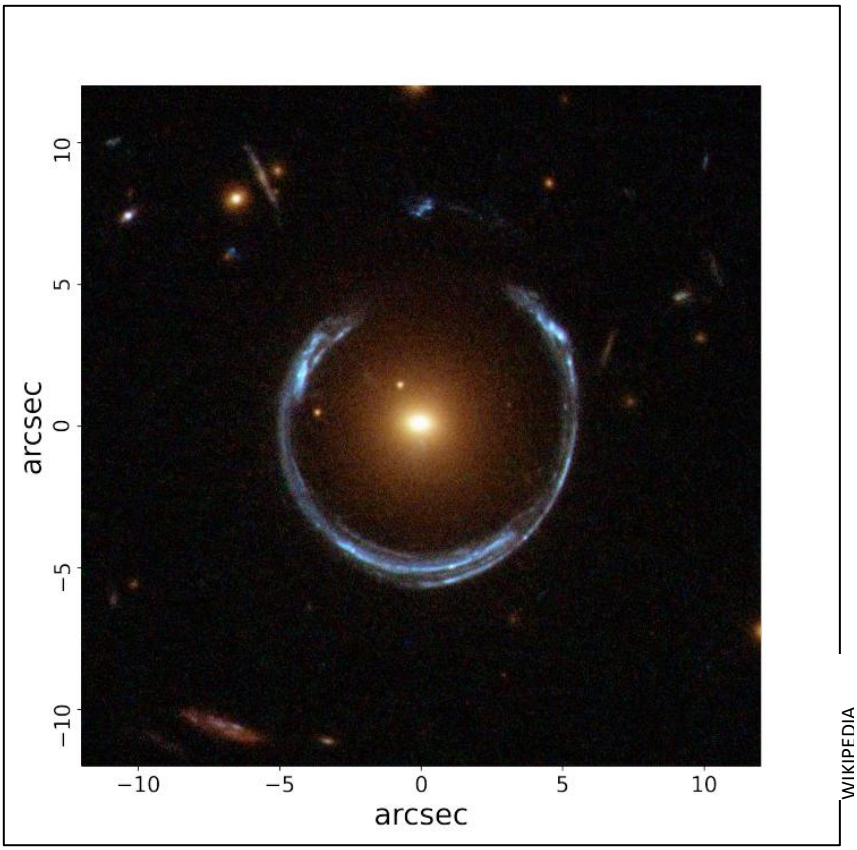
The Cosmic Horseshoe Gravitational Lens

SDSS J114833.14+193003.2

Matthias Borchardt

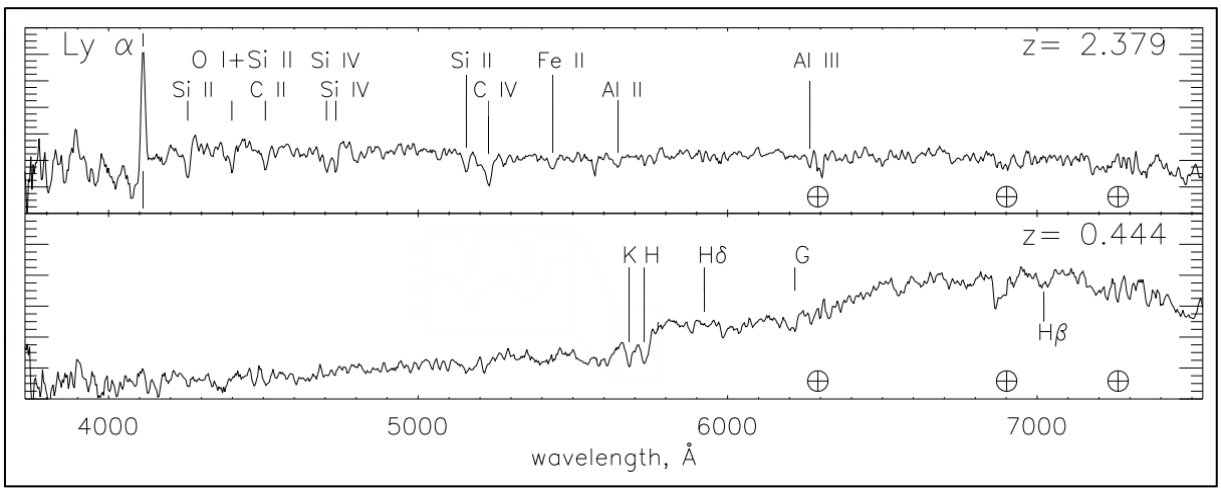
Ein fast perfekter Einsteinring

- Ringsektor: 300°
- Einsteinradius: Θ_E = 5,1 Bogensekunden



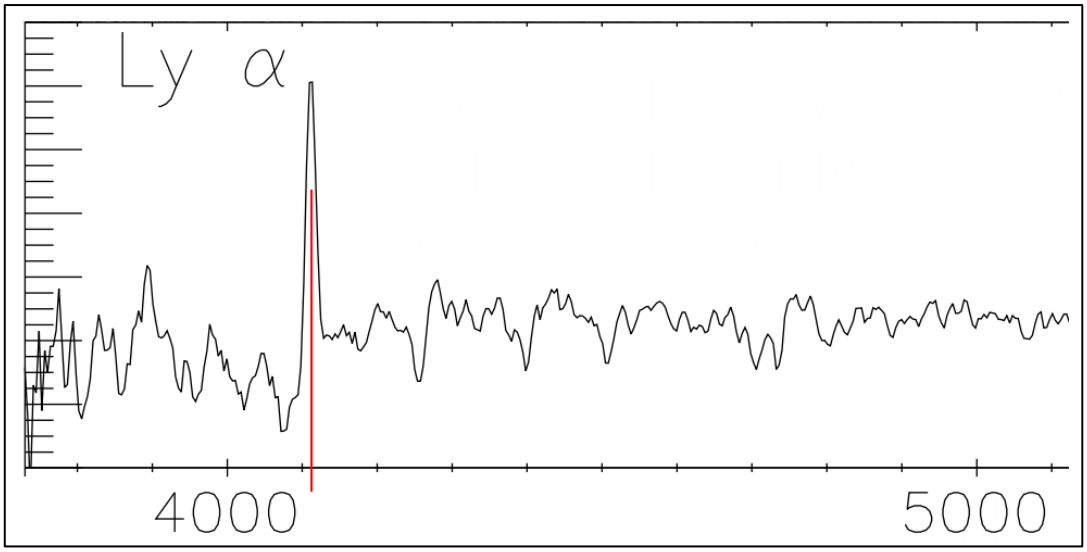
WIKIPEDIA

Die Spektren der Linse (Lens) und der Quelle (Source)



Belokurov, V. et al., 2007 ApJ...671L...9B

- **Rotverschiebung der Hintergrund-Galaxie (Source):**



Lymann-Alpha Linie:

Ruhewellenlänge (Vakuum): λ_0 = 1215,24 Å

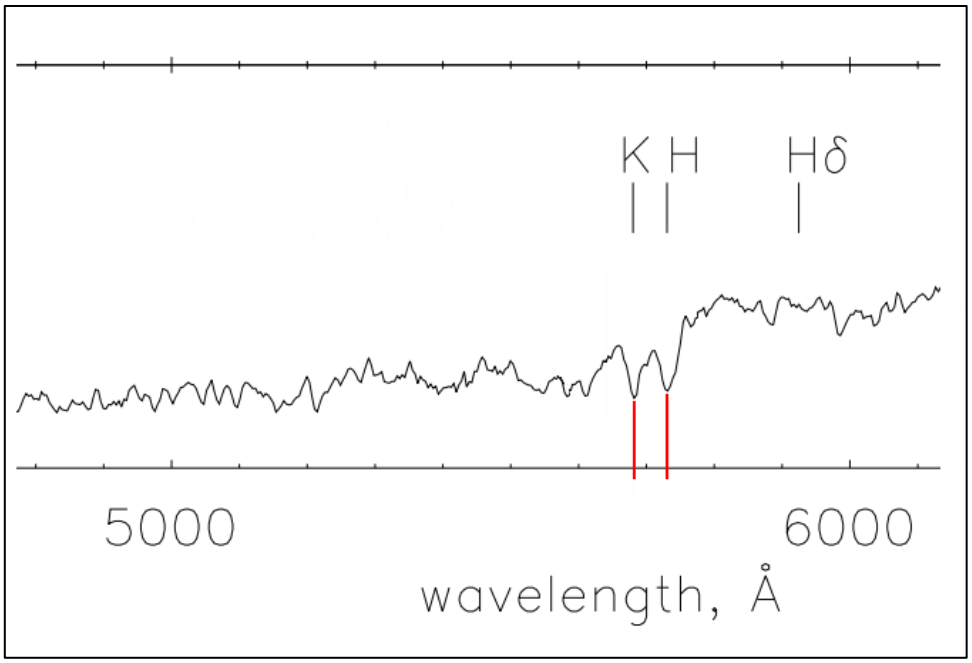
Beobachtete Wellenlänge (im Spektrum abgelesen): λ_1 = 4110 Å

Rotverschiebung: $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{4110 - 1215,24}{1215,24} = 2,382 \approx 2,38$

Der Skalenfaktor ergibt sich somit zu $a_S = \frac{1}{1+z_S} = \frac{1}{1+2,38} = 0,296 \approx 0,3$

Zum Zeitpunkt der Lichtaussendung der Quelle hatte das Weltall 30% seiner heutigen Ausdehnung erreicht.

- **Rotverschiebung der Linsen-Galaxie (Lens):**



H und K Kalzium Absorptionslinien:
Ruhewellenlängen (Vakuum):
K-Linie: λ_0 = 3934,78 Å
H-Linie: λ_0 = 3969,59 Å

Beobachtete Wellenlängen (im Spektrum abgelesen):
K-Linie: λ_0 = 5680 Å
H-Linie: λ_0 = 5730 Å

Rotverschiebungen:

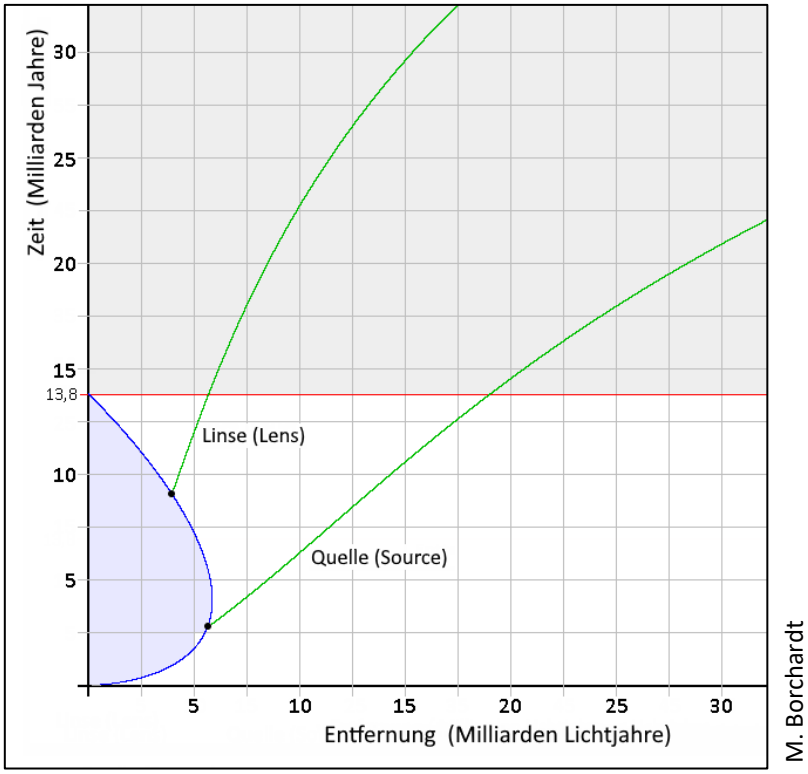
$$z_H = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{5680 - 3934,78}{3934,78} = 0,4435 \approx 0,44$$

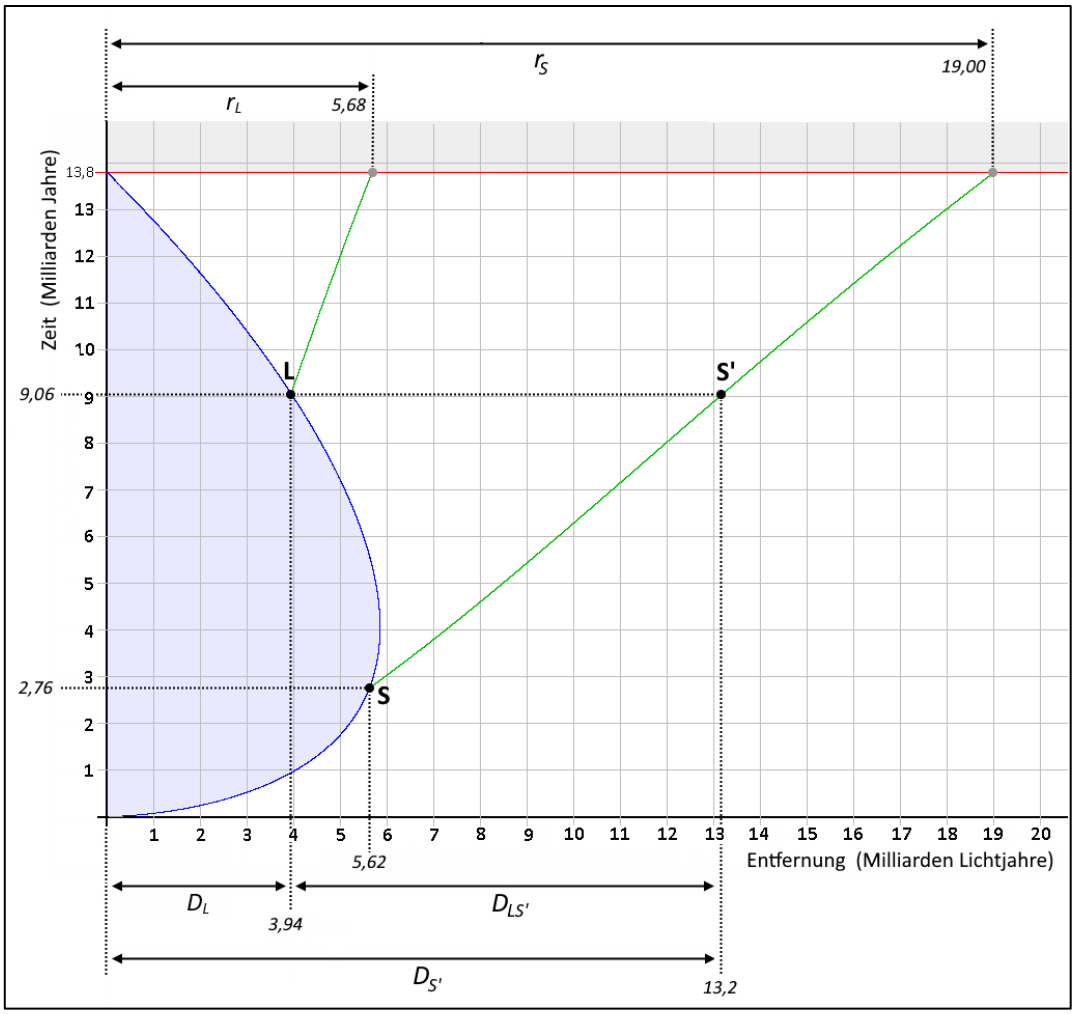
$$z_K = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{5730 - 3969,59}{3969,59} = 0,4434 \approx 0,44$$

Der Skalenfaktor ergibt sich hier zu $a_L = \frac{1}{1+z_L} = \frac{1}{1+0,44} = 0,694 \approx 0,7$

Zum Zeitpunkt der Lichtaussendung der Linse hatte das Weltall 70% seiner heutigen Ausdehnung erreicht.

Bewegung und Abstände im ΛCDM-Modell (H_0 = 68 km/sMpc , Ω_m=0,31, Ω_Λ = 0,69)





Masse der Linse (Punktmasse-Modell)**:**

Das Licht der Hintergrundgalaxie S erreicht die Linse L, wenn S sich an der Stelle S‘ befindet. Daher ergeben sich die Entfernungen, die für die Linsenformel relevant sind zu D_L = 3,94 GLJ und $D_{S'}$ = 13,2 GLJ. Diese Werte, die man im Diagramm ablesen kann, ergeben sich rechnerisch durch Multiplikation der Empfangsentfernungen mit dem Skalenfaktor

$$a = \frac{1}{1+z_L} = \frac{1}{1+0,44} = 0,6944$$

Die Abstände von Linse und Quelle ergeben sich aus den Empfangs-Entfernungen r_L und r_S und der Rotverschiebung z_L der Linse:

$$D_L = 0,6944 \cdot 5,68\,\text{GLJ} = 3,94\,\text{GLJ} \quad \text{und} \quad D_{S'} = 0,6944 \cdot 19\,\text{GLJ} = 13,2\,\text{GLJ}$$

Es gilt: $D_{LS'} = D_{S'} - D_L = 13,2\,\text{GLJ} - 3,94\,\text{GLJ} = 9,26\,\text{GLJ}$

Damit ergibt sich:

$$M_L = \frac{\theta_E^2 \cdot c^2}{4 \cdot G} \cdot \frac{D_L \cdot D_{S'}}{D_{S'} - D_L}$$

$$= \frac{\left(\frac{5,1 \cdot \pi}{3600 \cdot 180} \cdot 299792458\right)^2}{4 \cdot 6,674 \cdot 10^{-11}} \cdot \frac{13,2 \cdot 3,94 \cdot 9,46073 \cdot 10^{24}}{13,2 - 3,94}\,\text{kg} = 1,094 \cdot 10^{43}\,\text{kg} = 5,5 \cdot 10^{12}\,M_\odot$$

Demnach weist die elliptische Linsengalaxie innerhalb des Einsteinrings eine Masse von etwa 5500 Milliarden Sonnenmassen auf. Dies ist für eine Galaxie ein <u>außergewöhnlich hoher Wert</u>. Dazu passen auch neueste Erkenntnisse, dass nämlich ein <u>extrem massenreiches Schwarzes Loch</u> mit etwa 36 Milliarden Sonnenmassen (!) im Zentrum der Galaxie vorzuliegen scheint.

Die Literaturwerte für die Masse der Linsengalaxie innerhalb des Einsteinrings:

Belokurov, V. et al., 2007 ApJ...671L...9B → $M_L = 5,4 \cdot 10^{12}\,M_\odot$

Melo-Carneiro, Carlos R. et al., MNRAS 000, 1–17 (2025) → $M_L = 5,45 \cdot 10^{12}\,M_\odot$

Anmerkung:

Obwohl wir bei unserer Berechnung der Masse von dem Massenpunkt-Modell für Gravitationslinsen ausgegangen sind, die Linse also als Massenpunkt angesehen haben, entspricht das Ergebnis den Werten, die in wissenschaftlichen Publikationen genannt werden. Diese verwenden komplizierte Linsenmodelle, welche die räumliche Verteilung der Linsenmasse berücksichtigen. Dass die Ergebnisse dennoch so nah beieinander liegen, liegt vermutlich zum einen an dem supermassiven Schwarzen Loch im Zentrum der Linsengalaxie

und zum anderen an dem großen Abstand von Quelle und Linse. Aus Sicht der Quelle (Source) erscheint die Linsengalaxie wenig ausgedehnt und eher punktförmig.

Quellen:

V. Belokurov et al. „The Cosmic Horseshoe: Discovery of an Einstein Ring around a Giant Luminous Red Galaxy“ .The Astrophysical Journal 2007, Volume 671, Number 1

https://arxiv.org/pdf/0706.2326

---

https://mabo-physik.de

https://mabo-physik.de/expansion-des-weltalls

Herleitung der Linsenformel:

https://mabo-physik.de/gravitationslinsen

Table of Spectral Lines Used in SDSS
REFERENCE WAVELENGTHS, IN VACUUM, USED IN SPECTRO1D

λ_{vac} (Å)	WEIGHT		SPECIES
	Galaxy	Quasar	
Emission Lines			
1033.82	0.0	1.0	O VI
1215.24	0.0	9.0	Lyα
1240.81	0.0	3.0	N V
1305.53	0.0	0.0	O I
1335.31	0.0	0.0	C II
1397.61	0.0	0.0	Si IV
1399.8	0.0	1.0	Si IV + O IV
1549.48	0.0	8.0	C IV
1640.4	0.0	0.0	He II
1665.85	0.0	0.0	O III
1857.4	0.0	0.0	Al III
1908.734	0.0	7.0	C III
2326.0	0.0	0.5	C II
2439.5	0.0	0.0	Ne IV
2799.117	1.0	8.0	Mg II
3346.79	0.0	0.0	Ne V
3426.85	0.0	0.0	Ne VI
3727.092	5.0	1.0	O II
3729.875	0.0	0.0	O II
3889.0	0.0	0.0	He I
4072.3	0.0	0.0	S II
4102.89	0.5	2.0	HΔ
4341.68	1.0	3.0	Hγ
4364.436	0.0	0.0	O III
4862.68	2.0	4.0	Hβ
4932.603	0.0	0.0	O III
4960.295	2.0	2.0	O III
5008.240	3.0	2.0	O III
6302.046	0.0	0.0	O I
6365.536	0.0	0.0	O I
6529.03	0.0	0.0	N I
6549.86	3.0	0.0	N II
6564.61	8.0	8.0	Hα
6585.27	3.0	0.0	N II
6718.29	3.0	0.0	S II
6732.67	3.0	0.0	S II
Absorption Lines			
3934.777	-1.0	0.0	K
3969.588	-1.0	0.0	H
4305.61	-1.0	0.0	G
5176.7	-1.0	0.0	Mg
5895.6	-1.0	0.0	Na
8500.36	-1.0	0.0	CaII
8544.44	-1.0	0.0	CaII
8664.52	-1.0	0.0	CaII
Sky Lines			
5578.5	0.0	0.0	Sky
5894.6	0.0	0.0	Sky
6301.7	0.0	0.0	Sky
7246.0	0.0	0.0	Sky

https://classic.sdss.org/dr6/algorithms/linestable.php