Les vitesses superluminiques = Überlichtgeschwindigkeiten

Autor(en): **Cramer, Noël**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **46 (1988)**

Heft 229

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899116

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

Les vitesses superluminiques

Überlichtgeschwindigkeiten

NOËL CRAMER

Par vitesse «superluminique» nous entendons l'observation dans le cosmos de déplacements qui paraissent se dérouler avec des vitesses supérieures à celle de la lumière. Nous avons vu dans Orion 226 comment une impulsion lumineuse sphérique issue de l'explosion d'une supernova pouvait interagir avec des nuages de matière interstellaire en produisant des échos lumineux d'apparence superluminiques.

Dans ce qui suit, nous allons examiner un cas analogue où la sphère qui se dilate est composée non de lumière, mais de particules de matière (électrons, protons, ou autres particules élémentaires) qui rayonnent de la lumière. Ici aussi nous verrons que des vitesses superluminiques doivent être observées dans certaines conditions.

La compréhension du phénomène est légèrement plus difficile que dans le cas des échos lumineux, mais les mathématiques nécessaires restent élémentaires.

Nous allons supposer ici qu'à un moment donné se produit une explosion dans un objet cosmique (galaxie, quasar, etc..) qui éjecte une coquille sphérique de matière émettant de la lumière. Pour simplifier nous supposerons que l'observateur, situé très loin, ne se déplace pas relativement à la source de l'explosion. Nous suivons maintenant le déplacement d'un petit élément de la coquille sphérique en expansion, tel que le perçoit l'observateur.

L'élément, que nous appellerons «E», se déplace avec une vitesse v le long d'une trajectoire qui fait un angle α avec la ligne de visée de l'observateur (voir figure 1). En un point A sa lumière porte le message «E est en A» vers l'observateur avec la vitesse de la lumière c. Ayant parcouru la distance supplémentaire R, pour atteindre le point B, sa lumière porte le message «E est en B», également avec la vitesse c, vers l'observateur. Ce qui nous intéresse maintenant est de savoir combien de temps s'est écoulé, du point de vue de l'observateur, entre ces deux messages.

Le temps t_1 mis pour passer de A en B est évident (voir formules (1) dans l'encadré). Pendant la durée t_1, l'élément E s'est approché de la distance R cos α de l'observateur; le message «E est en A», par contre, a franchi cette même distance avec la vitesse c, donc en un temps t_2. La différence de temps entre ces deux messages est alors $\Delta t = t_1 - t_2$, qui s'exprime selon (2).

L'observateur voit un déplacement valant R sin α, c-à-d la distance apparente AB, en un temps Δt. La vitesse apparente, V_{app}, s'exprime donc selon (3). Il est commode d'exprimer les vitesses par rapport à celle de la lumière (4). La vitesse apparente relative, β_{app}, s'écrit alors comme en (5). Cette expression donne la vitesse d'un élément quelconque de la coquille. Nous désirons finalement savoir comment l'observateur perçoit la sphère en expansion.

Le pourtour apparent de la coquille sera formé par les éléments qui se déplacent avec les plus grandes vitesses apparentes. Il faut rechercher l'angle α qui rend maximal β_{app}. Ceci se fait en dérivant β_{app} par rapport à α (5) et en cherchant les valeurs de α qui annulent cette dérivée (ligne suivante). En ter-

Unter «Überlichtgeschwindigkeiten» versteht man Bewegungen, die sich scheinbar schneller als mit Lichtgeschwindigkeit im Weltall fortbewegen. Wir haben bereits im Orion N° 226 festgehalten, wie die Explosion einer Supernova einen kugelförmigen Lichtimpuls ausstrahlt, und wie diese Kugelschale in Wolken interstellarer Materie Erscheinungen erzeugt, welche sich mit Überlichtgeschwindigkeiten ausbreiten.

Nachstehend werden wir hier nochmals eine sich ausdehnende Kugelschale untersuchen, die jedoch nicht aus Licht besteht, sondern aus Materie-Teilchen (Elektronen, Protonen oder andere Elementarteilchen) welche Licht ausstrahlen. Auch hier werden wir sehen, dass Überlichtgeschwindigkeiten unter gewissen Bedingungen beobachtet werden müssen.

Die Erscheinung ist in diesem Fall etwas schwieriger zu begreifen; die erfoderliche mathematische Überlegung bleibt jedoch einfach.

Wir werden hier annehmen, dass sich zu einem gegebenen Zeitpunkt eine Explosion in einem kosmischen Objekt (Galaxie, Quasar, usw.) ereignet, bei welcher eine aus Materie bestehende, leuchtende, kugelförmige Schale herausgeschleudert wird. Zur Vereinfachung nehmen wir an, dass der weit entfernte Beobachter sich im Verhältnis zur Quelle nicht bewegt. Wir folgen jetzt, vom Standpunkt des Beobachters aus gesehen, der Bewegung eines kleinen Volumenelementes der expandierenden Schale.

Das «E» genannte Element folgt mit der Geschwidigkeit v einer geraden Bahn die den Winkel α mit der Sichtlinie bildet (Abb. 1). Sein Licht trägt in einem Punkt A dem Beobachter die Meldung «E ist in A» mit der Geschwindigkeit c zu. Nach durchlauf der weiteren Strecke R, mit dem Ziel, den Punkt B zu erreichen, lautet die Meldung gleichfalls «E ist in B». Was uns jetzt interessiert ist wie der Beobachter diesen Zeitintervall zwischen den beiden Meldungen gemessen hat.

Die Zeit t_1 welche E braucht, von A bis B zu gelangen ist offensichtlich (siehe eingerahmte Formeln (1)). Während der Zeit t_1 ist E dem Beobachter um den Wert R cos α näher gekommen; hingegen die Meldung «E ist in A» hat dieselbe Distanz mit der Geschwindigkeit c in der Zeit t_2 durchlaufen. Der Beobachter misst also eine Zeitspanne $\Delta t = t_1 - t_2$ zwischen diesen beiden Meldungen (2).

Der Beobachter sieht die scheinbare Bewegung AB = R sin α innerhalb einer Zeitspanne Δt. Die scheinbare Geschwindigkeit v_{app} ist also (3). Sie kann einfachheitshalber im Verhältnis zur Lichtgeschwindigkeit ausgedrückt werden (4). Die scheinbare relative Geschwindigkeit β_{app} irgendeines Volumenelementes der Schale ist dann wie in (5) ausgedrückt. Schliesslich möchten wir wissen, in welcher Weise der Beobachter diese sich ausdehnende Kugelschale sieht.

Der sichtbare Rand der Schale besteht aus den Elementen, welche sich mit der schnellsten scheinbaren Geschwindigkeit fortbewegen. Wir müssen also den Winkel α finden, durch welchen β_{app} maximal wird. Dies tritt ein, wenn die Ableitung von β_{app} null wird ((5), und folgende Linie). In anderen Worten,

mes plus concrets: comme pour un véhicule qui franchit un col il existe un endroit où il se déplace sans monter ni déscendre, nous cherchons les valeurs de α pour lesquelles β_{app} ne varie plus en fonction de α. On voit que cette condition est satisfaite si $\beta = \cos\alpha$ On peut remplacer cette expression dans (5) et on obtient la vitesse apparente d'expansion de la sphère lumineuse (6). Pour simplifier l'écriture, nos avons appelé γ la fraction dans cette expression.

On constate que γ est toujours positif, ne vaut 1 que pour $v = 0$, et tend vers l'infini pour v approchant c. Une sphère lumineuse qui se dilate la fait donc avec une vitesse apparente qui est *toujours* supérieure à sa vitesse d'expansion réelle. Le facteur γ est le facteur de Lorentz de la théorie de la relativité restreinte! En fait, nous avons tacitement tenu compte dans le raisonnement plus haut d'une des conditions fondamentales des transformations de Lorentz: l'invariance de la vitesse de la lumière; la lumière issue de l'élément E nous parvient avec la vitesse c quelle que soit la vitesse de E.

Si la coquille se dilate avec une vitesse $v << c$ son apparence sera sphérique. Si v est proche de c, le effets relativistes deviennent sensibles et on peut montrer que son apparence à un instant donné est celle d'un ellipsoïde de révolution (figure 2) orienté vers l'observateur, d'excentricité β et avec le rapport

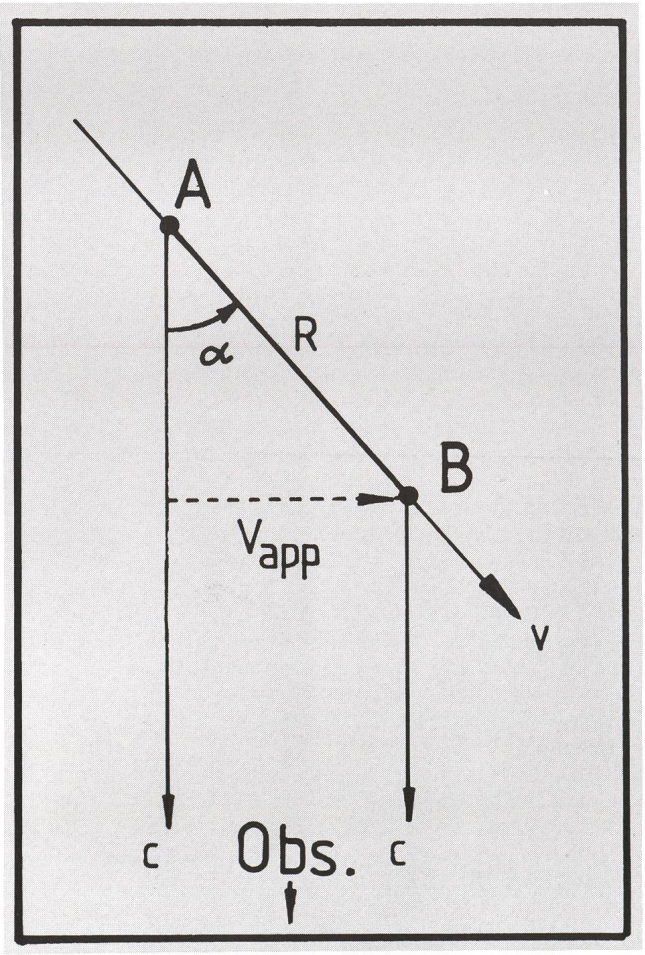

Fig. 1:
Un élément de la coquille en expansion se déplace avec la vitesse v en faisant l'angle α avec la linge de visée. L'observateur le voit passer de A en B avec la vitesse v_{app}. La lumière émise tout le long de la trajectoire se dirige vers l'observateur avec la vitesse c.

wie ein Fahrzeug, welches auf einer Passhöhe angelangt in einem gewissen Moment weder hinauf- noch hinunterfährt, suchen wir die Werte von α, für welche β_{app} sich im Bezug auf α nicht mehr verändert. Die Bedingung ist erfüllt wenn $\beta = \cos\alpha$. Wir bekommen auf diese Weise (6), die Geschwindigkeit, mit welcher die leuchtende Kugel sich scheinbar ausdehnt. Zur Vereinfachung haben wir hier den Bruch γ genannt.

Wir stellen fest, dass γ stets positiv ist, den Wert 1 nur dann hat, wenn $v = 0$ ist und ins Unendliche strebt, wenn v sich c nähert. Die *scheinbare* Ausdehnungsgeschwindigkeit einer leuchtenden Sphäre ist also *ständig* grösser als deren wirkliche Geschwindigkeit. Der Faktor γ ist übrigens der Lorentzfaktor der beschränkten Relativitätstheorie! Wir haben nämlich in der obigen Überlegung stillschweigend eine der grundlegenden Bedingungen der Lorentztransformationen angenommen: die Unveränderlichkeit der Lichtgeschwindigkeit. Das vom Element E ausgestrahlte Licht erreicht uns stets mit der Geschwindigkeit c, unabhängig von der Geschwindigkeit von E.

Wenn die Schale sich mit $v << c$ ausdehnt, wird deren Erscheinung offenbar sphärisch sein. Wenn aber v die Grössenordnung c erreicht, dann werden relativistiche Effekte merkbar

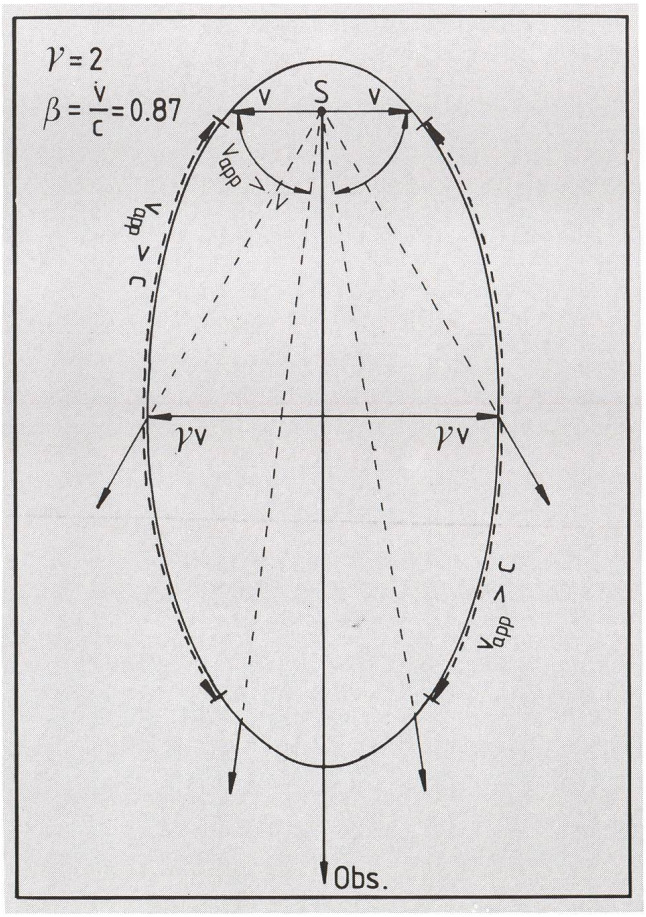

Fig. 2:
Pour des vitesses proches de celle de la lumière, la sphère en expansion n'est plus perçue comme telle par l'observateur. La coquille a l'apparence d'un ellipsoïde de révolution orienté vers lui, ayant la source S en un foyer, un rapport entre les axes de γ et une excentricité β. Dans le cas présent nous avons $v = 87\%$ de la vitesse de la lumière, soit $\gamma = 2$. L'observateur voit la sphère se dilater avec $v_{app} = 2c$. Les angles pour lesquels $v_{app} > v$ et les secteurs superluminiques ($v_{app} > c$) sont indiqués sur la figure.

axial γ. La figure montre le cas pour v = 87% de la vitesse de la lumière , correspondant à $\gamma = 2$. La vitesse apparente de l'expansion, $V_{app\text{-}max}$, n'est pas la vitesse des élements qui se déplacent perpendiculairement à la ligne de visée comme le suggère notre expérience courante. On y voit également les secteurs angulaires où $v_{app} > v$ et où $v_{app} > c$. C'est dans ce dernier secteur que nous rencontrons les vitesses superluminiqus. On peut vérifier à l'aide des relations données dans l'encadré que ces vitesses sont possibles dès que $\gamma > \sqrt{2}$.

und man kann aufzeigen, dass sie zu einer gegebenen Zeit wie ein Rotationsellipsoid aussieht (Abb. 2), mit grosser Achse auf der Sichtlinie des Beobachters, Exzentrizität β und einem Achsenverhältnis von γ. Die Figur zeigt den Fall, wo v = 87% der Lichtgeschwindigkeit beträgt, was $\gamma = 2$ entpricht. Die scheinbare Ausdehnungsgeschwindigkeit $V_{app\text{-}max}$ ist nicht diejenige der transversal zur Sichtlinie laufenden Elemente, wie wir es auf Grund unserer alltäglichen Erfahrung voraussetzen würden. Wir sehen auch hier die Winkel-Sektoren, wo $V_{app} > V$

$$t_1 = \frac{R}{v} \qquad t_2 = \frac{R \cos \alpha}{c} \tag{1}$$

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{R}{v} - \frac{R \cos \alpha}{c} = t_1 \left(1 - \frac{v}{c} \cos \alpha \right) \tag{2}$$

$$v_{app} = \frac{R \sin \alpha}{\Delta t} = \frac{v \sin \alpha}{1 - \frac{v}{c} \cos \alpha} \tag{3}$$

$$\beta = \frac{v}{c} \qquad \beta_{app} = \frac{v_{app}}{c} \tag{4}$$

$$\beta_{app} = \frac{\beta \sin \alpha}{1 - \beta \cos \alpha} \Rightarrow \frac{d\beta_{app}}{d\alpha} = \frac{\beta \cos \alpha - \beta^2}{(1 - \beta \cos \alpha)^2} \tag{5}$$

$$\frac{d\beta_{app}}{d\alpha} = 0 \Rightarrow \begin{cases} \beta = 0 \Rightarrow v = 0 & (v_{app} = \min) \\ \beta = \cos \alpha \Rightarrow \sin \alpha = \sqrt{1 - \beta^2} & (v_{app} = \max) \end{cases}$$

$$\beta_{app\ max} = \beta \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \beta \gamma \Rightarrow v_{app\ max} = \gamma v \tag{6}$$

De telles «explosions relativistes» avaient été prédites en 1966 par Martin J. Rees (Nature, 211, 468, 1966) quelques années avant que les radioastronomes n'observent pour la première fois des vitesses superluminiques (1968 - 1970) à l'aide de la technique VLBI (Very Long Baseline Interferometry). Son but était alors d'expliquer les rapides variations lumineuses observées pour certains quasars (dont 3C273).

Le modèle géométrique simplifié présenté ici sert à illustrer le phénomène; il ne tient pas compte de l'expansion de l'univers (la source a été supposée être au repos par rapport à l'observateur) et considère une coquille sphèrique mince qui se dilate à une vitesse constante. Nous n'avons pas parlé de la très forte variation de l'intensité lumineuse apparente en fonction de l'angle α, ni de l'effet Doppler. Les observations récentes montrent une prépondérance de «jets» relativistes issus de quasars ou de noyaux de galaxies. Les interprétations des multiples phénomènes obervés sont encore activement débattues; mais l'explication des vitesses apparentes se fait essentiellement comme ci-dessus. Actuellement, une cinquantaine de sources superluminiques sont connues. Certaines d'entre elles se déplacent avec des vitesses apparentes proches de dix fois celle de la lumière.

NOËL CRAMER, Observatoire de Genève, CH-1290 Sauverny

und wo $V_{app} > c$ sind. In diesem letzten Sektor begegnen wir den Überlichtgeschwindigkeiten. Mit Hilfe von den im eingerahmten Feld dargestellten Formeln können wir nachprüfen, dass solche Geschwindigkeiten möglich sind, sobald $\gamma > \sqrt{2}$ wird.

Solche «Relativistische Explosionen» sind schon im Jahre 1966 von Martin J. Rees (Nature, 221, 468, 1966) vorausgesagt worden. Er wollte damals die verwirrend raschen Lichtänderungen von gewissen Quasars (z.B. 3C273) auf diese Weise erklären. Einige Jahre später (1968 - 1970) wurden erstmals Überlichtgeschwindigkeiten von den Radioastronomen mit Hilfe der VLBI-methode (Very Long Baseline Interferometry) beobachtet.

Das hier unterbreitete, vereinfachte geometrische Modell dient zur Veranschaulichung des Phänomens, wobei dem Hubbleschen Gesetz nicht Rechnung getragen wurde (wir haben angenommen, dass der Beobachter sich im Bezug auf die Quelle S im Ruhestand befindet). Die dünne Schale dehnt sich auch mit konstanter Geschwindigkeit aus. Ferner haben wir weder den Dopplereffekt, noch die sehr starke Winkelabhängigkeit der scheinbaren Helligkeit erwähnt. Aktuelle Beobachtungen zeigen eine Vorherrschaft von relativistischen «jets», die aus Quasars oder Galaxien-Kernen stammen. Die Erklärungen der zahlreichen Erscheinungen werden immer noch heftig diskutiert; diejenigen der scheinbaren Überlichtgeschwindigkeiten werden hingegen weitgehend wie oben behandelt. Zur Zeit sind etwa fünfzig solche Quellen bekannt, wovon einige scheinbar Geschwindigkeiten von fast zehnfacher Lichtgeschwindigkeit aufweisen.

NOËL CRAMER, Observatoire de Genève, CH-1290 Sauverny
(Ubersetzung: IRÈNE SCHEFFRE)

Das Ultraviolett- Teleskop GLASAR in der Erdumlaufbahn

RENE LORENZI

Seit mehr als einem Jahr funktioniert das Ultraviolett-Teleskop GLASAR an Bord des Orbitalkomplexes MIR. Das Gerät, das in der Instrumentensektion des Astrophysik-Moduls QUANT untergebracht ist, wird für systematische Himmelsaufnahmen im UV-Bereich eingesetzt und dient insbesondere auch dem Aufspüren von bisher unbekannten Galaxien und Quasaren, die einen bedeutenden Teil ihrer Energie im UV-Bereich abstrahlen.

Bevor man das UV-Teleskop GLASAR und die ebenfalls auf QUANT installierten Röntgen-Teleskope in Betrieb nahm, musste die MIR-Station mit einer dritten Solarzellenfläche versehen werden. Diese zusätzliche Energiequelle gestattete es, das elektrisch betriebene System der Drehmomentenkreisel zu starten, um damit eine langdauernde Richtungsstabilisierung der Raumstation auf wirtschaftliche Art und Weise sowie mit genügend hoher Präzision zu realisieren. Würde man die Ausrichtung der Station mit Lageregelungs-Triebwerken durchführen, so wäre die Genauigkeit unzureichend und man hätte beträchtlichte Störungen der Ultraviolett- und Röntgen-Beobachtungen durch die Abgase in Kauf zu nehmen, vom übermässigen Treibstoffverbrauch und den damit verbundenen Nachschubproblemen ganz zu schweigen.