# Die Erfassung des Weltraumes

Autor(en): **Zwicky, F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **33 (1960)**

Heft [5]: **Supplementum 5. Beiträge zur Entwicklung der Physik**

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-513252

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

# Die Erfassung des Weltraumes

Von F. Zwicky, California Institute of Technology, Pasadena, Cal., USA

## 1. Grundsätzliches

Das Studium des Raumes und seines Inhaltes befasst sich mit den folgenden fundamentalen Fragen.

a) Welche Arten von Räumen gibt es?

b) Welcher Art ist der Raum, in welchem wir leben?

c) Welches sind der Inhalt des Weltraumes und etwaige denkbare Beziehungen zwischen den Eigenschaften des Rauminhaltes und denjenigen des Raumes selbst?

d) Wie färben sich die Beschränkungen der menschlichen Sinneswahrnehmungen und des menschlichen Auffassungsvermögens auf unsere Raumerfassung ab?

Das Durchdenken dieser Zusammenhänge und deren beobachtungsmässige Erforschung wird demgemäss Aufgabe aller Naturwissenschaften sowie der Psychologie und der Philosophie. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass die Erschliessung des Raumes und seines Inhaltes lange Jahrhunderte in Anspruch nahm, dies insbesondere deshalb, weil selten systematisch vorgegangen wurde und auch heute unsere Gesamtkenntnisse noch klein sind. Weiterhin war der Fortschritt oft durch die Macht starrer Ideologien gewaltig gehemmt, indem diese jahrhundertelang die Staaten, die Kirchen und die öffentliche Meinung beherrschten.

Globale Zusammenhänge der geschilderten Art können wohl am wirkungsvollsten mit Hilfe der morphologischen Denk- und Konstruktionsmethode erforscht werden, wie wir sie kurz im folgenden zu schildern versuchen.

Die erste der obigen Fragen, die sich um die denkbaren Räume interessiert, ist hauptsächlich von Mathematikern behandelt worden, obwohl letzten Endes auch die Physiker und Psychologen ein Wort mitzusprechen haben werden. Bis anhin sind aber die grossen Namen, an welche man im Zusammenhang mit der Axiomatik der möglichen Räume denkt,

diejenigen grosser Mathematiker wie EUKLID, LOBATSCHEFSKI, BOLYAI, RIEMANN, KLEIN, HILBERT, WEYL und anderer.

Die zweite und die vierte Frage hängen in gewissem Sinn zusammen. Wie ich andernorts dargelegt habe [1][1]), führten uns die besonderen Eigenschaften unserer Sinne sowie unser Abstraktionsvermögen zu der Idee des mathematischen Punktes, das heisst eines Gegenstandes, der im Gegensatz zu wirklichen Objekten die besondere Eigenschaft hat, dass zwei Punkte entweder koinzident sind oder nicht; die dritte Alternative der partiellen Koinzidenz ist ausgeschlossen. Aus diesen Zusammenhängen sowie auf Grund zusätzlicher Eigenschaften unserer Sinne habe ich gezeigt, dass für den Menschen der Raum, in dem wir leben, als Mannigfaltigkeit von mathematischen Punkten aufgefasst, notwendigerweise ein *dreidimensionaler* sein muss. Welche *Ausdehnung* dieser Raum hat, welche anderen Eigenschaften ihm zukommen und was er enthält, war das Problem der Astronomen über die Jahrtausende.

## 2. Die Ausdehnung des Weltraumes

Die Raumerfassung im Grossen erfolgte bis jetzt in drei Schritten, wobei ein vierter und vielleicht letzter Schritt noch zu tun ist.

Der erste Schritt bestand in der Erkenntnis, die Planeten und die Sonne seien Körper, die in einem Raum verteilt sind. Wer im fernen Altertum zuerst diesen Gedanken hatte, ist uns nicht bekannt. Dagegen wissen wir, dass ARISTARCH VON SAMOS (320–250 v. Chr.) mit diesem Gedanken als erster Ernst machte, indem er mit einer ausserordentlich genialen Methode versuchte, das Verhältnis der Entfernungen von der Erde zum Mond und zur Sonne zu bestimmen. Ihm folgte der ebenso geniale HIPPARCH, der aus Beobachtungen von Mondfinsternissen die Entfernung des Mondes von der Erde mit erstaunlicher Genauigkeit ermittelte.

Es kamen dann die dunklen Zeiten, die Unwissenheit und Diktatur der Kirche sowie auch der verheerende Einfluss der Lehren ARISTOTELES', so dass erst etwa um 1570 herum die Raumerfassung weitere Fortschritte machte. GIORDANO BRUNO (1546–1600) war wohl der erste, welcher der Idee entgegentrat, das Planetensystem wäre von einer fixen Himmelssphäre umschlossen, an welcher die Sterne gewissermassen als Verzierungen angebracht sind. Er postulierte, der Weltraum sei unbegrenzt und die Sterne als physikalische Körper darin verteilt, für welche ketzerischen Anschauungen er zum Feuertode verurteilt wurde. Der englische Mathematiker THOMAS DIGGES vertrat zur selben Zeit gleiche Anschauungen,

[1]). Die Ziffern in eckigen Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis, Seite 248.

ohne aber das Schicksal BRUNOS zu erleiden. Der Widerstand der Kirche und der Einfluss ARISTOTELES' wurden in der Folge rasch gebrochen, und die neue Astronomie erlebte in den nächsten drei Jahrhunderten ihren klassischen Aufschwung.

Der dritte und bis jetzt letzte Durchbruch in weitere Räume erfolgte etwa um 1918 und ist dem letztes Jahr verstorbenen grossen schwedischen Astronomen KNUT LUNDMARK zu verdanken. Aus einer grossen Anzahl sich widersprechender Beobachtungen, welche von den bekanntesten Astronomen seiner Zeit falsch gedeutet wurden, wählte LUNDMARK mit sicherem Instinkt diejenigen, welche zum prinzipiell richtigen Resultat führten. Er bewies, dass die Spiralnebel extragalaktische Sternsysteme sind, ähnlich unserem eigenen Milchstrassensystem, und er bestimmte die Entfernung eines der nächsten, nämlich des mit dem blossen Auge sichtbaren grossen Nebels im Sternbild der Andromeda als etwa 700000 Lichtjahre. Dieses Resultat und aus ihm indirekt abgeleitete Entfernungen anderer Galaxien und von Galaxienhaufen wurden dreissig Jahre lang als die korrekten betrachtet, bis dann LUNDMARK selbst, wieder als einer der ersten, darauf hinwies, dass nach Prüfung neuester Beobachtungsergebnisse die extragalaktische Entfernungsskala einer wesentlichen Abänderung bedürfe.

Nach der lange im Gebrauch stehenden Entfernungsskala, welche HUBBLE auf Grund der ursprünglichen Lundmarkschen Arbeiten weiterentwickelt hatte, sind die mit dem Hale-Teleskop bis anhin identifizierten entferntesten Galaxienhaufen etwa anderthalb Milliarden Lichtjahre entfernt. Dieser Wert kann aber bis auf einen Faktor zehn zu klein sein, während bei den «ganz nahen» Galaxien vielleicht ein Faktor drei als Fehler in Frage kommt [1].

Unter diesen Umständen ist es notwendig, die Methoden zur Bestimmung extragalaktischer Entfernungen einer neuen Analyse zu unterwerfen, um die Unsicherheiten, die den bisherigen mehr oder weniger gefühlsmässigen Verfahren anhaften, zu eliminieren. Auf Grund einer solchen Analyse können wir dann hoffen, nicht nur die uns schon jetzt bekannten Galaxien und Galaxienhaufen richtig in den Weltraum einzuordnen, sondern auch den vierten und vielleicht letzten Schritt zur Raumerfassung im Grossen zu tun. In der entgegengesetzten Richtung gehend, verbleiben uns natürlich noch die Probleme der Eigenschaften des Raumes in kleinsten Dimensionen. Sobald wir aus den uns geläufigen Maßstäben in der einen Richtung zu denjenigen der Atomkerne absteigen und in der anderen Richtung zu Entfernungen aufsteigen, welche gross sind gegenüber denjenigen von Galaxienhaufen, treten Probleme ganz neuen Charakters auf, indem die Erforschung der Eigenschaften des Raumes immer grössere Kenntnisse der in ihm vorhandenen Materie und der sich in ihm abspielenden Vorgänge verlangt.

### 3. Planung der nächsten Schritte in der Raumerfassung

Um eine Entfernung zu bestimmen, muss von einer Standardlänge ausgegangen werden. Mit Hilfe der Durchmesser der Erde und der Erdbahn gelingt die Ausmessung des interplanetarischen Raumes sowie der «geographischen Verteilung» der Sterne in der näheren Umgebung der Sonne. Weiter in den Weltraum kommt man durch die Bildung einer Länge aus dem Produkt einer beobachteten Geschwindigkeit $v$ und einer Zeit $t$, oder aber aus der Division von $v$ durch eine am selben Objekt beobachtete laterale Eigenbewegung oder Winkelgeschwindigkeit. Dies führt zur Bestimmung der Entfernungen naher Sternhaufen aus Eigenbewegungen und aus spektroskopisch ermittelten Radialgeschwindigkeiten. In gleicher Weise erfasst man die Entfernungen gewisser Novae, welche leicht sichtbare und sich rasch ausbreitende Gasmassen ausgeworfen haben, wie etwa Nova Persei 1901, Nova Herkules 1936, Nova Puppis 1942 oder die Supernova von 1054 n. Chr., die zur Bildung des Krebsnebels (mit der Bezeichnung Messier 1) Anlass gegeben hat.

Um weiterzukommen als einige Tausend Lichtjahre, mussten Helligkeits- und Variabilitätskriterien verschiedener Arten von Cepheiden, von Novae, von Supernovae und von absolut hellsten Sternen benutzt werden, deren Identifizierung und Eichung oft nur auf sehr zweifelhaften Wegen möglich war. Die Ausmessung der ganzen Milchstrasse sowie der riesigen extragalaktischen Räume geriet daher in grosse Schwierigkeiten, weil man nicht darauf bestanden hatte, auf eindeutigen Wegen die gesuchten Entfernungen aus bekannten Längenstandarden abzuleiten. Die nächste Zukunft wird sich also mit den folgenden beiden Grossaufgaben zu befassen haben, nämlich erstens mit der richtigen Vermessung des uns heute bekannten Teils des Weltalls und zweitens mit dem Vordringen in neue entferntere Räume, mit dem Ziel, den von Aristarch, Giordano Bruno und Knut Lundmark erzielten Durchbrüchen in neue Welten einen vierten hinzuzufügen. Indem ich hier ganz kurz ausführe, wie das etwa geschehen kann, hoffe ich, einige neue Zusammenhänge und Methoden aufzuweisen, die versprechen, von Wichtigkeit zu werden. Der Klarheit wegen seien diese Methoden schematisch aufgezählt.

a) Einen absoluten Längenstandard von der Grössenordnung eines Lichtjahres kann das Produkt der Lichtgeschwindigkeit $c$ mit einem bekannten Zeitintervall $t$ liefern. Es muss möglich sein [1], die Ausbreitung des Lichtes von Supernovaausbrüchen über die diese Sterne gelegentlich umgebenden Staubwolken wenigstens in den uns nächsten Galaxien zu beobachten, falls $t$ nach Jahren oder Jahrzehnten zählt. Die Beobachtung der Durchmesser der sukzessive erleuchteten Flächen würde eine absolute Entfernungsbestimmung der genannten Galaxien ermöglichen, die auch durch das Dazwischentreten nur teilweise durchsichtiger intergalaktischer Staubwolken nicht beeinflusst ist.

b) Es hat sich vor kurzem herausgestellt, dass das Newtonsche Gravitationsgesetz seine Gültigkeit in seiner jetzigen Form verliert, falls die aufeinanderwirkenden Sternsysteme um mehr als einige Millionen Lichtjahre voneinander getrennt sind. Diese wichtige neue Entdeckung, die aus der *Nichtexistenz von Haufen von Galaxienhaufen* [2] abgeleitet wurde, bedeutet vielleicht, dass in einer verbesserten Formulierung des Schweregesetzes eine charakteristische Länge $L$ auftritt, welche die Grössenordnung von Millionen von Lichtjahren hat. Weiter ist es wahrscheinlich, dass $L$ auch mit den Durchmessern (oder den sogenannten strukturellen Indizes) der grössten möglichen kompakten und kugelförmigen Haufen von Galaxien zusammenhängt. Falls sich diese Vermutung als richtig erweist, wird uns also durch Eichung von $L$ eine Standardlänge zur Verfügung stehen, auf Grund welcher, in Kombination mit Auszählungen der Verteilung von Galaxien in Galaxienhaufen, der für uns sichtbare Teil des Weltalls mit Sicherheit wird ausgemessen werden können [1].

c) Zur Eichung von $L$ steht uns die unter a) erwähnte Methode zur Verfügung, oder es können neue kombinatorische Methoden angewandt werden, unter denen ich selbst die folgende bearbeite: Man berechnet zuerst $M/D$ eines kugelförmigen extragalaktischen Sternsystems oder eines kugelförmigen Galaxienhaufens aus der spektroskopisch bestimmten Dispersion der Radialgeschwindigkeiten, wobei $M$ die Gesamtmasse des Systems und $D$ seine Entfernung sind. $M$ folgt bei einem kleinen Sternsystem aus der Zählung der Sterne. Das kleinste kürzlich entdeckte Sternsystem zählt nur 450 Sterne [2]. Aus den bekannten Werten von $M/D$ und $M$ folgt dann $D$, dessen Wert nachträglich aus den sich ergebenden Helligkeiten der Sterne des Systems einer unabhängigen Prüfung unterworfen werden kann.

d) Schliesslich weise ich noch auf interessante Möglichkeiten hin, welche uns die bekannte universelle Rotverschiebung $\Delta\lambda/\lambda$ der Spektrallinien von der Wellenlänge $\lambda$ in entfernten Galaxien bietet. Diese relative Rotverschiebung $\Delta\lambda/\lambda$ steht zweifellos im Zusammenhang mit der Entfernung $D$ der Lichtquelle, und je nach ihrer Deutung kommen wir auf verschiedene Wege der Entfernungsbestimmung. *Falls $\Delta\lambda$ als Doppler-Verschiebung zu deuten und das Weltall also in Ausdehnung begriffen ist,* eröffnet sich uns folgende Methode zur Bestimmung der Zeit $t$, die das Licht von der in Frage stehenden Galaxie bis zu uns gelaufen ist, und damit auch der Entfernung $D = c\,t$ dieser Galaxie. Falls also das Weltall sich ausdehnt, war die Geschwindigkeit $v$ der Galaxie zur Zeit der Emission des von uns beobachteten Lichtes, abgesehen von kleinen lokalen Bewegungen, durch den Wert einer gewissen, monoton wachsenden Funktion von $\Delta\lambda/\lambda$ gegeben, und die *Uhren* auf der Galaxie, das heisst die dort stattfindenden radioaktiven Zerfallsvorgänge, die Geschwindigkeiten aller Kernreaktionen, die Frequenzen von Novae und von Supernovae

usw. liefen, von uns aus gesehen, nach der speziellen Relativitätstheorie langsamer ab als bei uns. Wir beobachten also die entfernten Galaxien nicht nur in einem um das Zeitintervall $t = D/c$ jüngeren Stadium als die unsrige oder die uns naheliegenden Sternsysteme, sondern in einem noch *zusätzlich jüngeren* Stadium, weil die sehr entfernten Galaxien ihrer grossen Geschwindigkeit wegen *langsamer gealtert* haben als wir. Je mehr sich die Fluchtgeschwindigkeit einer Galaxie der Lichtgeschwindigkeit nähert, um so grösser wird, von uns aus gesehen, der Altersunterschied, der zuletzt, bei sehr grossen Werten von $\Delta\lambda/\lambda$, ganz ausserordentliche Ausmasse annimmt. Die quantitative Feststellung dieser Altersunterschiede würde uns also durch direkte Beobachtung der Frequenzen und der Lichtkurven von Supernovae und durch die Statistik von Spektraltypen Werte von $t$ und damit von den Entfernungen $D$ an die Hand geben. Wir hätten dann auch einen direkten Beweis für die Hypothese der Expansion des Weltalls.

Nun ist leider verdächtig, dass bis jetzt keiner der zu erwartenden beträchtlichen Altersunterschiede beobachtet worden ist. Zu den bereits vorhandenen Schwierigkeiten [1] der Interpretation der universellen spektralen Rotverschiebung als Expansion des Weltalls gesellt sich mit dem obengenannten Test also noch eine weitere.

Falls das Universum anderseits nicht expandiert, fällt das *relativistisch schnellere Altern unserer nächsten Umgebung* relativ zu den sehr entfernten Galaxien weg. Es muss aber immer noch eine charakteristische grosse Länge $L$ geben, welche in eine theoretisch noch zu begründende Beziehung $\Delta\lambda/\lambda = F(D/L)$ zwischen $\Delta\lambda/\lambda$ und der Entfernung $D$ eingeht. Es ist noch zu bemerken, dass in einem nichtexpandierenden stationären Weltall die Methoden a), b) und c) mit grösserer Sicherheit zu handhaben sind als in einem expandierenden.

e) Im expandierenden wie auch im stationären Universum kann noch eine zusätzliche grosse Länge $L'$ erwartet werden, welche mit einer möglichen Krümmung des Raumes zusammenhängt, die aber eventuell auch mit der unter d) genannten Länge $L$ identisch sein könnte. Dieser Länge $L'$ wird wahrscheinlich am leichtesten beizukommen sein, wenn man versucht, wesentlich weiter in den Weltraum vorzustossen, indem man nach Galaxienhaufen sucht, die eine *symbolische* scheinbare Fluchtgeschwindigkeit $c \cdot \Delta\lambda/\lambda$ besitzen, welche die Lichtgeschwindigkeit wesentlich übersteigt. Eine mögliche Methode [3] besteht darin, mit dem Hale-Teleskop nach Galaxienhaufen zu forschen, die im blauen Spektralgebiet eine grössere scheinbare Gesamthelligkeit besitzen als im roten. Dies würde bedeuten, dass für diese Haufen die symbolische scheinbare Fluchtgeschwindigkeit $c \cdot \Delta\lambda/\lambda$ etwa von der Grössenordnung 600000 bis 900000 km/s ist, wodurch eine Rotverschiebung des ultravioletten Bereiches um die Lyman-Alpha-Linie ins Sichtbare erfolgt.

Der Schreibende arbeitet gegenwärtig an der Palomar-Sternwarte in den hier skizzierten Richtungen und hofft, dass mit den erwähnten und mit noch zusätzlich zu entwickelnden neuen Methoden die Raumerfassung im Grossen wie im ganz Kleinen in der nächsten Zukunft weitere Fortschritte machen wird.

## LITERATURVERZEICHNIS

[1] F. ZWICKY, *Morphological Astronomy* (Springer Verlag 1957).
[2] F. ZWICKY, Yearb. Carneg. Instn. *1957/58, 1958/59*; Publ. astron. Soc. Pacific *69*, 518–529 (1957).
[3] F. ZWICKY, L'Astronomie *72* (juillet-août 1958).