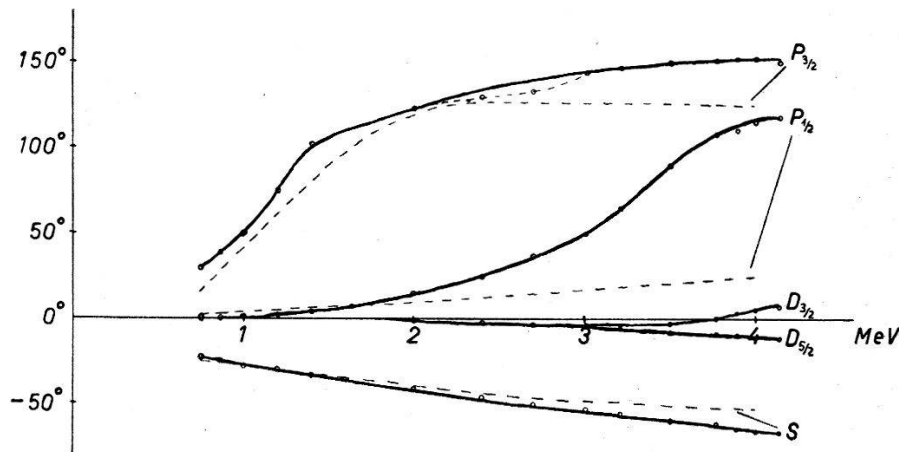


Fig. 17.

Phasenverlauf. Die gestrichelten Kurven stellen die von BÜRGEL berechneten Phasenwerte dar.

### Diskussion.

B. BÜRGEL<sup>10)</sup> hat für ein Kastenpotential und Spin-Bahnkoppelung den Phasengang für die n- $\text{He}^4$ -Streuung berechnet. Als Potential benutzte er folgenden Ansatz:

$$[A (\vec{l}, \vec{\sigma}) + B] V(r)$$

$$A = -3,41 \text{ MeV}$$

$$V(r) = 0 \text{ für } r > 2,55 \cdot 10^{-13} \text{ cm}$$

$$B = -33,0 \text{ MeV}$$

$$= 1 \text{ für } r \leq 2,55 \cdot 10^{-13} \text{ cm.}$$

Seine berechneten Phasenwerte sind in Fig. 17 eingetragen. Die D-Phasen sind sehr klein ( $\sim 0$ ). Bis zu 2 MeV Neutronenenergie stimmen diese Phasen einigermaßen mit den experimentell gefundenen überein. Für höhere Energien dagegen ist auch keine angenäherte Übereinstimmung vorhanden. Vor allem die  $P_{1/2}$ -Phasen besitzen ganz verschiedene Werte.

<sup>10)</sup> B. BÜRGEL, mündliche Mitteilung.

Bei dem flachen Anstieg der  $P$ -Phasen wird, sofern man überhaupt noch von einem Niveau sprechen kann, dasselbe sehr breit und seine Lebensdauer ist nur noch ca.  $10^3$ mal kürzer als die Zeit, die das Neutron braucht, um den Kern zu durchqueren. Die Festlegung einer Niveau-Energie, wie wir das im vorigen Abschnitt getan haben, ist daher recht problematisch. Unsere Festlegung war so, dass bei dieser Energie der Querschnitt der entsprechenden  $(l, j)$ -Streuwellen maximal ist. Ein Vergleich mit anderen Untersuchungen ist nicht ohne weitere Kenntnisse möglich, da im allgemeinen andere Größen für die Festlegung der Niveauenergien herangezogen werden. ADAIR<sup>6)</sup> hat auf Grund von  $p$ -He<sup>4</sup>-Streumessungen<sup>11)</sup> und eigenen  $n$ -He<sup>4</sup>-Streuungen die Aufspaltung des  $P$ -Niveaus zu 5 MeV bestimmt, wobei über ein weites Energiegebiet extrapoliert werden musste. Wenn man die gleiche Festlegung der Niveauenergie, wie in dieser Arbeit, annimmt, so kommt man im Vergleich zu unserer Messung dennoch zu einer erheblich höheren Aufspaltung (ca. 4–5 MeV). Es scheint uns, dass eine Extrapolation bei diesem breiten Niveau kaum mehr zulässig ist. LELAND und AGNEW<sup>12)</sup> haben bei der  $(T, T)$ -Reaktion zwei Neutronengruppen gefunden, die sie als Zerfallsneutronen des He<sup>6</sup> Zwischenkernes deuten. Danach hätte der He<sup>5</sup>-Endkern, der nachträglich weiter zerfällt, zwei virtuelle Zustände mit einer Aufspaltung von 2,6 MeV. Der tiefere Zustand wäre dem  $P_{3/2}$ , der höhere dem  $P_{1/2}$ -Niveau zuzuordnen.

Herrn Dr. W. PROCTOR danken wir für die Hilfe bei den Messungen. Die Herren Prof. M. FIERZ und Dr. K. BLEULER haben uns durch wertvolle Diskussionen unterstützt.

---

<sup>11)</sup> FREIER, LAMPI, SLEATOR & WILLIAMS, Phys. Rev. **75**, 1345 (1949).

<sup>12)</sup> W. J. LELAND & H. M. AGNEW, Phys. Rev. **82**, 558 (1951).