

# **appearance of relativistically expanding radio sources**

Alexander Helbok\*

2. Januar 2024

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Standpunkt 1965</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Diskussion</b>	<b>3</b>

## 1 Einleitung

In 60 Jahren kann sich das physikalische Weltbild stark verändern. Vor allem wenn man an die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts denkt, wo ein ganzer Teilbereich mit der Quantenmechanik neu aufgestellt wurde. Dennoch waren Physiker sich der Implikationen von Einsteins Relativitätstheorie auch nach 60 Jahren noch nicht ganz bewusst. Wie die Welt bei relativistischen Geschwindigkeiten aussieht, kann man nur anhand mathematischer Formeln errahnen, so kontraintuitiv sind die Konzepte der SRT.

So geschah es, dass 1966 (61 Jahre nach Veröffentlichung der speziellen Relativitätstheorie), die starken Helligkeitsschwankungen von entfernten Radioquellen durch ein simples geometrisches Argument erklärt werden konnten. Das geometrische Argument trägt aber auch ein scheinbares Paradoxon mit sich, und zwar sich mit Überlichtgeschwindigkeit ausdehnende Körper.

## 2 Standpunkt 1965

Der Bereich der Radioastronomie ist in den 30er aufgekomen und hat Astronomen §§ geöffnet. Während optische Lichtwellen leicht abgeschirmt werden (durch Staub und Gas), können Radiowellen aufgrund ihrer großen Wellenlänge (und niedriger Energie) sich viel weiter fortpflanzen ohne starke Verluste zu erleiden. Deshalb können mit Radioteleskopen Objekte beobachtet werden, die große Entfernungen besitzen, s

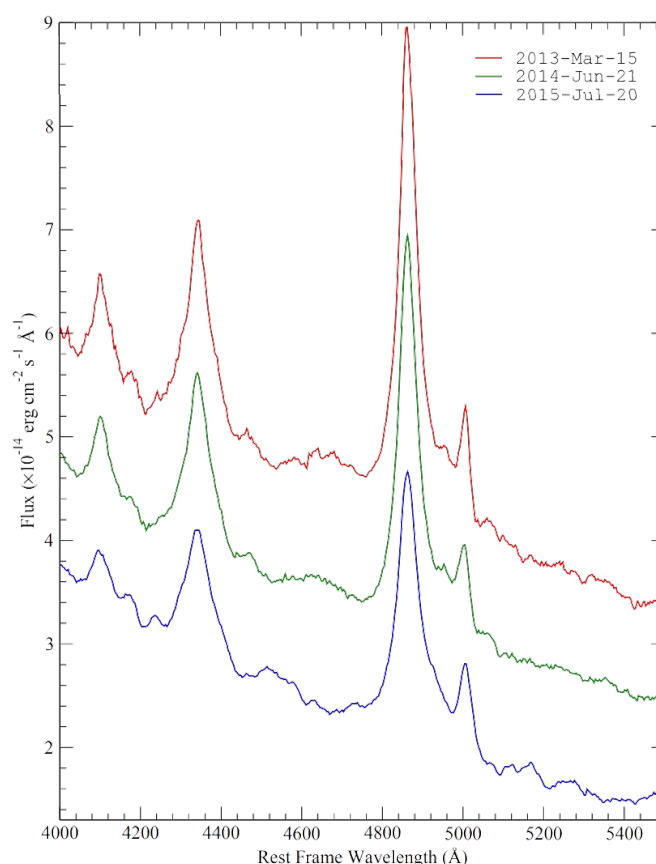
Mitte der 60er Jahre wurde eine neue Klasse an astronomischen Objekten entdeckt. Im Optischen erscheinen diese entweder gar nicht oder nur sehr schwach und punktförmig, wie Sterne. Im Radiobereich, der in dem Jahrzehnt neu aufgeschlossen wurde, strahlen sie sehr stark und man erkennt zum Teil räumliche Ausdehnungen. Hinzu kommt, dass das Spektrum das eines schwarzen Strahlers gar nicht ähnelt und Spektrallinien zu sehen sind, die hohe Rotverschiebungen und somit hohe Entfernungen andeuten. Diese Objekte wurden aufgrund ihrer optischen Ähnlichkeit mit Sternen quasi-stellare-Objekte, kurz QSO oder Quasare, getauft.

Was Quasare zu einzigartigen (und physikalisch äußerst problematischen) Objekten macht, sind folgende drei Beobachtungen:

- 1) Falls die Rotverschiebung der Spektrallinien ( $z > 0.1$ ) der Expansion des Universums zugeschrieben werden kann, dann haben Quasare Entfernungen von über 500 Mpc.
- 2) Der gemessene Fluss von Quasaren ist hoch.
- 3) Der Strahlungsfluss von Quasaren vervielfacht sich innerhalb von Tagen.

Stimmen diese drei Aussagen/Beobachtungen, dann haben wir es bei Quasaren mit Objekten zu tun, deren Kernregion die Größe des Sonnensystems hat (Aussage 3), ein vielfaches der Milchstraße strahlt (Aussage 1 & 2).

Der gemessene Fluss kann unter der Annahme von Isotropie Die große kernregion



**Abbildung 1:** Links ist der gemessene Fluss auf die Zeit aufgetragen. An Beobachtungen die bei gleichen Wellenlängen durchgeführt wurden, sind Geraden angepasst worden. In der rechten Abbildung ist der gemessene Fluss des gleichen Quasars auf die Wellenlänge für drei Verschiedene Messreihen (farblich hervorgehoben) aufgetragen.

In Abbildung 1 sind In der Linken Abbildung aus 1965 (Maltby und Moffett 1965) sind Flussmessungen bei verschiedenen Wellenlängen zu unterschiedlichen Zeitpunkten angegeben. Die gemessene Flussdichte ist mit Fehlerbalken auf den Beobachtungszeitpunkt aufgetragen, die Unterscheidung der Spektralbänder entsteht automatisch durch den Unterschied der Flüsse bei unterschiedlichen Wellenlängen. Auf Messungen aus dem gleichen Spektralband wurden lineare Regressionen angewendet und die erhaltenen Geraden sind strichliert dargestellt.

In der rechten Abbildung aus 2020 (Fernandes u. a. 2020) ist die Flussdichte auf die Wellenlänge aufgetragen, wobei drei farblich unterscheidbare Kurven drei Messungen aus 2013 bis 2015, mit jeweils einem Jahr Abstand, darstellen.

Man erkennt, dass die Flussdichte im Zeitraum von 6 Jahren in allen Wellenlängen zugenommen hat.

Drastische Helligkeitsschwankungen sind in der Astronomie nichts neues, das Problem ist die Kombination aus der Stärke und Geschwindigkeit der Fluktuationen. Damit sich ein ausgedehntes Objekt Wir haben es hier also mit

Eine erhöhte Flussdichte kann man entweder durch einen erhöhten gesamten Energieausstoß oder durch eine vergrößerte Oberfläche, welche mit der gleichen Energiedichte strahlt. Prozesse, die so schnell den Energieausstoß auf den Größenordnungen wie es bei Quasaren beobachtet wird erhöht, sind schwer.

Eine vergrößerung der strahlenden Oberfläche kann zb durch Explosionen leicht gemacht werden, reicht aber aus klassischer Sicht nicht aus, um die Beobachtungen zu erklären. Betrachtet man dieses Argument aber relativistisch, sieht das ganze aber anders aus.

Betrachte eine Explosion, welche sich sphärisch vom Mittelpunkt  $S$  gleichförmig mit der Geschwin-

digkeit  $v$  ausbreitet. Im klassischen Regime  $v \ll c$  erscheint die sich ausbreitende Oberfläche für einen Beobachter  $O$  im Abstand  $R \ll vt$  kreisförmig (2D Projektion). Der Radius des Kreises nach der Zeit  $t$  ( $t$  wird ab dem Zeitpunkt gemessen, an dem die Explosion in  $O$  beobachtet wird) ist dabei  $r = vt$ , und der Winkeldurchmesser beträgt  $\theta = 2 \arctan\left(\frac{vt}{R}\right) \approx 2 \frac{vt}{R}$ .

Breitet sich die Explosion aber mit relativistischen Geschwindigkeiten aus  $v \sim c$  stimmt das klassische Bild nicht mehr. Aufgrund der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit, wird in  $O$  kein „Snapshot“ der Explosion beobachtet, das Licht, welches Gleichzeitig eintrifft und somit das gesehen Bild erzeugt, wurde an unterschiedlichen Orten der Explosion zu verschiedenen Zeiten losgeschickt. Die Expansion erscheint also nicht mehr perfekt sphärisch, sondern wie ein Ellipsoid (siehe autoref).

### 3 Diskussion

Es wurden insgesamt 90 Datenpunkte aufgenommen, welche jedoch in drei getrennten Gruppen analysiert werden mussten. Das ist zwar besser als nur 30 Messdaten von einem Versuchsteilnehmer zu haben, da dann drei Teilmessungen der Elementarladung kombiniert werden können und somit der statistische Fehler ungefähr halbiert wird. Allerdings wären 90 Messdaten von einem Versuchsteilnehmer besser, da dann mehr Daten in den einzelnen Ladungsgruppen liegen und damit die Kerns im KDE kleiner gewählt werden können, was den statistischen Fehler (aus der Breite der KDE) verringert.

Wir erhalten für die Elementarladung ohne Cunningham Korrektur  $e_{\text{unkorr}} = 1.8(3) \cdot 10^{-19}$  C. Vergleicht man das mit dem CODATA 2018 Wert  $e_{\text{lit}} = 1.602 \cdot 10^{-19}$  C **codata**, erkennt man dass der Literaturwert innerhalb einer Standardabweichung von unserem Wert liegt.

Die Cunningham-Korrektur kann nur sinnvoll auf die Daten angewendet werden, wenn man für den Parameter  $b$  einen Literaturwert hernimmt. Für die Bestimmung über eine Geradenanpassung sind die Fehler zu klein abgeschätzt und weiters zu wenige Datenpunkte vorhanden, um einen klaren linearen Trend ausmachen und quantifizieren zu können. Als korrigierten Wert für die Elementarladung erhalten wir  $e_{\text{kor}} = 1.6(3) \cdot 10^{-19}$  C. Die Korrektur hat den Fehler unmerklich beeinflusst, der nominelle Wert hingegen ist etwas kleiner geworden. Die korrigierte Elementarladung ist hier wieder mit dem Literaturwert vereinbar.

Die Unsicherheit der hier bestimmten Werte setzt sich zum Großteil aus der Streuung der Messwerte in den einzelnen Ladungsgruppen zusammen. Um den Fehler zu minimieren müsste man in einem Folgeexperiment die Zeitmessungen akkurater durchführen, zum Beispiel unter Verwendung einer Digitalkamera, die die Tröpfchenbewegung aufnimmt. Da könnte man dann im Nachhinein die Zeitmessung entweder automatisieren oder über eine verlangsamte Aufnahme händisch durchführen.

### Literatur

- Maltby, P. und A. T. Moffett (1965). „Spectrum of the Intensity Variations in 3C 273B“. In: *Science* 150.3692, S. 63–64. ISSN: 00368075, 10959203. URL: <http://www.jstor.org/stable/1717963> (besucht am 28. 12. 2023).
- Fernandes, S. u. a. (Juli 2020). „Multiwavelength analysis of the variability of the blazar 3C 273“. In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 497.2, S. 2066–2077. ISSN: 1365-2966. URL: <http://dx.doi.org/10.1093/mnras/staa2013>.