



## DIE HUBBLE-BEZIEHUNG

**Hintergrund:** Mit der Verbesserung der Teleskoptechnik am Anfang des 20. Jahrhunderts konnte die Cepheiden-Methode zu immer größeren Entfernungen ausgedehnt werden. Dies ermöglichte es, die Entfernung naher Galaxien zu bestimmen. Eine bahnbrechende Entdeckung, die zunächst auf viel Ungläubigkeit stieß, war die Erkenntnis, dass sich weit entfernte Galaxien umso schneller von uns wegbewegen, je weiter sie von uns entfernt sind. Sie sollen im Folgenden anhand von Messwerten genau diesen Zusammenhang herleiten.

VIREO, werden Sie benutzen, um mithilfe des Doppler-Effekts die Radialgeschwindigkeit von 13 Galaxien zu bestimmen, deren Entfernungen schon mithilfe der Cepheiden-Methode bestimmt, also als bekannt vorausgesetzt werden können. Ihre Ergebnisse können Sie in ein vorbereitetes Tabellendokument eintragen und dir ein Diagramm mit der Entfernung auf der Rechtsachse und der Radialgeschwindigkeit auf der Hochachse anzeigen lassen.

### Aufgabe 1: Messen

Starten Sie das „Hubble Redshift-Distance Relation“-Modul von VIREO. Nehmen Sie die Spektren der 13 Galaxien auf. Analysieren Sie sie hinterher mit Tools→Spectrum Measuring. Als Vergleichsspektrum eignen sich die Absorptionslinien normaler Galaxien. Verschieben Sie die roten Linien auf die passenden Absorptionslinien. Mit Rechtsklick auf die Linie erhalten Sie die verschobene und die Ruhe-Wellenlänge und können sie in Ihr Tabellendokument eintragen.

### Aufgabe 2: Auswerten

Berechnen Sie aus der Ruhe-Wellenlänge und der gemessenen Wellenlänge deren Differenz und mit der Beziehung für die Doppler-Verschiebung die Radialgeschwindigkeit. Tragen Sie in einem Diagramm die Radialgeschwindigkeit gegen die Entfernung auf. Sie sollten einen proportionalen Zusammenhang erhalten. Die Proportionalitätskonstante wird als Hubble-Parameter  $H_0$  bezeichnet. Bestimmen Sie sie mithilfe Ihrer Messwerte als Mittelwert der Quotienten  $v/r$ .

**Ergebnis:** Sie haben das berühmte Hubble-Diagramm erstellt, welches den Grundstein für die Erkenntnis darstellt, dass das Universum mit der Zeit größer wird. Zwischen der Radialgeschwindigkeit  $v$  und der Entfernung  $r$  besteht bei diesen Galaxien der Zusammenhang  $v = H_0 \cdot r$ .

**Info 1:** Sie können auch eine lineare Regression durchführen, werden dabei aber einen deutlich anderen Wert erhalten, da die Gerade nicht durch den Ursprung gehen wird.

**Info 2:** Selbst diese Methode ist nicht das, was professionelle Astronomen tun würden, da die einzelnen Punkte im Diagramm unterschiedlich große Messungenauigkeiten haben. Je größer die Entfernung ist, umso ungenauer ist diese Entfernung. Lassen Sie bei Ihrer Auswertung Galaxie mit der VIREO-Nummer 51976 weg und beobachten Sie, wie stark sich Ihr Ergebnis für  $H_0$  dadurch verändert.

**Info 3:** Würde die Expansion immer mit der gleichen Rate stattfinden, könnte man mithilfe des Hubble-Parameters das Alter des Universums bestimmen. Die Einheit Kilometer pro Sekunde pro Mpc ist gerade der Kehrwert einer Zeit. Das Universum bräuchte gerade die Zeit  $r/v$ , um bei uns angekommen zu sein, sprich: Dann wäre alles in einem Punkt vereint.