

## Über die empirische Grundlage des ballistischen Prinzips der Lichtfortpflanzung.

(Erwiderung an Herrn Prof. H. Thirring.)

Von **M. La Rosa** in Palermo.

(Eingegangen am 3. Juni 1925.)

Die vorliegende Arbeit enthält eine kurze Erwiderung auf zwei Einwände Prof. Thirrings gegen das ballistische Prinzip der Lichtfortpflanzung und die von mir daraus abgeleitete Theorie der veränderlichen Sterne. — In dem ersten Teile wird gezeigt, daß die Anwendung des Dopplerschen Prinzips auf die thermische Bewegung der emittierenden Teilchen nicht allein das ballistische Prinzip zu absurden Konsequenzen führt, sondern uns die Existenz eines schwachen kontinuierlichen Untergrundes in jedem Linienspektrum voraussehen läßt, was mit den gewöhnlichen Beobachtungen in voller Übereinstimmung steht. — Im zweiten Teile wird die Unmöglichkeit eines quantitativen Beweises der ballistischen Theorie der veränderlichen Sterne wegen der ungeheuren Unsicherheit der erforderlichen astronomischen Daten, und zwar besonders der über die Parallaxe nachgewiesen.

In einer in dieser Zeitschrift erschienenen Mitteilung<sup>1)</sup> erhebt Prof. H. Thirring gegen meine neueren Arbeiten zwei Einwände: einen allgemeiner Natur, der die Berechtigung der Anwendung des ballistischen Prinzips auf die Lichtgeschwindigkeit angreifen möchte; der andere, von besonderer Natur, soll eine quantitative Nichtübereinstimmung mit den astronomischen Beobachtungen ins rechte Licht rücken, der die von mir auf Grund dieses Prinzips aufgestellte „Theorie der veränderlichen Sterne“ entgegenginge.

Untersuchen wir zunächst den ersten Einwand.

Bezugnehmend auf die bereits zwischen Prof. de Sitter und mir erörterte Frage des Dopplereffektes, erkennt Prof. Thirring an, daß die Bewegung der Lichtquelle zu keinen weiteren Verschiebungen der Spektrallinien, außer den durch die gewöhnliche Theorie jenes Effektes vorausgesehenen, Anlaß geben kann, er hebt aber hervor, daß das neue auf die Beschleunigung zurückgehende Glied, das die ballistische Theorie in die Berechnung einführt, sich unausbleiblich fühlbar machen muß, wenn man die thermische Bewegung der emittierenden Teilchen in Betracht zieht, und zwar wegen des bedeutend größeren Wertes, den die Beschleunigung in diesem Falle erreicht.

Zur größeren Klarheit soll die Berechnung Prof. Thirrings hier wiedergegeben werden:

---

<sup>1)</sup> H. Thirring, ZS. f. Phys. **31**, 133—138, 1925.

Wir betrachten, so schreibt er, ein leuchtendes Atom, das eine beschleunigte Bewegung in der Richtung des Visionsradius ausführt. Es emittiere zwischen den Zeitmomenten  $t$  und  $t + dt$  einen kohärenten Wellenzug. Die Geschwindigkeit des Atoms relativ zum Beobachter habe zur Zeit  $t$  den Wert  $u$  und zur Zeit  $t + dt$  den Wert  $u + du$ . Bezeichnen wir den Abstand Lichtquelle — Beobachter mit  $\Delta$ , so sind die Ankunftszeiten von Beginn und Ende des Wellenzuges,  $T$  und  $T + dT$ , nach der ballistischen Hypothese gegeben durch:

$$T = t + \frac{\Delta}{c + u}; \quad T + dT = t + dt + \frac{\Delta}{c + u + du}.$$

Aus diesen Gleichungen erhält Prof. Thirring, indem er  $\Delta$  als sehr groß gegenüber  $u dt$  voraussetzt, und unter Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung:

$$dT = dt - \frac{\Delta du}{c^2}.$$

Dies vorausgesetzt, erkennt Prof. Thirring unter Berücksichtigung der Kleinheit der Kohärenzzeit  $dt$  an, daß das Glied  $\frac{\Delta}{c^2} du$  bei den Bewegungen der „Doppelsterne“ vernachlässigt werden kann, d. h. er erkennt (im Gegensatz zu der Ansicht Prof. de Sitters und in Übereinstimmung mit der meinigen) an, daß der Dopplereffekt der „Doppelsterne“ infolge dieses neuen Gliedes, das die ballistische Hypothese einführt, keinerlei Anomalie aufweisen muß. Auf Grund der Überlegung aber, daß die thermische Bewegung des emittierenden Atoms infolge der Zusammenstöße viel viel größeren Geschwindigkeitsänderungen unterworfen ist, sieht er das Vorkommen von außerordentlichen, praktisch unannehmbaren Linienverschiebungen voraus.

Indem er in der Tat das Resultat der Berechnung auf ein „emittierendes Atom“ auf der Sonne anwendet (d. h. für  $\Delta$  die Entfernung Erde-Sonne setzt), zeigt er, daß ein im Moment des Zusammenstoßes emittierter sichtbarer Wellenzug beim irdischen Beobachter überschlagen (d. h. mit dem Hinterende voraus und mit dem Vorderende hinterher) und mit einer Wellenlänge von einigen Zentimetern anlangen muß, und kommt dann zu folgendem Schluß:

„Die ballistische Hypothese wird also in ihrer konsequenten Fassung allein schon durch die Tatsache widerlegt, daß die Sonnenstrahlung ein sichtbares Spektrum mit scharfen Spektrallinien besitzt.“

Ich will hier nicht die von mir an anderer Stelle<sup>1)</sup> zur Revision und Präzisierung der Berechnungsgrundlagen des Dopplereffektes auf dem Boden der ballistischen Hypothese entwickelten Argumente wiederholen. Ich beschränke mich auf die Bemerkung, daß der „kohärente Wellenzug“, den er betrachtet, infolge der Hypothese seine Kohärenz und somit den Wert und die Bedeutung, die Prof. Thirring vorschweben, verliert. Bewiesen wird dies durch das von ihm gefundene Resultat selbst: daß die von ihm angenommene Oszillationsgruppe während der Fortpflanzung tiefgehend gestört wird, weil die verschiedenen Elemente zeitlich und räumlich einen verschiedenen Abstand bekommen, sich überlagern und überschlagen. Aber von alle dem abgesehen, muß hier entschieden behauptet werden, daß diese Schlussfolgerungen Thirrings, selbst angenommen, daß sie undiskutierbar seien, die Grundlagen der „ballistischen Theorie des Lichtes“ nicht im geringsten erschüttern.

Es ist allgemein bekannt, daß die Kenntnisse, zu denen wir über den Emissionsmechanismus gelangt sind, uns gestatten, ihn uns als unabhängig von dem Stoße des emittierenden Atoms gegen irgend ein Hindernis vorzustellen. Während daher nichts es uns verwehren kann, zu denken, daß ein Atom in demselben Augenblick emittiert, in dem es einen thermischen Zusammenstoß erleidet, so werden wir in gleicher Weise durch nichts zu der Auffassung ermächtigt, daß alle Atome nur in dem Augenblick des Zusammenpralles emittieren können und müssen. Bei der unermesslich großen Zahl von Atomen, aus denen die Sonne wie jedwede Lichtquelle besteht, wird es also gewiß vorkommen, daß einige in dem Moment des Zusammenpralles selbst emittieren; da aber die Atome im Moment des Zusammenstoßes Geschwindigkeiten nach allen Richtungen besitzen, so wird nur ein kleiner Bruchteil dieser Zahl wenig gegen den Visionsradius  $r$  geneigte Geschwindigkeiten haben, um zu für die Hervorbringung des von Thirring geforderten Effektes genügend starken Komponenten  $\left(\frac{du_2}{dt}\right)$  Anlaß zu geben. Und all dies führt — wenn man immer bei der eigenen Berechnung Thirrings verbleibt — zu keinem anderen konsequenten Resultat als dem folgenden: daß ein kleiner Bruchteil des von einer — auch als vollkommen monochromatisch vorausgesetzten — Lichtquelle emittierten Lichtes sich dem in geeigneter Entfernung stehenden Beobachter unter allen möglichen Frequenzen darbieten

<sup>1)</sup> Astron. Nachr. 222, Sept. 1924, Nr. 5319.

muß. Diese Schlußfolgerung ist denn doch grundverschieden von der Thirring's auf Grund der Betrachtung nur eines zusammenstoßenden Atoms! Sie ist derart, daß sie uns über die Möglichkeit, die wir haben, scharfe Linien im Sonnenspektrum zu beobachten — und die meine Theorie ganz und gar nicht beeinträchtigt —, mehr als unbesorgt läßt; nicht genug, sondern sie ist auch derart, daß sie uns eine weite Möglichkeit zur Annahme des Vorkommens von Linienspektren irdischen und himmlischen Ursprungs läßt. Denn alles, was sie uns Neues bringt, ist folgendes: Die Notwendigkeit der Annahme, daß, wenn die Entfernung der Lichtquelle vom Beobachter oder aber die  $\frac{du}{dt}$  über die Maßen groß sind — wie diejenigen, die unter gewissen Verhältnissen bei den thermischen Zusammenstößen auftreten können —, das Linienspektrum von einem mehr oder weniger intensiven kontinuierlichen Spektraluntergrund begleitet sein muß.

Ob diese Schlußfolgerung durch die einfachste und unmittelbarste Spektraluntersuchung widerlegt oder vielmehr bestätigt, glänzend bestätigt wird, wird ein jeder beurteilen können!

Aus dem Einwand physikalischer Natur geht also das ballistische Prinzip gestärkt hervor. Untersuchen wir nun den Einwand astronomischer Natur.

Danach würde nicht das ballistische Prinzip, sondern seine Anwendung auf die Theorie der „veränderlichen Sterne“ durch das gegenwärtig vorliegende astronomische Material „schlagend“ widerlegt! Zur Stütze dieser seiner Behauptung führt Prof. Thirring einige im „Third Catalogue of Spectroscopic Binary Stars“ von Lick<sup>1)</sup> enthaltene Resultate an. Es würde sich um mehrere Doppelsterne handeln, für die, obwohl sie veränderliche sind, das Produkt  $Kb > 1$ , für einige sogar etwas größer als 10 ist, während meine Theorie voraussieht, daß jenes Produkt der Beschränkung

$$0,02 < Kb < 5$$

genügen und  $1/2\pi$  nahe liegen muß, wenn die Veränderungsamplitude sehr groß ist.

Selbstverständlich habe ich mir diesen neueren Katalog verschafft, doch habe ich darin nicht jene Elemente gefunden, die es Prof. Thirring erlaubten, von einer „schlagenden“ Widerlegung zu sprechen.

<sup>1)</sup> Lick Obs. Bull., Nr. 355.

Zunächst bemerke ich, daß die fünf Sterne, die er bespricht (R. Z. Cass.; W. W. Aur.; S. Ant.; W. U. Ma.; u. Herc.), vom Algoltyp sind, d. h. veränderliche von diskontinuierlichem Typus, für die die Erklärung der Eklipse entwickelt worden ist, eine Erklärung, die, wie ich in meiner Erwiderung auf eine kürzliche Kritik des Herrn Salet<sup>1)</sup> klar ausgesprochen habe, meine Theorie nicht ausschalten will und kann. Und in dieser meiner Schrift habe ich klargelegt, daß das Phänomen der Eklipse von der ballistischen Hypothese unabhängig bleibt und somit vollständig frei von jeder Bedingung in bezug auf den Wert von  $Kb$  ist, und deshalb auch von jedem Gebundensein an die Bahngeschwindigkeit.

Das Auftreten der Erscheinung der „Veränderlichkeit“ in den angeführten Beispielen beweist also nichts gegen die ballistische Hypothese.

Zu untersuchen bleibt das Verhalten der Spektrallinien in bezug auf ihren Verbreiterungszustand und ihre Bewegung. In dieser Hinsicht aber genügt es mir, die Aufmerksamkeit der Physiker auf ein äußerst prekäres und doch wesentliches, bei den Berechnungen der zahlenmäßigen Werte von  $Kb$  vorherrschendes Element zu lenken: die Sternparallaxe, aus der der Wert von  $\mathcal{L}$  und somit von  $K$

$$\left( K = \frac{\text{Fortpflanzungszeit der Strahlen}}{\text{Rotationsperiode des Sternes}} \right)$$

abgeleitet werden muß.

Der oben erwähnte Katalog von Lick enthält keinerlei Angaben über dies überaus wesentliche Element, und Prof. Thirring hat es unterlassen, die Quellen anzuführen, aus denen er seine Zahlen geschöpft hat, die ich hier aufführen will:

Sterne	R. Z. Cass.	W. W. Aur.	S. Ant.	W. U. Ma.	u. Herc.
Parallaxe	0,029"	0,012"	0,07"	0,010"	— 0,023"

Ich habe deshalb gesucht, sie meinerseits nachzukontrollieren, und es gelang mir, die für W. U. Ma. angegebene Parallaxe in einer Sammlung von astronomischen Daten über radiale Geschwindigkeiten<sup>2)</sup> zu finden. Während aber diese einfache Transkription wirklich gar nichts besagt, erweist sich das Studium irgend einer guten Arbeit über neuere Parallaxemessungen als sehr lehrreich.

<sup>1)</sup> C. R. 180, 1925, Nr. 9.

<sup>2)</sup> First Catal. of rad. veloc. by J. Voûte — Bosscha Sternw. Lemgang (Java).

Die Veröffentlichung, welche ich in der Hand hatte, ist eine schöne Arbeit der Yerkes-Sternwarte und „Stellar parallaxes derived from photographs made with the forty-inch refractor“<sup>1)</sup> betitelt. Es handelt sich also um Messungen nach der besten Methode und mit einem der besten Instrumente der Welt!

In dieser Arbeit habe ich nur die auf W. U. Ma. bezüglichen Messungen finden können. Das Resultat derselben wird folgendermaßen gegeben:

$$\pi = 0,008'' \pm 0,010'',$$

d. h. ein Wert von 8 Tausendsteln einer Bogensekunde<sup>2)</sup>, behaftet mit einem wahrscheinlichen Fehler, der größer ist als der gemessene Wert!!!

Und man möge nicht glauben, daß dies ein Ausnahmefall sei, da die anderen aufgeführten Messungen in allem analog sind.

Nur um den Nichtfachmann über die Schwierigkeiten und die Unsicherheit aufzuklären, die auf diesem Gebiet der Messungen herrschen, nehme ich aus der betreffenden Arbeit die Resultate herüber, die nach den verschiedenen Methoden für die Parallaxe des Sternes von Argelander-Oeltzen gefunden wurden:

Parallaxe	Wahrscheinliche Fehler	Beobachter
0,247''	0,021''	Krueger
0,111''	0,027''	Schweizer-Socoloff
0,191''	0,030''	" "
0,147''	0,020''	" "
0,22''	0,050''	Flint
0,35''	0,051''	"
0,269''	0,012''	Davidson
0,217''	0,006''	Lic und van Biesbroeck

Es ist fast überflüssig, den Leser auf den Grund der Wahl dieses Beispiels: die Größenordnung der Zahlen der ersten Spalte, die das Zehnfache und mehr der größten der von Prof. Thirring gegebenen Parallaxen beträgt, und auf die Abweichungen zwischen den einzelnen Werten aufmerksam zu machen, die um so viel größer als die in der zweiten Spalte verzeichneten wahrscheinlichen Fehler sind!!

Sich zur Abgabe eines endgültigen Urteils über die Annehmbarkeit einer Theorie auf Messungen dieser Art stützen

1) Public. of the Yerkes Obs., vol. IV, part I, Nov. 1917.

2) Es ist gut, sich gegenwärtig zu halten, daß in der von mir geprüften Arbeit der Yerkes-Sternwarte jedem Intervall der Skale von 1/4 mm ein Winkel von 2,66'', d. h. 1 μ ein Winkel von 0,0106'' entspricht.

zu wollen, erscheint mir nun sehr gewagt, wenn man bedenkt, daß dieses Urteil gegen ein höchst einfaches und höchst festes Gebäude anstößt, in dem die vielfältigen (photometrischen, spektroskopischen, statistischen), an Tausenden von Sternen beobachteten Tatsachen zum erstenmal Ordnung und Licht gefunden haben; gegen eine Gebäude, das kaum erstanden, das Glück der glänzendsten Bestätigung in der Entdeckung eines Begleiters und der periodischen Bewegung der Spektrallinien von Mira Ceti gehabt hat!

Ich schließe, nicht ohne noch einen Augenblick auf diese angebliche Möglichkeit einer quantitativen Nachprüfung einzugehen. Sie wird, aber nur in wenigen Fällen, für die Sterne mit großer Parallaxe und nach einer langen und vollständigen Reihe eigens angestellter Beobachtungen geschehen können. Die ungeheuere Unsicherheit, die bei den Messungen der Parallaxen herrscht, verschwindet in der Tat nicht bei denjenigen der Geschwindigkeiten, wo bis vor wenigen Monaten hervorragende Beobachter die Anwesenheit von größeren periodischen Änderungen der Geschwindigkeit von Mira ausschlossen, und wirft sogar einen Schatten auf die leichtesten und unmittelbarsten Messungen: diejenigen der Periode des Lichtwechsels. Im Hinblick auf diese bestanden noch bis vor kurzem Meinungsverschiedenheiten gerade in bezug auf die Sterne S. Ant. und W. U. Ma.<sup>1)</sup>, auf die sich Prof. Thirring so sehr stützt.

Phys. Inst. der Universität Palermo, April 1925.

---

<sup>1)</sup> In dem meisterhaften Werk von Müller und Hartwig: Geschichte und Literatur des Lichtwechsels, finden sich für die Perioden dieser Sterne von den im Katalog von Lick verzeichneten abweichende Werte.