

## Neuer Beweis für die Abhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von der Bewegung der Lichtquelle.

Ballistische Erklärung des Gesetzes von Miss *Leavitt*. Von *M. La Rosa*.

I. Einige neuerliche Schriften<sup>1)</sup> über die Gültigkeit des »Ballistischen Prinzips« bei der Fortpflanzung des Lichtes bieten mir Gelegenheit auf diesen Gegenstand, mit dem ich mich lange beschäftigt habe, zurückzukehren.

Das Ziel, das ich mir in vorliegender Arbeit setze, ist die Untersuchung, ob das Erklärungsschema der Erscheinungen der veränderlichen Sterne, das sich aus diesem Prinzip ableitet<sup>2)</sup>, imstande ist, das interessante, von Miss *Leavitt* entdeckte Gesetz über die zu einem und demselben Sternhaufen gehörenden  $\delta$  Cephei-Sterne zu erklären.

Und um so lieber habe ich mich verleiten lassen, auf die Ideen zurückzukehren, die ich seit Jahren verfochten habe, als ich das Vertrauen hege, daß meine Bemühungen nunmehr eine weniger ungünstige Aufnahme von Seiten derjenigen, die sich für die Frage interessiert haben, und eine weniger skeptische von Seiten der anderen finden werde.

Die tiefgehenden Änderungen, die sich seit 1923 bis heute in den Theorien über das »Licht« vollzogen haben, und besonders die Grundideen der »quantistischen Mechanik« und der »Wellenmechanik«, haben den Boden von den wesentlichen Voraussetzungen der klassischen Wellentheorie, an die das physikalische Denken so lange Zeit hindurch hartnäckig gebunden geblieben war, frei gemacht und damit auch eine Reihe gegen mich erhobener Einwände, die fast allgemein als »entscheidend« und »unanfechtbar« gegen die Anwendung des ballistischen Prinzips auf das Licht betrachtet wurden, ins rechte Licht gerückt.

Ich spiele besonders an auf die auf den Doppler-Effekt gestützten Einwände, bezüglich deren meine wiederholten Hinweise sich vergeblich erwiesen, und zwar mit Unrecht. Sie machten darauf aufmerksam, daß dieselben nur Wert hatten auf dem Gebiet der klassischen Wellentheorie, d. h. im Umkreis jener Theorie, gegen die das ballistische Postulat aufstand (und die man deshalb klugerweise ruhen lassen mußte, sobald man die Tatsachenelemente prüfen wollte, die für oder gegen die Anwendbarkeit des Prinzips auf das Licht kämpfen konnten). Als vergeblich erwies sich sogar die ausdrückliche Erklärung am Schluß der Mitteilung<sup>3)</sup> der Proff. *Levi-Civita* und *Corbino*, durch die darauf aufmerksam gemacht wurde, daß die in ihrer Schrift auf dem Boden der neuen Theorien entwickelten Betrachtungen nicht als gültig angesehen werden konnten. Während in der Tat die Erklärungen des Doppler-Effektes, die späterhin im Bereich dieser Theorien gegeben wurden,

zu genau mit denen der klassischen Theorie übereinstimmenden Resultaten führen, was den Geschwindigkeits-Effekt anbelangt, so lassen sie keinen Platz für den Beschleunigungs-Effekt, der wegen des ungeheuren Ausmaßes, das er im Falle gewisser veränderlicher Sterne hätte annehmen müssen, die ballistische Hypothese als glatt widerlegt betrachten ließ.

Von den anderen Einwänden, die gegen mich erhoben wurden, hatte keiner einen präjudiziellen und konzeptualen Charakter. Sie wiesen hin auf konkrete Unstimmigkeiten, die sich zwischen gewissen Einzelheiten, die meine theoretische Skizze<sup>4)</sup> des Phänomens der Sternenveränderlichkeit voraussah, und den direkten Daten der Beobachtung ergeben würden. Diese Einwände habe ich trotz ihrer vor allem von der Unsicherheit jener »Daten« abhängenden Schwäche ausführlich und eingehend überprüft, und es ist mir immer gelungen, sie auszuschalten und manchmal aus ihnen neue Argumente, wahre glänzende Beweise für das ballistische Prinzip zu ziehen.

Nur ein Punkt allein ist bisher ohne Antwort von mir geblieben, weil er mir nicht die Fortführung einer Polemik zu verdienen schien, die anfangs herb und ermüdend zu werden; jetzt aber, wo sich die Gelegenheit dazu bietet, werde ich nicht verfehlen, ihn aufzuklären, nachdem ich dargelegt habe, was den Hauptgegenstand der vorliegenden Mitteilung bildet.

2. Nach Miss *Leavitt* besteht eine Beziehung zwischen den absoluten Größen und den Perioden der zu einem und demselben Sternhaufen gehörenden  $\delta$  Cephei-Sterne. Und zwar erweisen sich für diese Veränderlichen die absoluten Sterngrößen merklich proportional zu dem Logarithmus der Perioden des Lichtwechsels.

Dieses wichtige Gesetz, das für die  $\delta$  Cephei-Sterne der Kleinen Magellanschen Wolke entdeckt wurde, ist von anderer Seite auch an Sternen sonstiger Sternhaufen bestätigt worden und bildet eine jener seltsamen und geheimnisvollen Regelmäßigkeiten auf dem Gebiete der Veränderlichen, für die man vergeblich gesucht hat, irgend ein Element der Begründung zu erfassen, für die es dagegen sofort gelingt, einen einfachen und unmittelbaren Grund anzugeben, sobald man von dem Gesichtspunkt der ballistischen Erklärung des Phänomens der »Veränderlichkeit« ausgeht.

Zur Erreichung dieses Zieles müssen einige einfache und interessante Sätze vorausgeschickt werden, die unmittelbar aus meinem theoretischen Schema entspringen.

<sup>1)</sup> *Timpanaro*, Rend. Acc. Lincei; *Crenna*, Rend. Acc. Lincei.

<sup>2)</sup> Wie ich wiederholt geschrieben habe, wird diese Deduktion so unmittelbar und notwendig gewonnen, daß es uns erlaubt ist, die Resultate der Beobachtungen als ein überaus kräftiges System von Beweisen zu ihren Gunsten zu betrachten.

<sup>3)</sup> Rend. Acc. Lincei 3.707 (1926).

<sup>4)</sup> Es ist überflüssig zu sagen, daß ich nicht die Anmaßung habe, meine theoretische Skizze für vollkommen zu halten. Sie wird sicher noch sehr verbessert und ergänzt werden müssen, um auf alle konkreten Fälle passen zu können.

Ich will deshalb zunächst daran erinnern, daß nach diesem Schema jeder veränderliche Stern ein »Doppelstern« (oder ein »mehrfacher Stern«) ist und daß die Rotation eines jeden der den Stern bildenden Körper um das gemeinsame Massenzentrum nur dann zu einem Wechsel in der Lichtstärke führen würde, wenn zwischen den Größen, die die Bewegungen charakterisieren, gewisse Beziehungen bestehen<sup>1)</sup>. Versetzen wir uns in den einfachsten Fall, in dem die Bewegung des zentralen Gestirns (wenigstens bezüglich des Lichtwechsels, der sich daraus ergeben könnte) vernachlässigt werden könne und in dem die Bewegung des Begleiters in bezug auf das Zentrum des andren Gestirns als kreisförmig und gleichmäßig betrachtet werden könne; und bezeichnen wir mit

$d$  die Entfernung des Rotationszentrums vom Beobachter,  
 $v$  den zahlenmäßigen Wert der Bahngeschwindigkeit,  
 $\tau$  die Zeit der Rotation,

$c$  die Geschwindigkeit des Lichtes (von einem in Ruhe befindlichen Körper in bezug auf den Beobachter),  
 so findet man, daß die Veränderlichkeit der Lichtstärke und daher der Sterngröße nur dann eintreten kann, wenn zwischen den obigen Größen die Beziehung

$$Kb \approx 1/2\pi$$

besteht, wo

$$K = d/c\tau \quad b = v/c$$

und wo das Zeichen  $\approx$  angibt, daß das Produkt  $Kb$  innerhalb ziemlich weiter Grenzen, um den Wert  $1/2\pi$ , variieren kann. Letzterer ist der Wert, bei dem das Phänomen der Veränderlichkeit am stärksten auftritt und die größte Amplitude und um ein Viertel Periode in bezug auf die Maxima der radialen Geschwindigkeit verlagerte Lichtmaxima aufweist.

Ich will weiter daran erinnern, daß die besondere Form der Lichtkurve und die Amplitude des Lichtwechsels sich als aneinander gebunden und als gleichzeitig abhängig von Werte unseres Produktes erweisen, derart, daß man auf Grund der Werte dieses letzteren eine rationelle Klassifizierung der Veränderlichen müßte vornehmen können und umgekehrt. Wir können also — immer nach meinem Schema — sagen, daß man für alle Veränderlichen von einem und demselben Typus, wenn die Klassifizierung in exakter Weise auf den vorgenannten Kriterien aufgebaut wird, annähernd ein und denselben Wert von  $Kb$  bekommen muß<sup>2)</sup>.

Mit anderen Worten, die Beziehung

$$Kb = \rho_0/2\pi \quad (1)$$

drückt nicht nur die notwendige und ausreichende Bedingung für das Auftreten des Phänomens der »Veränderlichkeit« in Abhängigkeit von der Bewegung aus, sondern sie dient, wenn  $\rho_0$  eher einen als einen anderen Zahlenwert darstellt, zur Bestimmung der »verschiedenen Typen« von Veränderlichen, derart, daß jedem Typus ein gewisser Wert  $\rho_0$  entspricht und

umgekehrt. Wir werden daher diesen Faktor  $\rho_0$  den »Parameter« des Typus nennen<sup>3)</sup>.

Man nehme nun an, daß man unter den Veränderlichen von einem gewissen Typus diejenigen gesondert betrachten wolle, die zu einem sehr fernen »Sternhaufen« gehören; es genügt alsdann, in die Gleichung (1) die Bedingung einzufügen, daß  $d$  ebenfalls praktisch konstant sei, und man bekommt die Bedingung:

$$v/\tau = 1/2\pi \cdot \gamma \rho_0 \quad (2)$$

wo  $\gamma = c^2/d$  eine merklich konstante Quantität ist, die wir der Kürze halber die »Konstante des Haufens« nennen wollen.

Indem wir (2) mit  $2\pi$  multiplizieren und  $2\pi/\tau = \omega$  und  $v = \omega r$  setzen, bekommen wir

$$\omega^2 r = \gamma \rho_0. \quad (3)$$

Diese Formeln drücken zwei äußerst wichtige Ableitungen der ballistischen Theorie aus.

Die Formel (2) besagt:

Unter allen, in einem Haufen vorhandenen Doppelsternen (oder mehrfachen Sternen) können uns als »Veränderliche« von einem bestimmten Typus nur diejenigen erscheinen, für die das Verhältnis  $v/\tau$  gleich dem Produkt der Konstante des Haufens mit dem Parameter des Typus geteilt durch  $2\pi$  ist.

Die Formel (3) sagt, daß uns als Veränderliche von einem gegebenen Typus nur diejenigen Doppelsterne des Haufens erscheinen können, für die die mittlere Beschleunigung, der der rotierende Begleiter von seiten des anderen Gestirns unterworfen ist, gleich ist dem Produkt der Konstanten des Haufens mit dem Parameter des Typus.

Und da diese Beschleunigung diejenige der Bewegung des Begleiters in bezug auf das Zentrum des Hauptsternes ist, so erkennen wir, daß sie abhängt von der Masse dieser Körper und ihrem gegenseitigen Abstand in der durch das Newtonsche Gesetz ausgedrückten Weise, so daß wir der Formel (3) folgenden Ausdruck geben können

$$vM/r^2 = \gamma \rho_0 \quad (4)$$

wo  $M = m_1 + m_2$  die Gesamtmasse des Systemes und  $r$  der Radius der von dem Begleiter bei der Rotation um das andere Gestirn beschriebenen Bahn ist.

Schreibt man dann in (2)  $2\pi r/\tau$  an Stelle von  $v$  und eliminiert man aus Gl. (2) und (4)  $r$ , so findet man die überaus wichtige Beziehung

$$M/\tau^4 = \rho \quad (5)$$

wo  $\rho$  eine neue Konstante ist (die ich »Leavittsche Konstante«

<sup>1)</sup> Cfr. *M. La Rosa*. Z. f. Phys. 21.333 (1924); N. Cim., gen. 1924. *C. Cannata*. Rend. Acc. Lincei 6.296 (1927), 7.337 (1928).

<sup>2)</sup> In Wirklichkeit wird man, wenn man exaktere Kriterien der Klassifizierung aufstellen will, auch der Bewegung des zentralen Gestirns und eventuell der anderen Begleiter Rechnung tragen und die sich aus der Summe der Lichtwechsel der einzelnen Körper ergebende Lichtkurve konstruieren müssen. Im allgemeinen jedoch wird man auf die von uns angenommene Weise vorgehen können, indem man den bedeutendsten Wechsel zugrunde legt und die Änderungen einbezieht, die von der Bewegung der anderen Körper abhängen und den Charakter von Störungen annehmen.

<sup>3)</sup> Die Elliptizität der Bahnen kompliziert diese Betrachtungen, insofern sie  $\rho_0$  veränderlich macht; aber man kann ohne ernsthafte Schwierigkeiten diese Erweiterung machen, indem man auf die Durchschnittswerte Bezug nimmt.

nennen will), gegeben durch

$$p = 1/v \cdot (1/2\pi)^4 \gamma^3 p_0^3.$$

Letzteres Verhältnis besagt uns, daß unter allen Doppelsternen (oder mehrfachen Sternen) eines Haufens als Veränderliche eines gegebenen Typus nur diejenigen erscheinen können, bei denen der Fall eintritt, daß die Massen der Anziehungszentren proportional sind der vierten Potenz der Rotationsperiode des Begleiters (mit anderen Worten des »Lichtwechsels«), da die Proportionalitätskonstante gleich der (für jenen Typus und für jenen Haufen berechneten) *Leavittschen* Konstante ist.

Nun entspricht unter allen bekannten Veränderlichen die Gruppe der  $\delta$  Cephei-Sterne sehr gut den oben angedeuteten Kriterien der Klassifizierung und man kann deshalb annehmen, daß die Bedingung  $Kb = \text{konstant}$  (praktisch) erfüllt ist. Es handelt sich um einen Haufen von Sternen, die sehr deutlich charakterisierte Lichtkurven und wenig untereinander verschiedene Variationsamplituden haben.

Wenn wir also die  $\delta$  Cephei-Sterne eines und desselben Haufens näher betrachten, so müssen wir nach dem ballistischen Schema erwarten, daß das Verhältnis (5) erfüllt wird, nämlich daß

$$M = p \tau^4 \quad (5')$$

ist. Und überdies könnten wir die Existenz eines Zusammenhanges zwischen der absoluten Sterngröße (die bekanntlich gegeben wird durch  $2.5 \log E$ , wo  $E$  die durch den Stern ausgestrahlte Gesamtlichtmenge ist) und der Variabilitätsperiode  $\tau$  voraussehen, wenn es uns gelänge,  $M$  und  $E$  untereinander zu verbinden.

Nun ist die Existenz eines inneren Zusammenhangs zwischen diesen zwei Größen, auf einen und denselben Stern bezogen, schon seit einigen Jahren festgelegt worden.

Prof. *Eddington*<sup>1)</sup> leitete zuerst, gestützt auf die nunmehr zu sicherem Besitztum gewordenen theoretischen Kenntnisse über den inneren Zustand der Sterne und ihr Strahlungsgleichgewicht die äußerst bemerkenswerte Beziehung ab:

$$-m = f(M) + b_0 \quad (6)$$

wo  $m$  die absolute Sterngröße des Gestirnes ist und  $f(M)$  eine Funktion seiner Masse angibt, die in erster Annäherung sich ausdrückt in der direkten Proportionalität zum  $\log M$  und wo  $b_0$  ein Parameter ist, der alle Elemente der Ungewißheit in sich aufnimmt, die, sowohl aus der Beobachtung als auch aus dem Spiel wenig einflußreicher und in der Theorie vernachlässigter Faktoren kommen können.

Dieser Schluß ist jedoch nicht allgemein anerkannt worden. Professor *Jeans*<sup>2)</sup> kam bei Erörterung der Frage des inneren Zustandes und des Strahlungsgleichgewichtes der Sterne seinerseits zu dem Schluß, daß die Bindung zwischen  $m$  und  $M$  aus den dem Problem innewohnenden Gründen ein von  $T$  (absolute Temperatur der Oberflächenschicht des Sternes) abhängiges Glied enthalten müsse, und setzte an die Stelle der *Eddingtonschen* Beziehung folgende:

$$-m = \Phi(M) + a_2 \log T + a_3 \quad (7)$$

wo  $\Phi(M)$  noch merklich  $\log M$  proportional ist,  $a_2$  ein merklich konstanter Koeffizient, der in der Praxis (d. h. bei der Anwendung auf die konkreten Fälle, in denen ein direkter Vergleich mit der Beobachtung möglich gewesen ist) sich immer als 1 sehr naheliegend erwiesen hat, und  $a_3$  eine Konstante. Indem wir an die Stelle von  $\Phi(M)$ ,  $a_1 \log M$  schreiben und  $a_2 = 1$  setzen, bekommen wir also:

$$-m = a_1 \log M + \log T + a_3. \quad (7')$$

Bei Erörterungen seiner Gleichung und deren Vergleich mit den sichersten Daten der Beobachtung hat jedoch Prof. *Jeans* selbst anerkannt, daß die Resultate, zu denen man gelangt, nicht merklich entfernt sind von den von *Eddington* erhaltenen, wenigstens was die Übereinstimmung mit den konkreten Daten anbetrifft, in den Fällen, für die die Kenntnis der Parallaxe und der Massen jene Grenzen der Annäherung erreicht, die nötig sind, um den zahlenmäßigen Nachprüfungen eine gewisse Kraft zu geben.

Trotz der begriffsmäßigen Divergenzen zwischen den beiden Theorien ist also, und zwar in unanfechtbarer Weise, die Existenz einer einfachen Bindung zwischen unseren Größen festgestellt, einer Bindung, die (wie die praktische Anwendung dargetan hat) sich nicht von der *Eddingtonschen* Formel entfernt und die sicher durch die *Jeanssche* Formel sehr angenähert dargestellt wird.

Indem wir die *Eddingtonsche* Formel mit der von uns aufgestellten (5) verbinden, finden wir<sup>3)</sup>:

$$-m = 4a \log \tau + b', \quad \text{wo } b' = b_0 \log p'.$$

Und indem wir dasselbe für das *Jeanssche* Gesetz tun, bekommen wir

$$-m = 4a_1 \log \tau + \log T + a_3', \quad \text{wo } a_3' = a_3 + a_1 \log p'.$$

Die erste drückt in strenger Form ein interessantes Gesetz aus, das eine Verallgemeinerung des von Miss *Leavitt* für die  $\delta$  Cephei-Sterne gefundenen Gesetzes ist; dasselbe bedingt in der Tat bis auf eine Konstante die Proportionalität zwischen den absoluten Sterngrößen der Veränderlichen eines und desselben Typus und eines und desselben Haufens und dem Logarithmus der Periode des Lichtwechsels; das andere gelangt zu demselben Resultat bis auf die Hinzufügung des  $\log T$  enthaltenen Gliedes. Und man begreift, daß, wenn für die Sterne eines und desselben Haufens  $T$  von Fall zu Fall nicht sehr variiert, der Einfluß dieses Gliedes sich als klein genug erweisen kann, um — gerade wie es *Eddington* will — in der Ungewißheit des zweiten Gliedes absorbiert zu werden.

Jedenfalls wird seine Rolle immer die eines bescheidenen Korrektionsgliedes sein, das sich bei dieser Art von Beziehungen, die sich ihrer Natur nach von dem Charakter strenger Gesetze entfernen, wenig fühlbar machen wird. Immerhin wird es nicht überflüssig sein, die Daten der Beobachtung in der für den Vergleich mit den Formeln am geeignetsten Form vor Augen zu haben; es wird sich daraus vielleicht irgendein Element für die Beurteilung finden lassen.

Um aus den Berechnungen möglichst viele Elemente der Ungewißheit auszuschalten, ist es zweckmäßig, sich eines (zur fraglichen Gruppe gehörenden) Vergleichsternes zu be-

<sup>1)</sup> MN 84.104, 308, 372 (1924).

<sup>2)</sup> MN 85.196, 394, 792 (1925).

<sup>3)</sup> Der Einfachheit der Schreibweise und Sprache halber haben wir den Ausdruck (5) wie eine Gleichung behandelt, aber wir werden uns immer gegenwärtig halten, daß sie nur innerhalb nicht allzu enger Annäherungsgrenzen erfüllt sein muß.

dienen und auf ihn alle Beobachtungen in folgender Weise zu beziehen:

Wenn  $m_0, M_0, \tau_0, T_0$  die dem Vergleichstern zukommenden Größen sind, dann erhalten wir durch Differenz die Beziehungen:

$$m_0 - m = 4a \log(\tau/\tau_0)$$

nach dem *Eddingtons*chen Gesetz, oder

$$m_0 - m = 4a_1 \log(\tau/\tau_0) + \log(T/T_0)$$

nach dem *Jeanss*chen.

Nach der ersten müßten wir also ein konstantes Verhältnis zwischen  $(m_0 - m)$  und  $\log(\tau/\tau_0)$  erwarten<sup>1)</sup>, während wir nach der anderen merkliche und sprunghafte Variationen dieses Verhältnisses, abhängig von der regelmäßigen Variation von  $\log(\tau/\tau_0)$  längs der Serie der Beobachtungen, und sprunghafte Veränderungen von  $\log(T/T_0)$  finden müßten.

Unter Benutzung der Beobachtungsdaten, aus denen das Gesetz von Miss *Leavitt* abgeleitet wurde, erhielten wir für das Verhältnis

$$n = (m_0 - m) / (\log \tau - \log \tau_0) \quad (8)$$

die Zahlen, die in nachstehender Tabelle aufgeführt sind:

Max.	Min.	Med.	Per.	$n_1$	$n_2$	$n_3$
14 <sup>m</sup> 8	16 <sup>m</sup> 1	15 <sup>m</sup> 45	1 <sup>d</sup> 25	—	1.061	1.55
14.8	16.4	15.60	1.66	—	1.631	1.91
14.8	16.4	15.60	1.76	—	1.722	1.97
15.1	16.3	15.70	1.88	—	2.07	2.15
14.7	15.6	15.15	2.17	—	—	1.62
14.4	15.7	15.05	2.91	—	—	1.78
14.7	15.9	15.30	3.50	—	—	2.62
14.6	16.1	15.35	4.29	—	—	3.01
14.3	15.3	14.80	4.55	2.03	—	1.990
14.3	15.5	14.90	4.99	1.62	—	2.406
14.4	15.4	14.90	5.31	1.53	—	2.575
14.3	15.2	14.75	5.32	1.740	2.71	2.129
13.8	14.8	14.30	6.29	2.417	—	1.307
14.1	14.8	14.45	6.65	2.055	2.182	1.920
14.0	14.8	14.40	7.48	1.968	2.412	2.20
13.9	15.2	14.55	8.40	1.600	1.187	3.29
13.6	14.7	14.15	10.34	1.934	2.126	2.258
13.4	14.6	14.00	11.64	1.955	2.236	2.229
13.8	14.8	14.30	12.42	1.573	1.310	—
13.4	14.4	13.90	13.08	1.994	2.206	—
13.4	14.3	13.85	13.47	2.02	2.257	—
13.0	14.6	13.80	16.75	1.88	1.943	—
12.2	14.1	13.15	31.94	1.976	2.08	1.90
11.4	12.8	12.10	65.8	2.249	2.431	2.553
11.2	12.1	11.65	127.0	2.145	2.258	2.270

Die erste, zweite und vierte Spalte enthalten die von Miss *Leavitt* mitgeteilten Beobachtungsdaten, nämlich die Sterngröße in den Momenten des Lichtmaximums und Minimums und die Periode in Tagen; die dritte Spalte enthält das Mittel der Zahlen der ersten und zweiten Spalte, diese

werden in Ermangelung von genaueren Angaben als Maß der absoluten Sterngrößen angenommen; die Zahlen der drei letzten Spalten enthalten die für die Größe  $n$  erhaltenen Werte, wobei drei verschiedene Bezugssysteme angewendet wurden. Um zum Teil die in den Elementen des Bezugsternes enthaltenen Fehler auszuschalten, nahmen wir als solche die aus den drei Sterngruppen gewonnenen Durchschnittsdaten, die am Rand der ersten Spalte durch eine { gekennzeichnet sind; und infolgedessen sind die Verhältnisse der Spalte  $n_1$  diejenigen, die erhalten wurden, indem als Bezug die Durchschnittsdaten der ersten Gruppe von oben, gebildet aus dem 2., 3. und 4. Stern, genommen wurden; die Zahlen der Spalte  $n_2$  haben als Bezug die Durchschnittsdaten der zweiten Gruppe (die Sterne 9–12); und die mit  $n_3$  bezeichneten haben als Bezug die Durchschnittsdaten der Sterne 20 und 21.

Die Zahlen der Spalten  $n$  zeigen, daß das Miss *Leavitt*-sche Gesetz weit davon entfernt ist, den Charakter einer strengen Beziehung zu besitzen.

Die Verhältnisse  $n$  sind nicht nur nicht konstant, sondern weisen eine geringe und allgemeine Abhängigkeit von den Daten des Vergleichsternes auf, was gut mit dem übereinstimmt, was die Formel (8) fordert. Sie zeigen daneben weite Schwankungen und einige überaus merkliche Ausschläge, die gut in Einklang stehen mit dem Charakter unserer Beziehungen, die sich ja nur als Näherungen darstellen.

Die Übereinstimmung zwischen dieser Art empirisch entdeckter Regelmäßigkeiten und unserem theoretischen Schema könnte keine bessere sein. Das Gesetz von Miss *Leavitt* kann mit Recht als ein besonderer Fall der oben festgestellten allgemeinen Bindung betrachtet werden.

Da nun die Grundlagen unserer Betrachtungen die *Eddington-Jeanss*che Beziehung zwischen  $m$  und  $M$  und die Anwendung des ballistischen Prinzips auf die Geschwindigkeit des Lichtes sind, so müßte man schließen können, daß das Miss *Leavitts*che Gesetz einen stichhaltigen Beweis für die Richtigkeit dieser Voraussetzungen bildet.

Das ballistische Prinzip geht so stark gekräftigt aus dieser neuen Überprüfung mit der beobachteten »Wirklichkeit« hervor.

Nichtsdestoweniger bin ich mir wohl klar darüber, daß seine Aufnahme in die Theorie noch schwere Hindernisse finden wird.

Die »Relativität« hat zweifellos der modernen Entwicklung der physikalischen Theorien große Dienste erwiesen; und es ist nicht möglich, darauf zu verzichten.

Doch scheint es mir, daß die Annahme des »ballistischen Prinzips« nicht notgedrungen zur Verurteilung jener Theorie führen müsse, wenigstens in ihrem wesentlichsten Teil, der so fruchtbar gewesen ist als Hilfe für die neueren theoretischen Entwicklungen. Die wirklich nützliche Leistung, die eine große Rolle gespielt hat, ist die, die die Abhängigkeit der Trägheitsreaktion (eines Körperchens) von der Geschwindigkeit der Bewegung betrifft; mit anderen Worten, was die Revision der Grundlagen der zweiten Forderung der klassischen Mechanik betrifft. In diesem Punkt hat sich die *Einstein*sche Theorie einen einwandfreien Erfolg gesichert.

<sup>1)</sup> Die Konstanz, von der gesprochen wird, ist zu verstehen mit jener in Anmerkung (3) auf p. 373-74 erklärten Weite der Bedeutung, sowohl wegen des Charakters der Gl. (5) als auch wegen der Veränderlichkeit, die die Quantität  $b'$  der *Eddingtons*chen Formel zeigt, die unter anderem auch den Einschluß eines von der Temperatur abhängigen korrektiven Gliedes voraussetzt.

Nun meine ich, daß dasselbe Resultat hätte erzielt werden können durch eine direkte und zweckmäßige Abänderung der Grundbeziehungen zwischen Kraft, Masse und Beschleunigung und vor allem ohne die Notwendigkeit, zu dem ungerechtfertigten Ausweg der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit zu greifen, der die Quelle der soviel erörterten und beklagten Seltsamkeiten gewesen ist und den *Einstein* selbst bei der späteren Entwicklung seiner Theorie hat fallen lassen müssen. Ein theoretischer Versuch in diesem Sinne wäre vielleicht sehr fruchtbar und gewiß sehr lehrreich.

In der Hoffnung, daß ein anderer diese Aufgabe möchte übernehmen können und daß bald ein Boden der Versöhnung möchte gefunden werden, muß ich meinerseits — mit der festesten Überzeugung — auf dem außergewöhnlich großen Wert bestehen, den jetzt die Tatsachenbeweise für das ballistische Prinzip (oder wenigstens die weiter gehaltene Hypothese eines gewissen Einflusses der Bewegung der Lichtquelle auf die Lichtgeschwindigkeit) erlangt haben. Das ganze Gebiet der Phänomene der Veränderlichkeit der Sterne mit den Erscheinungen, die dieselbe bei den verschiedenen Typen aufweist, mit den Besonderheiten, die sie bei diesen Typen darbietet, und einigen ihrer statistischen Gesetze bestätigt heute diese Hypothese.

Unter den vielen Einwänden, die gegen mich erhoben wurden, wartet nur der letzte von *Salet* noch auf eine Antwort. Danach wäre die ballistische Hypothese auf jeden Fall einfach deshalb zu verwerfen, weil die Lichtstärke gewisser Sterne in gewissen Fällen durch Unendlich gehen müßte.

Abgesehen von der Zweckmäßigkeit oder vielmehr Pflicht, diesen für einen Augenblick eintretenden Durchgang durch das Unendliche, der in gewissen Fällen für das Verhältnis  $dI/dT$  meiner theoretischen Skizze (dem die Intensität den Sternes proportional ist) eintritt, »cum grano salis« aufzufassen, wie man es in so vielen anderen analogen Fällen sowohl in der Physik wie in anderen Wissenschaften tut; abgesehen auch von der berechtigten Möglichkeit, sich auf das

Prinzip von der Erhaltung der Energie, ausgedehnt auf die ganze Periode des Lichtwechsels, zu stützen, um die wahre Amplitude des Maximums abzuleiten, wie ich es in meinen Arbeiten geraten habe, ist es bei dem gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse nicht erlaubt, das ballistische Prinzip trotz der so vielen sichergestellten Bestätigungen wegen dieses einen Umstandes zu verwerfen. Zugegeben auch, daß man durch die Überlagerung der Geschwindigkeit des Sternes und der des Lichtes dazu geführt werde voraussehen, daß in einem gewissen Augenblick und an gewissen Punkten des Raumes eine überaus große Verdichtung von »Photonen« eintreten könne, so kann man bei den gegenwärtigen Anschauungen nicht ohne weiteres schließen, daß dies eintreten könnte, ohne daß Reaktionen zwischen den verschiedenen »Photonen« entstünden, ohne daß es zu gegenseitigem Aufeinanderprallen käme, ohne daß auf irgendeine Weise neue Beziehungen zwischen diesen entstünden, die darauf hinzielen, den Ausnahmezustand, der sich auszubilden strebt, mehr oder weniger zu modifizieren.

Fügt man zu diesen nicht allein möglichen, sondern mehr als wahrscheinlichen Umständen den anderen hinzu, daß wir in dem konkreten Falle verhindert sind, die augenblicklichen Modalitäten des Phänomens festzulegen, in bezug auf das wir einen Mittelwert von dem, was in einem gewissen Intervall sich ereignet, erkennen (ein Intervall, das nicht nur endlich sein muß, sondern immer sehr groß in bezug auf die Zeiten, die bei der Untersuchung dieser elementaren Reaktionen zwischen Photonen ins Spiel treten), so sieht man, wie vermessen und unbegründet die Forderung derjenigen ist, die, vor den sichergestellten Tatsachen die Augen verschließend, im Namen so dunkler und verwickelter Unbekannten eine Strömung des Denkens in Acht und Bann erklären wollen, die sich so fruchtbar erwiesen hat, wenn sie auch, wie alle menschlichen Vorstellungen, nicht imstande ist, alles zu koordinieren, alles verständlich zu machen, alles zu erklären.

Palermo, 1931 April 18.

M. La Rosa.

### Beobachtungen von Kometen

am 15zölligen Refraktor der Pulkowoer Sternwarte. Von *K. Pokrowsky*.

Datum	Weltzeit	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	Vgl.	Nr.	Vergleichstern $\alpha$	$\delta$	$\alpha$	$\log p\Delta$	$\delta$	$\log p\Delta$	Bem.	
Komet 1929d ( <i>Wilk</i> ).													
1929 Dez. 24	18 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup>	+0 <sup>m</sup> 17 <sup>s</sup> 87	—	8,—	1	18 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup> 22 <sup>s</sup> 66	+32° 2' 37".2	18 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup> 40 <sup>s</sup> 53	9.508	—	—	1,2	
	18 19 4	—	+4' 16".4	—,10	1	»	»	—	—	+32° 6' 53".6	0.870		
Komet 1930b ( <i>Beyer</i> ).													
1930 März 16	18 19 41	—	-2 8.5	—,10	2	6 5 15.21	+34 32 21.9	—	—	+34 30 13.4	0.603	3	
	18 20 42	-0 1.00	—	10,—	2	»	»	6 5 14.21	9.224	—	—		
	17 20 1 33	+0 56.69	+2 25.7	7,7	3	6 4 23.35	+34 54 20.7	6 5 20.04	9.466	+34 56 46.4	0.673	4	
	24 21 39 12	+1 5.49	-0 55.3	10,10	4	6 6 7.21	+37 42 22.2	6 7 12.70	9.574	+37 41 26.9	0.762		
	26 20 16 50	-0 28.76	-0 55.7	10,10	5	6 8 33.49	+38 24 40.7	6 8 4.73	9.541	+38 23 45.0	0.685		
	28 21 45 46	-0 16.66	—	10,—	6	6 9 25.57	+39 7 35.0	6 9 8.91	9.584	—	—		
	21 46 30	—	-0 13.0	—,10	6	»	»	—	—	+39 7 22.0	0.772		
	29 20 51 11	-1 7.81	-4 34.6	10,10	7	6 10 50.11	+39 31 49.1	6 9 42.30	9.575	+39 27 14.5	0.720		
	April 3	21 27 20	-1 27.60	-0 23.9	10,10	8	6 14 37.89	+41 7 22.7	6 13 10.29	9.597	+41 6 58.8	0.760	
	9	20 22 38	—	+0 17.8	—,13	9	6 17 53.83	+42 56 18.3	—	—	+42 56 36.1	0.722	5
	20 44 54	+0 35.69	—	10,—	9	»	»	6 18 29.52	9.607	—	—		
	22 23 20	+0 39.65	+1 47.4	9,9	9	»	»	6 18 33.48	9.585	+42 58 5.7	0.907		