

# Das Hubble-Gesetz

J. Lietz

Physikalisches Proseminar, 2013

# Übersicht

- 1 Der Weg zum Hubble-Gesetz
- 2 Das Hubble-Gesetz
- 3 Kosmologische Entfernungsbestimmungen

# Motivation

- Wie weit sind Galaxien und Sterne entfernt?
- Wie groß und wie alt ist das Universum?

# Der Weg zum Hubble-Gesetz

- bis Anfang 20. Jhdt. : statisches Universum, keine extragalaktischen Objekte
- Vesto Slipher beobachtet Blauverschiebung des Andromedanebel-Spektrums
- bis 1922: Untersuchung weiterer Objekte

# Der Weg zum Hubble-Gesetz

- Mehrheit der untersuchten Objekte weist rotverschobenes Spektrum auf
- Bestimmung der Radialgeschwindigkeiten anhand der Spektralverschiebungen
- Expansion des Universums

# Der Weg zum Hubble-Gesetz

## Einschub: Rotverschiebung

- Vergleich des beobachteten Spektrums mit bekanntem Spektrum
- *Rotverschiebung*  $\neq$  *Doppler – Effekt*
- Rotverschiebung nur auf großen Distanzen, da Gravitation Expansion beeinflusst

# Der Weg zum Hubble-Gesetz

## Einschub: Rotverschiebung

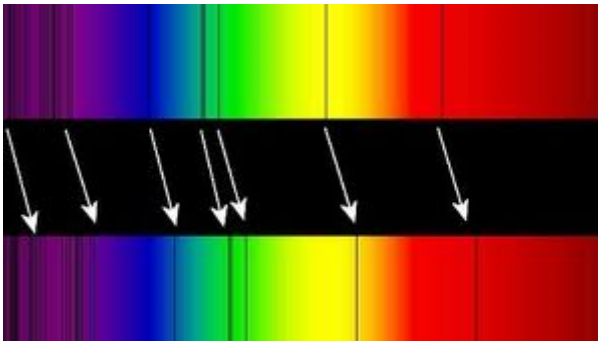


Abbildung : Rotverschiebung der Spektrallinien

# Das Hubble-Gesetz

- Hubble/Humason: Untersuchung der Spektren von sehr lichtschwachen Galaxien
- berechnete Radialgeschwindigkeiten deutlich größer als die naher Galaxien
- Auswertung (1929): linearer Zusammenhang zwischen Rotverschiebung und Entfernung;  
$$z = \textit{Konstante} \cdot r$$



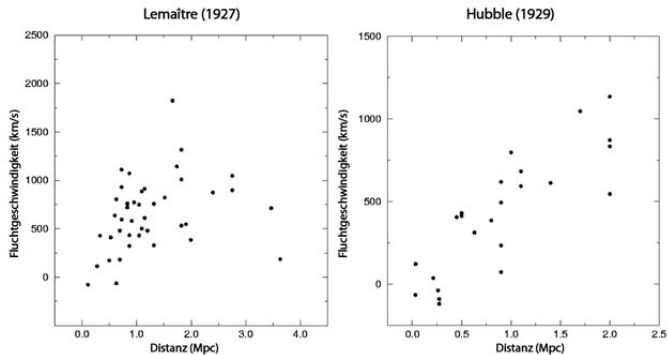


Abbildung : Original-Daten von Lemaître und Hubble

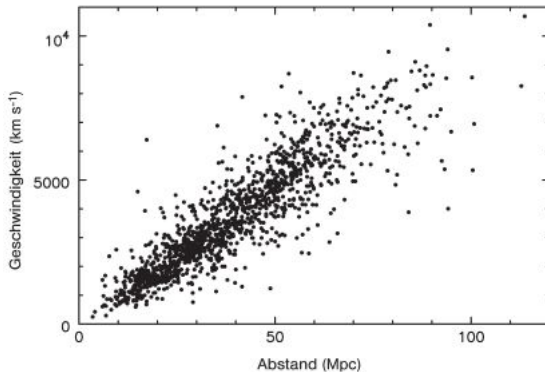


Abbildung : Fluchtgeschwindigkeiten und Entfernungen von 1355 Galaxien

# Das Hubble-Gesetz

- Hubble-Gesetz:  $c \cdot z = H_0 \cdot r$   
"Hubble-Konstante"  $H_0 = 74,3 \pm 2,1 \frac{km}{s \cdot Mpc}$
- Hubble-Konstante zeitabhängig
- Hubble-Konstante beschreibt Expansionsrate des Universums

# Das Hubble-Gesetz

## Abgeleitete Größen: Die Hubble-Zeit

- Hubble-Zeit: Zeit, die vergangen ist seit, Beobachter und beobachtetes Objekt am selben Ort waren  
$$H_T = \frac{r}{c \cdot z} = \frac{1}{H_0}; H_T = 13,14 \text{ Mrd. Jahre}$$
- keine homogene Massenverteilung, daher auch keine homogene Expansion des Universums
- Hubble-Zeit ist Schätzwert für Alter des Universums

# Das Hubble-Gesetz

## Abgeleitete Größen: Die Hubble-Länge

- Hubble-Länge: Strecke, die das Licht in der Hubble-Zeit zurücklegt

$$H_L = \frac{c}{H_0} = c \cdot H_T$$

- für  $H_0 = 74,3 \pm 2,1 \frac{km}{s \cdot Mpc}$ :  $H_L = 1,23 \cdot 10^{23} km$
- Radius des beobachtbaren Universums

# Kosmologische Entfernungsbestimmungen

## Standardkerzen

- Standardkerzen: leicht zu identifizierende Objekte, deren absolute Helligkeit  $M$  bekannt ist
- Berechnung der Entfernung mit Hilfe des Entfernungsmoduls

$$m - M = 5(\log_{10} D_L - 1)$$

# Kosmologische Entfernungsbestimmungen

## Cepheiden

- Sterne, die periodisch ihre Leuchtkraft ändern
- Grund für periodische Änderung: Kappa-Mechanismus
- Henrietta Swan Leavitt (1912):  
Perioden-Leuchtkraft-Beziehung
- Bestimmung des Abstandes zum Andromedanebel durch Hubble

# Kosmologische Entfernungsbestimmungen

## RR Lyrae-Sterne

- lichtschwächere Unterklasse der Cepheiden
- kürzere Periodendauer
- werden als Standardkerzen verwendet, da einige Galaxien der lokalen Gruppe keine Cepheiden enthalten



# Kosmologische Entfernungsbestimmungen

## Novae

- Objekte, deren Helligkeit sich in kurzer Zeit signifikant erhöht
- treten in Doppelsternsystemen auf
- seltener als Cepheiden, daher kein Ersatz für Cepheiden-Methode
- liefert Vergleichswerte

# Kosmologische Entfernungsbestimmungen

## Supernovae vom Typ 1a

- explodierender Stern (Weißer Zwerg)
- Explosion teilweise heller als Heimatgalaxie
- extrem gute Standardkerzen für intergalaktische Distanzen
- eher seltenes Phänomen

# Kosmologische Entfernungsbestimmungen

## Supernovae vom Typ 1a



Abbildung : Supernova



# Zusammenfassung

- Mehrheit der Galaxien weist rotverschobenes Spektrum auf
- Hubble-Gesetz: linearer Zusammenhang zwischen Rotverschiebung und Entfernung
- Entfernungsbestimmung mit Hilfe sogenannter Standardkerzen

# Quellen

- [http : // www . physik . uni –  
regensburg . de / forschung / wegscheider / gebhardt\\_files / skripten / KosmologischeEntfernungen . pdf](http://www.physik.uni-regensburg.de/forschung/wegscheider/gebhardt_files/skripten/KosmologischeEntfernungen.pdf)
- [http : // homepages . uni – regensburg . de / ~ lea22257 / astroteil0809 / Hubble – Gesetz . pdf](http://homepages.uni-regensburg.de/~lea22257/astroteil0809/Hubble-Gesetz.pdf)
- [http : // www . physik . uni –  
regensburg . de / forschung / wegscheider / gebhardt\\_files / skripten / Kosmologiell . 01 . pdf](http://www.physik.uni-regensburg.de/forschung/wegscheider/gebhardt_files/skripten/Kosmologiell.01.pdf)
- [http : // astro . uni – tuebingen . de / ~ nagel / Publikationen / lehrer\\_2008 . pdf](http://astro.uni-tuebingen.de/~nagel/Publikationen/lehrer_2008.pdf)

# Abbildungsverzeichnis

- [http : // www . redshift – live . com / binaries / asset / image / 18420 / image / Rotverschiebung\\_von\\_Spektrallinien\\_im\\_optischen\\_Spektrum . jpg](http://www.redshift-live.com/binaries/asset/image/18420/image/Rotverschiebung_von_Spektrallinien_im_optischen_Spektrum.jpg)
- [http : // www . oculum . de / newsletter / astro / 100 / 50 / 0 / 2 – 02\\_lemaitre – hubble . jpg](http://www.oculum.de/newsletter/astro/100/50/0/2-02_lemaitre-hubble.jpg)
- [http : // download . e – bookshelf . de / download / 0000 / 7535 / 16 / L – X – 0000753516 – 0001828936 . XHTML / images / ch02\\_image005 . jpg](http://download.e-bookshelf.de/download/0000/7535/16/L-X-0000753516-0001828936.XHTML/images/ch02_image005.jpg)
- [http : // astrobit . es . org / wp – content / uploads / 2013 / 03 / SNingal . jpg](http://astrobit.es.org/wp-content/uploads/2013/03/SNingal.jpg)