

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** 46 (1988)  
**Heft:** 226

**Artikel:** L'écho lumineux de la Supernova 1987a  
**Autor:** Cramer, N.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-899094>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# L'écho lumineux de la Supernova 1987a

N. CRAMER

La photo parue dans Orion No 225 de l'écho lumineux provoqué par l'explosion de la Supernova dans le grand nuage de Magellan a certainement dû heurter le bon sens de nombreux lecteurs. En effet, si l'on effectue le calcul élémentaire qui consiste à estimer l'angle sous lequel on verrait un an plus tard une sphère qui se dilate à la vitesse de la lumière, à une distance de 170 000 années-lumière (la distance du grand nuage de Magellan), on trouve que son rayon apparent ne doit pas dépasser 1.2 secondes d'arc. Or, les deux anneaux lumineux provoqués par l'arrivée de l'impulsion lumineuse initiale (très intense mais de faible durée pour les courtes longueurs d'onde) dans des nuages de matière interstellaire ont des rayons apparents qui excèdent 30'' et 50'' à peine un an après l'observation de l'explosion! On a l'impression de voir un phénomène qui se propage à une vitesse supérieure à celle de la lumière, en violant ainsi les lois de la physique. En fait, comme nous allons le voir plus bas, il s'agit bien de déplacements à des vitesses supérieures à  $c$ , mais qui n'impliquent pas un déplacement de photons à ces vitesses. Il s'agit plutôt de la propagation de la «géométrie» de l'onde lumineuse sphérique émise par la Supernova dans le nuage.

Nous pouvons illustrer le phénomène en considérant le cas le plus simple: un écran mince de matière interstellaire situé perpendiculairement à la ligne de visée et se trouvant à la distance  $D$  devant la Supernova (fig.1). L'onde initiale émise par

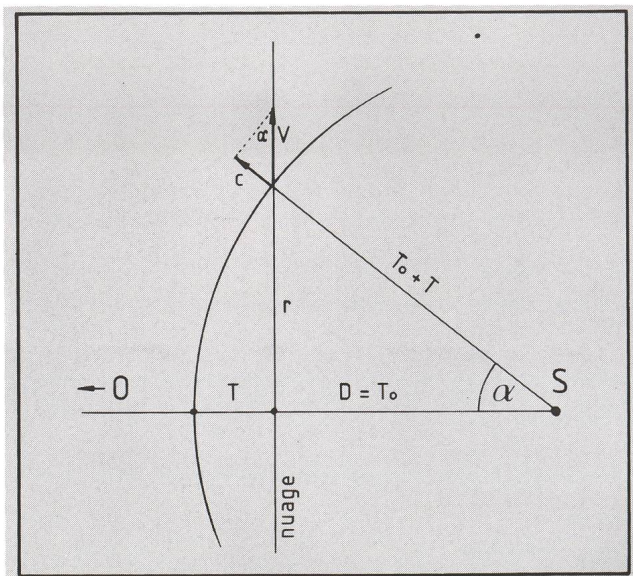


Fig.1: L'onde sphérique atteint le nuage après le temps  $T_0$ . Son intersection avec le nuage se propage ensuite avec la vitesse  $V = c/\sin \alpha$  (voir texte).

la Supernova atteint le nuage après un temps  $T_0 = D/c$  où  $c$  est la vitesse de la lumière (nous parlerons dans ce qui suit en termes d'années-lumière; cette distance est donc  $T_0$  années-lumière). Ayant atteint le nuage, l'onde sphérique progresse en y

éclairant une zone annulaire de rayon croissant. Une petite partie de cette lumière suit l'onde sphérique; le reste est diffusé dans toutes les directions, dont celle de l'observateur.

Si on considère maintenant l'onde au temps  $T_0 + T$  (fig.1) on voit qu'à chaque instant nous avons:

$$V = \frac{c}{\sin \alpha} \tag{1}$$

où  $V$  est la vitesse de propagation de la tache lumineuse dans le nuage. Cette vitesse instantanée est infinie au moment où l'onde rencontre l'écran et décroît asymptotiquement vers la valeur  $c$ ; elle est donc toujours supérieure à celle de la lumière. Il n'y a pas violation de la physique car cette propagation apparente n'est pas associée à un déplacement de matière ou de photons dans la direction en question.

On peut maintenant exprimer  $\sin \alpha$  en fonction du temps.

On a  $\cos \alpha = T_0/(T_0 + T)$  et avec la relation  $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ , on obtient finalement pour (1):

$$V = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{T_0}{T_0 + T}\right)^2}} \tag{2}$$

et pour le rayon de l'anneau lumineux,  $r = (T_0 + T) \sin \alpha$ , on obtient également:

$$r = \sqrt{T(2T_0 + T)} \tag{3}$$

exprimé en années-lumière (on peut vérifier qu'en dérivant cette expression par rapport au temps on obtient bien (2), à la constante  $c$  près à cause du changement d'unités).

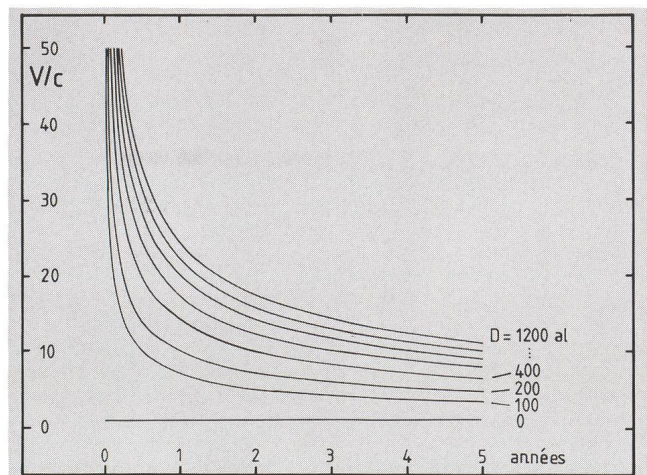


Fig.2: La vitesse de propagation de l'écho dans le nuage en multiples de la vitesse de la lumière et en fonction du temps pour diverses valeurs de  $D$ , la distance entre le nuage et la Supernova (tous les 200 al à partir de  $D = 200$  al).

**Zusammenfassung:****Das Lichtecho der Supernova 1987a**

Die Aufnahme dieses Lichtechos, die in Orion 225 erschien, hat bestimmt einige Leser in Verlegenheit gebracht. Wenn man den Radius einer sich mit Lichtgeschwindigkeit ausdehnende Hülle bei der Entfernung von 170 000 Lichtjahren ausrechnet, findet man kaum 1.2 Bogensekunden nach einem Jahr. Die beobachteten Lichtbogen haben aber scheinbare Radien von mehr als 30" und 50". Man hat das Gefühl, dass die Gesetze der Physik verletzt werden, weil die Geschwindigkeit  $c$  überschritten wird. Wir zeigen, dass dies tatsächlich der Fall ist, dass aber der Physik nicht widersprochen wird, da keine einzigen Photonen diese Geschwindigkeiten haben müssen.

Das einfachste Beispiel besteht aus einer dünnen, ebenen interstellaren Wolke, die senkrecht zur Sichtlinie steht und sich  $T_0$  Lichtjahre vor der Supernova befindet. Die sich ausdehnende kugelförmige Schale, die den Lichtimpuls darstellt, schneidet diese Ebene (Abb.1) nach der Zeit  $T_0$ . Die Schnittlinie, die zu leuchten anfängt, dehnt sich dann mit der Geschwindigkeit  $V$  aus, entsprechend (1), oder (2) in Zeiteinheiten ausgedrückt. Diese momentane Geschwindigkeit ist unendlich gross bei  $T_0$  und nähert sich asymptotisch  $c$ ; sie ist also immer höher als die Lichtgeschwindigkeit. Dies geschieht im Rahmen der Physik, weil keine Materie oder Photonen sich mit  $V$  bewegen. Es handelt sich eher um eine Fortpflanzung der «Geometrie» des Lichtimpulses.

Ähnlicherweise bekommt man den Ausdruck (3) für den Radius  $r$ . Für kleine Winkel (was hier der Fall ist, weil  $d=170\ 000$  LJ) beträgt der Sichtwinkel  $\beta=r/d$ .

Die zeitlichen Abläufe der zwei Grössen  $V/c$  und  $\beta$  sind in den Figuren 2 und 3 dargestellt, wobei mehrere Wolkenabstände  $D$  betrachtet werden. Man merkt, wie die Lichtgeschwindigkeit stark überschritten wird und dass die Echos sich schneller fortpflanzen je weiter entfernt sich die Wolken von der Lichtquelle befinden. Wir müssen also noch warten, bis

allfällige weitere, der Supernova nähergelegene Wolken nachweisbar werden. Wir sehen auch, dass die in Orion 225 erwähnten Distanzen von ca. 400 und 1000 LJ mit den beobachteten Radien übereinstimmen.

Diese stark vereinfachte Darstellung hat uns dazu gedient, die Grössenordnungen zu veranschaulichen. Der Generalfall löst sich, indem man den geometrischen Ort der Punkte, die zu einer gegebenen Zeit ein Echo produzieren können, betrachtet. Dies ist ein Rotationsellipsoid, welches den Beobachter und die Supernova als Brennpunkte hat (Abb.4). Das sich ausdehnende Ellipsoid tastet mit der Zeit den ganzen Raum ab und erlaubt, im Prinzip, die räumliche Verteilung der interstellaren Materie in der Nähe der Supernova zu bestimmen. Eine solche Studie wurde 1939 von PAUL COUDERC gemacht (Annales d'Astrophysique, 2, s 271-302). Er versuchte, die verwirrenden Beobachtungen der Lichtechos von Nova Persei 1901 zu erklären. Der bedeutende Astronom J.C. KAPTEYN erwähnte als erster die mögliche ellipsoide Geometrie des Vorganges, behauptete aber damals dass diese Geschwindigkeiten der Grössenordnung  $c$  haben sollten, und die Nova folglich näher als gedacht bei uns liegen müsste. Andere haben jedoch beobachtet, dass der Verlauf der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten scheinbar nicht linear war, wie es bei einer reinen Ausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit sein sollte (siehe (3), linear nur für  $T_0=0$ ). SEELIGER hat z.B. 1902 geschrieben: «KAPTEYN behauptet, dass der Kreisradius und sein Zentrum sich mit der Zeit proportional bewegen werden. Dies ist offenbar nicht der Fall bei den Aufnahmen, die ich vor mir habe. Ich werde aber nicht darauf bestehen und werde seine Annahme als Basis annehmen». Die Idee von Ausbreitungen mit Geschwindigkeiten höher als  $c$  war beunruhigend, auch wenn Unlinearitäten andeuteten, dass die Erklärung etwas sorgfältiger ausgearbeitet sein sollte. Es dauerte 37 Jahre, bis COUDERC die vollständige Lösung brachte. Dieser Fall zeigt, wie leicht gewisse Vorurteile die Entwicklung einer Idee hemmen können.

NOËL CRAMER

Un observateur situé très loin (ce qui est le cas ici) verra le rayon de l'anneau lumineux sous le petit angle  $\beta = r/d$  ( $\beta$  en radians,  $d$  = distance au nuage, en années-lumière). Les figures 2 et 3 illustrent ce que l'on observerait pour des nuages placés à des distances diverses devant la Supernova en admettant que cette dernière se trouve à 170 000 années-lumière de nous. Il est intéressant de voir que la vitesse d'expansion de l'écho peut excéder de beaucoup celle de la lumière, et qu'elle augmente avec la distance qui sépare le nuage de la source. Ainsi, contrairement à ce que l'on pourrait penser au premier abord, ce sont les nuages les plus éloignés de la source qui seront détectés en premier. Il nous faudra donc attendre encore pour voir d'éventuels autres nuages situés dans le plus proche voisinage de la Supernova. Le seul cas où la propagation se fait à la vitesse de la lumière est celui où la source se trouve dans le plan du nuage. On vérifie aussi que les rayons des échos lumineux observés un peu moins d'un an après l'explosion correspondent bien aux distances de  $\approx 400$  et  $\approx 1000$  années-lumière mentionnées dans Orion No 225 pour les deux nuages.

Nous avons considéré ici un cas très simplifié afin de visualiser les ordres de grandeur du phénomène. Pour aborder le cas général il faut considérer le lieu géométrique de tous les points susceptibles de réfléchir la lumière de l'impulsion lumineuse à un instant donné. Ce lieu est un ellipsoïde de révolution (fig.4) dont les foyers sont occupés par l'observateur d'une part et par

la Supernova d'autre part. Cet ellipsoïde qui se dilate finit par balayer tout l'espace et l'observation des divers échos lumineux permettrait, en principe, de définir la structure tridimensionnelle des nuages proches de la Supernova. La précision de cette opération dépend, bien sûr, de celle avec laquelle on connaît la distance O-S. Nous n'entrerons pas dans les détails ici, mais nous pouvons signaler que PAUL COUDERC a étudié ce phénomène pour quelques cas spéciaux (nuages plans perpendiculaires à la ligne de visée, obliques, concentriques à la source) en 1939 déjà (Annales d'Astrophysique, Vol 2, pp 271-302). Son but était de rendre compte des observations, qui paraissaient paradoxales, d'arcs concentriques qui entouraient Nova Persei 1901 et qui semblaient croître à une vitesse bien supérieure à celle de la lumière si l'on tenait compte de la distance admise, à l'époque, de la Nova. Des astronomes particulièrement compétents, comme J.C. KAPTEYN, qui fut pourtant le premier à mentionner la géométrie ellipsoïdale d'un écho lumineux, proposèrent que cette propagation devait se faire à la vitesse de la lumière et que la Nova serait par conséquent plus proche que l'on pensait. D'autres astronomes ont réexaminé les données. Ils ont constaté que l'expansion ne paraissait pas se dérouler de manière linéaire comme on s'attendrait dans le cas d'une expansion simple à la vitesse de la lumière (l'expression (3) montre qu'elle n'est pas linéaire, sauf si  $T_0 = 0$ ).

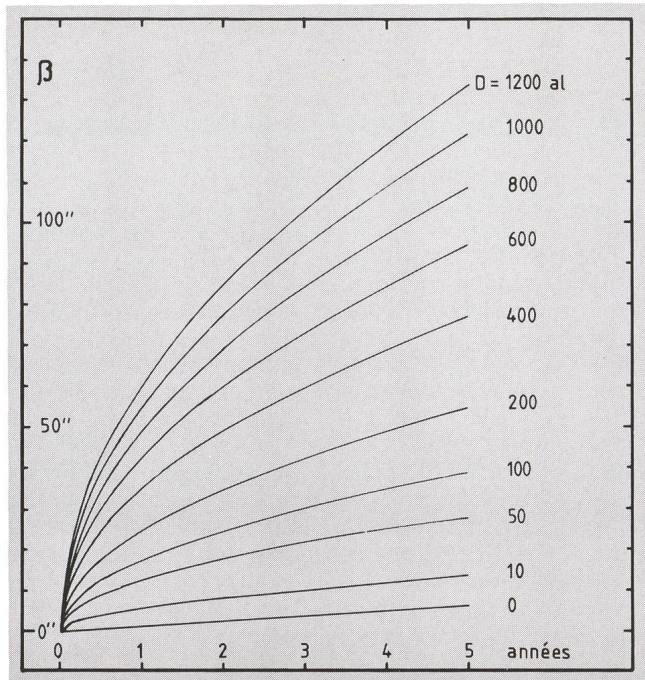


Fig.3: Le rayon apparent  $\beta$  de l'écho lumineux (secondes d'arc) en fonction du temps pour diverses valeurs de  $D$ . La distance adoptée pour la Supernova est ici de 170 000 al.

SEELIGER, par exemple, a écrit en 1902: «KAPTEYN prétend que le rayon du cercle et le déplacement de son centre seront proportionnels au temps. Ce n'est pas évident d'après les co-

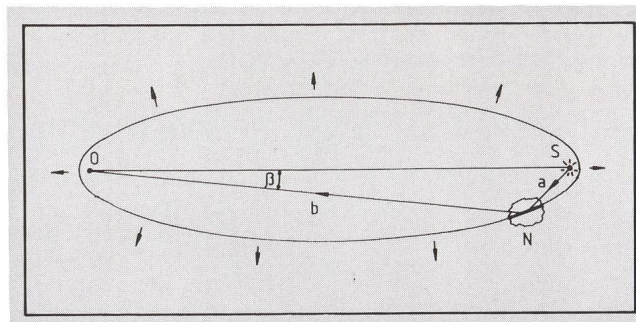


Fig.4: L'ellipsoïde de révolution, ayant comme foyers l'observateur et la Supernova, est le lieu géométrique de tous les points de l'espace susceptibles de produire un écho lumineux à un instant donné. La longueur  $a + b$  croît avec la vitesse de la lumière. L'observation de l'évolution des échos (comme celui dans le nuage N) permet, en principe, de définir la structure tri-dimensionnelle des nuages.

pies de clichés que j'ai sous les yeux, mais je ne m'y arrêterai point et je prendrai pour base cette hypothèse». L'idée d'une propagation plus rapide que celle de la lumière était troublante, même si l'observation d'une non-linéarité suggérait que l'interprétation du phénomène pouvait être plus subtile. Il a fallu attendre 37 ans pour que Couderc en donne l'explication complète.

Ce cas illustre comment une bien faible barrière suffit parfois à bloquer longtemps l'avance d'une idée.

Adresse de l'auteur: NOËL CRAMER, Observatoire de Genève, 51, chemin de Maillettes, CH-1290 Sauverny

«Himmelskunde in unserer Zeit»

herausgegeben von der Astronomischen Gesellschaft Winterthur aus Anlass ihres 25jährigen Bestehens.

- 68 Seiten im Format 14,8 x 21 cm, 28 s/w-Illustrationen, davon 20 Astrofotografien der Sternwarte Eschenberg, broschiert.

Preis: sFr. 15.— (+Versandspesen, Versand erfolgt mit Rechnung)

✂ -----

Bestellung

Anz. .... Vorname, Name: .....  
 Strasse: .....  
 PLZ/Wohnort: .....

Einsenden an: Markus Griesser, Breitenstr. 2  
 8542 Wiesendangen

**CELESTRON + MEADE TELESKOPE**  
 ab Fr. 2000 = 10%, ab Fr. 4000 = 15%,  
 ab Fr.7000 = 20% **BILLIGER**  
 als irgendwo anders!

**20%**

E. Aepli, ADLIKON 24 Stunden Tel. 01/841 05 40 od. 841 14 23

**ASTROOPTIK KOHLER**

Ihre Adresse für alle Fragen der Instrumententechnik. Umfassende und kompetente Beratung. Produkte der Firmen:

**LICHTENKNECKER TELE VUE CELESTRON/VIXEN**  
 Diverse **EIGENPRODUKTE** und **SONDERANFERTIGUNGEN**

Neu in Vorbereitung:  
 - Weisslichtsonnenfilter in vers. Qualitäten/Dichten.  
 - H $\alpha$ -Filter mit Anschluss nach Mass, auch für Ihr Fernrohr  
 - Hypersensibilisierungsanlagen.

Ausserdem: **Übergangshülsen** für sämtliche Okularprobleme, Fassungen für Linsen/Spiegel bis ca. 130 mm  $\varnothing$ , Leitrohrschellen bis ca. 140 mm  $\varnothing$ , Sonderanfertigungen usw.

Astrooptik Kohler Sie können mich von DI bis SA zwischen  
 Bahnhofstr. 63 10.00 und 22.00 Uhr im Rest. Baur erreichen.  
 8620 Wetzikon Ausst. im Haus, nächtliche Beobachtungsmöglichkeit nach Absprache.  
 01/930 04 43

Reichhaltige Spezialpreisliste und mein einzigartiges Leistungsheft des Amateurfernrohrs gegen 2.— in Briefm.