Le trou noir : réalité ou fiction cosmique

Autor(en): **Amiet, J.-P.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg**

Band (Jahr): **60 (1971)**

Heft 2: **Rapport annuel = Jahresbericht**

PDF erstellt am: **18.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-308474

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

Le trou noir: Realité ou fiction cosmique?

par J.-P. Amiet
Institut de Physique, Université, Neuchâtel

Introduction

L'écrivain Tucholsky débute son essai: «Sur la psychologie sociologique des trous» par cette définition:

«Un trou est là où quelque chose n'est pas. Le trou est l'éternel compagnon du non-trou: un trou seul n'existe pas.»

Si l'on partage ce point de vue, le trou noir (traduction littérale du «black hole» anglais) ne porte pas bien son nom car il pourrait exister seul dans un univers vide par ailleurs. C'est un fait qu'on aurait pu le baptiser de façon plus évocatrice: «abîme gravitationnel» ou «trappe temporelle», par allusion à sa propriété la plus frappante. Le trou noir, possibilité prédite par la théorie de la gravitation d'Einstein, est engendré par un astre qui se serait contracté jusqu'à l'intérieur d'une sphère critique (dite de Schwarzschild) dont le rayon est de l'ordre de quelques kilomètres. Cette sphère, pur lieu mathématique limitant le trou noir, est un seuil de non-retour: toute matière qui la traverse est irrémédiablement emprisonnée dans le trou noir, et le même sort est réservé aux rayons lumineux.

Un trou noir est riche en matière (sa densité est supra-nucléaire), il peut s'enrichir d'apports nouveaux, mais il ne donne rien, ne rend rien: cela exclut donc pour nous toute possibilité d'apprendre quelque chose sur son état interne. C'est en somme un trou de notre savoir, ce qui ferait bien plaisir à Tucholsky.

Pour revenir à de sérieux propos, citons Ruffini et Wheeler /[1]

«L'objet quasi-stellaire (quasar), le pulsar, l'étoile de neutrons ont tous trois fait leur entrée sur la scène de la physique en l'espace de quelques années. La prochaine entrée sera-t-elle celle du trou noir? Si c'est le cas, il est difficile d'imaginer un développement de plus grande portée.» (Ce serait une preuve claire de la validité de la relativité générale, base de notre pensée cosmologique actuelle). Pour qu'un trou noir soit une réalité cosmique, et pas seulement une fiction de théoricien, la contraction fabuleuse d'un astre est nécessaire. La découverte récente d'étoiles de neutrons, qui ne sont pas loin du stade requis, encourage à penser que le pas suivant a pu être franchi quelque part dans le cosmos: un collapse total, état final prédit par la cosmologie actuelle pour des étoiles de masse super-critique.

Par ailleurs, on a découvert des étoiles qui co-gravitent avec un objet massif invisible, qui pourrait donc bien être un trou noir. Les observations qui se poursuivent à ce sujet nous en apporteront peut-être un jour la preuve.

Gravitation

La théorie de la relativité générale d'Einstein donne une explication géométrique de la gravitation des corps célestes, d'où la nature avant tout géométrique du phénomène «trou noir». Nous vivons dans un espace à trois dimensions,

mais notre vie même est une succession d'événements situés dans un espace à quatre dimensions, l'*espace-temps*. Ainsi, le déplacement d'un mobile est complètement caractérisé par la donnée de ses positions successives et de l'heure de passage (p. ex. horaire de chemin-de-fer). Représentées graphiquement, ces données forment une courbe dans l'espace-temps, la *ligne d'univers* du mobile. Une ligne d'univers (L) est représentée dans la figure 1, avec la trajectoire spatiale (S) correspondante. L'ensemble des lignes d'univers (R) de rayons lumineux émis en O (ou P) forme le *cône de lumière* C (ou C'). Toute ligne d'univers est dirigée vers le futur (t croissant), et sa tangente (T) en chaque point (P) pointe à l'intérieur du cône de lumière C (C') si le mobile a une masse non nulle. Ceci exprime le fait qu'aucun corps massif ne peut se déplacer à une vitesse égale ou supérieure à celle de la lumière.

Contrairement à Newton, qui attribue la gravitation des corps à des forces qui les attirent les uns vers les autres, Einstein affirme que ces mêmes corps évoluent librement, mais dans un *espace-temps courbe*, déformé par leur présence. Une analogie aide à se représenter l'idée d'Einstein: on lance doucement quelques billes (les astres) sur une grande membrane élastique (espace-temps). Les billes déforment la membrane et s'influencent par là dans leur mouvement, sans qu'aucune force n'agisse directement entre elles.

Schwarzschild a résolu en 1916 les équations d'Einstein pour le cas d'un astre sphérique isolé. Sa solution s'applique très bien dans notre système solaire, vu l'éloignement des autres étoiles et la petitesse des masses planétaires. Il s'avère que l'équation de Newton et ses solutions sont d'excellentes approximations de celles d'Einstein, d'autant meilleures qu'elles concernent le mouvement de planètes plus éloignées du soleil.

L'écart le plus significatif est celui de la précession du périhèle de Mercure: 43″ d'arc par siècle; les mesures faites sont en accord avec la prédiction d'Einstein.

La solution de Schwarzschild prédit en outre une situation entièrement nouvelle dans le cas d'un astre dont le rayon r_o est inférieur à un rayon critique a (dit de Schwarzschild). Ce rayon dépend de la masse de l'astre; on est bien loin du compte pour le soleil, $r_\odot \simeq 100.000 . a_\odot$, mais il n'est pas hardi de penser que ce cas a pu être réalisé lors du stade final d'évolution d'une grosse étoile de neutrons.

Trou noir

Lorsqu'un astre a un rayon inférieur au rayon de Schwarzschild correspondant à sa masse, $r_o < a$, la théorie d'Einstein nous dit qu'il est un *trou noir*. C'est un phénomène essentiellement nouveau: alors que, selon Newton, un mobile peut avoir une trajectoire hyperbolique frôlant cet astre, c'est-à-dire que rien de spécial ne se passe, la prévision d'Einstein implique que le même mobile est irrémédiablement capté s'il traverse la sphère de Schwarzschild de rayon a. L'explication de ce phénomène, purement géométrique et non pas dû à des forces d'attraction incoercibles, se lit directement sur le diagramme de Kruskal [2] (figure 2). Pour simplifier, on considère uniquement une trajectoire radiale par

rapport à l'astre. Le mobile est repéré sur ce rayon par une coordonnée r, et le temps t est celui d'un observateur très distant. Dans la solution de Schwarzschild, ces coordonnées r et t de l'espace-temps perdent leur sens lorsque $r = a$, de sorte qu'on introduit de nouvelles coordonnées, R et T, fonction des premières. Elles sont valides jusque sur l'astre lui-même, contracté en un point pour simplifier. Les hyperboles représentent les lignes d'univers d'une fusée immobilisée en un point, $r = 2a$ p. ex., et les droites l'ensemble des événements simultanés pour la coordonnée t, en unités c/a. Les obliques à 45° (traitillé) sont les lignes d'univers de rayons lumineux dirigés vers l'astre ou en direction opposée. Elles figurent des cônes de lumière réduits à 2 dimensions. Un mobile (fusée) partant du point M ($r = 2a$, $t = 1$) et qui tombe vers le trou noir (ligne en trait-point) a, en principe, la possibilité de s'échapper, car il dispose de lignes d'univers (p. ex. la ligne pointillée) dirigées vers des r croissants.

En revanche, dès qu'il a traversé le point $r = a$ (ligne en trait fort), toutes ses lignes d'univers le conduisent vers le centre du trou ($r = 0$), étant «emprisonnées» dans leur cône de lumière, dont les deux rayons vont maintenant frapper le centre. On peut essayer: tout rayon lumineux issu d'un point situé entre les lignes $r = a$ (droite $T = R$) et $r = 0$ (hyperbole) aboutit irrémédiablement sur cette dernière. Donc, même un rayon lumineux ne peut s'échapper du trou noir.

Détection

Un trou noir est extrêmement difficile à détecter dans les espaces interstellaires, de par sa nature même. On ne peut «voir» à l'intérieur, et le phénomène d'éclipse est hors de question, vu le diamètre de quelques kilomètres du trou. Sa seule pièce d'identité (qu'il soit constitué de matière, d'anti-matière, ou de tout ce qu'on veut) est constituée par sa masse M, et éventuellement par son moment angulaire J et sa charge Q, s'il en possède. Ces deux dernières grandeurs ne sont probablement détectables qu'à faible distance. Reste la masse, source de distorsion de l'espace-temps (champ gravifique). qui peut perturber visiblement un astre voisin visible. Dans le même ordre d'idée, la rencontre de deux trous noirs serait une source fabuleuse d'ondes de gravitations.

L'avenir nous dira peut-être si les quelques perturbations d'étoiles observées [3] et certaines des ondes de gravitations détectées à ce jour sont dues à des trous noirs.

Références:

1. R. Ruffini et J. A. Wheeler, Physics Today (1971)
2. M. D. Kruskal, Phys. Rev. **119**, 1743 (1960)
3. A. G. W. Cameron, Nature **229**, 178 (19)

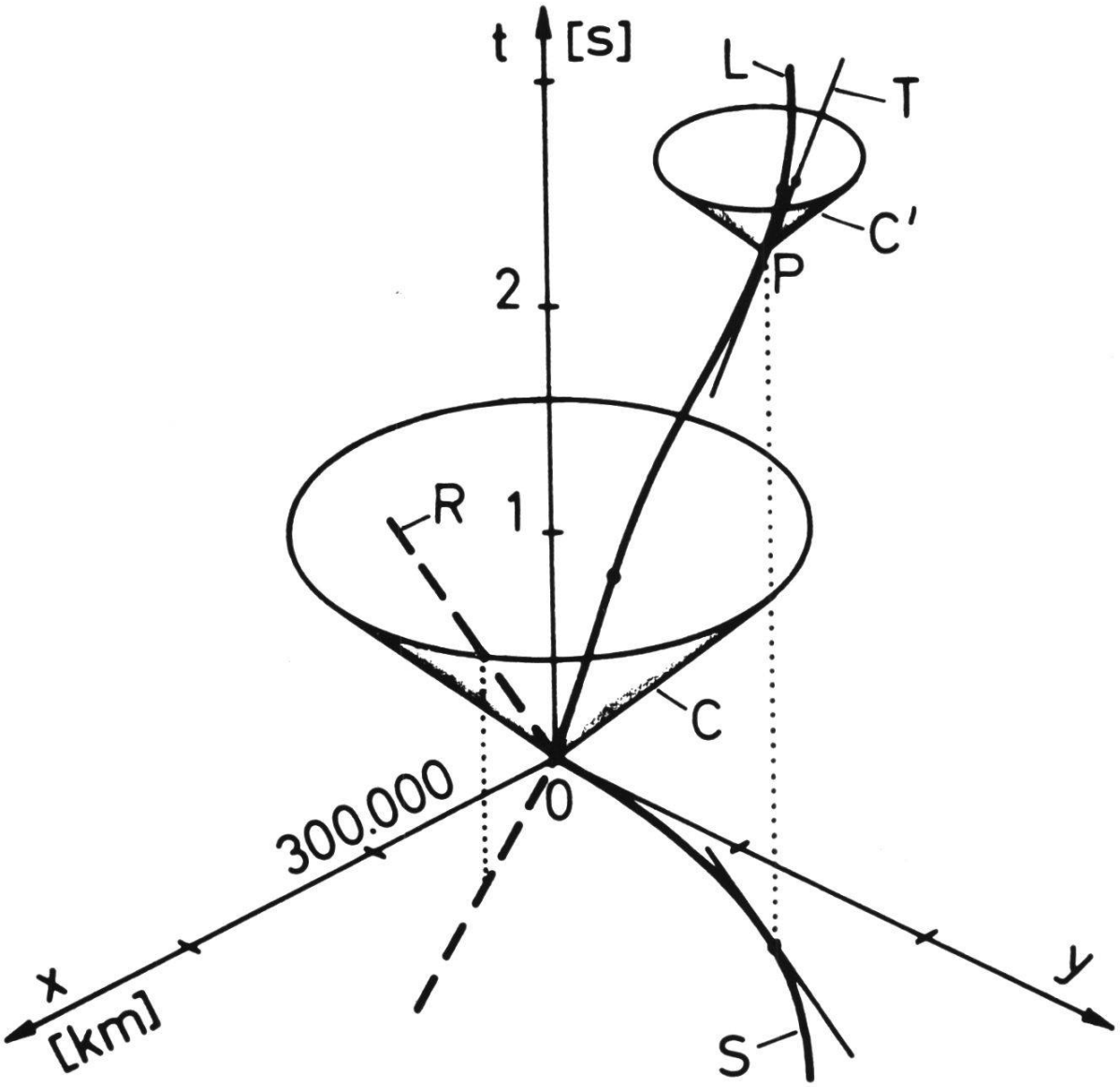

Fig. 1

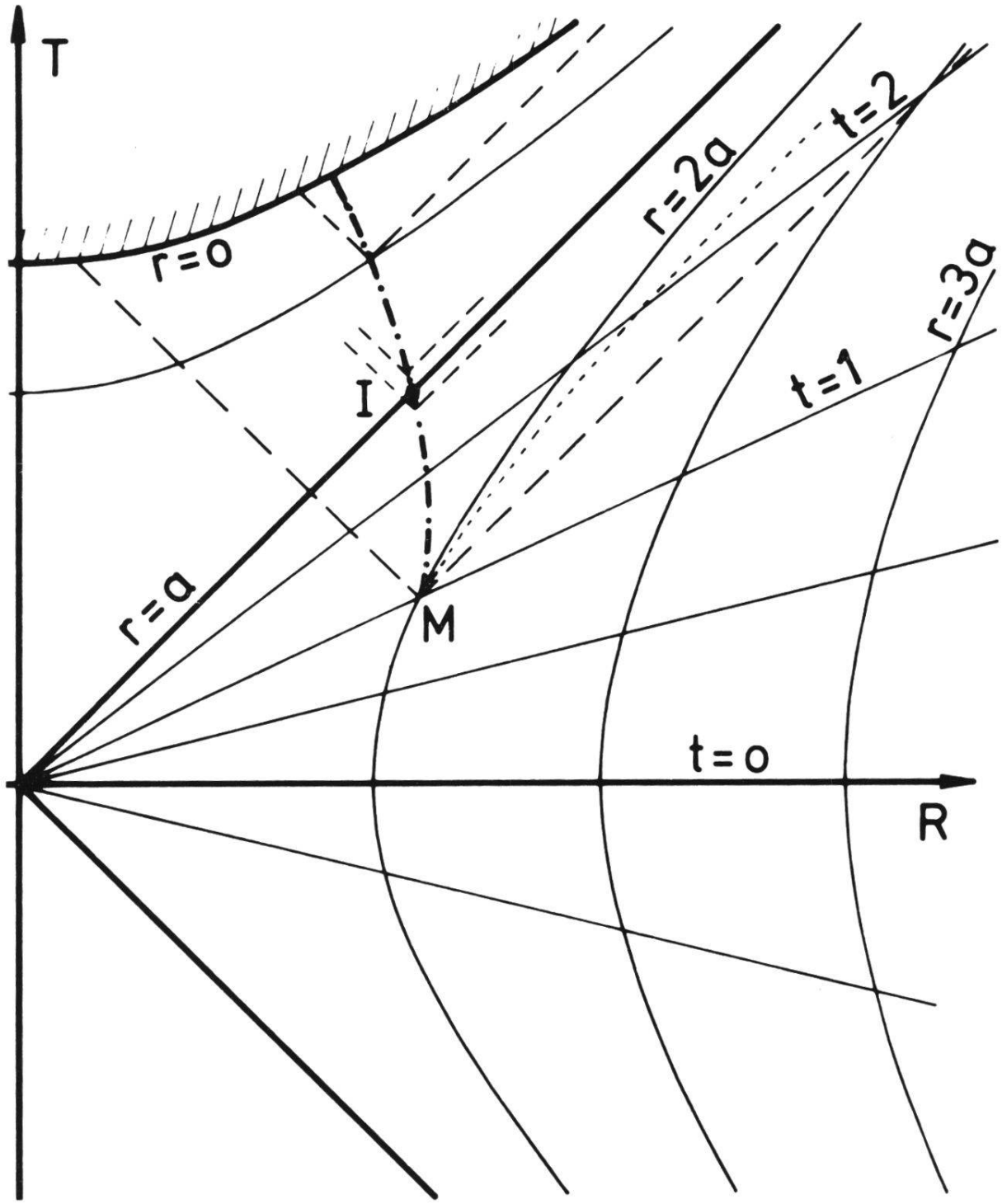

Fig. 2