

السينما بين العلم والخيال العلمي 1-2

أنترستيلر نموذجاً Interstellaire

إعداد وتحرير وترجمة د. جواد بشارة

تقفز إلى الذاكرة بعض العناوين الخالدة في تاريخ سينما الخيال العلمي التي تركت بصماتها ندية تتحدى الزمن. أوديسة الفضاء 2001 التحفة السينمائية للمبدع الكبير ستانلي كوبريك سولاريس النسخة الأمريكية، سولاريس تحفة تاركوفسكي العظيمة، ملحمة حرب النجوم بأجزائها التي لم تنته بعد، وسلسلة ستار تريك المذهلة، بوابة النجوم، رحلة عبر الزمن، آلة الزمن، رحلة إلى المستقبل، آين، اليوم الذي توقفت فيه الأرض عن الوجود، ثلاثية ماتريكس العظيمة، آفاتار، وحيداً على سطح المريخ، أنا روبوت، الذكاء الاصطناعي، مهمة فوق المريخ، ترميناتور أو المدمر، توتال ريكال، كوكب القرد، اتصال، أول اتصال بالكائنات الفضائية، حرب العوالم، الشيء، الكثبان، المقاطعة 9، بلاد رينز، حواء المستقبل، وغيرها المئات من أفلام الخيال العلمي الخ... وبالطبع النموذج الذي اخترناه للدراسة بين النجوم انترستيلر من إخراج كريستوفر نولان. ما لذي نستخلصه منها؟ إن الواقع، خاصة واقع الزمكان في الفضاء الخارجي بين النجوم والمجرات والأكوان والعوالم، هو أغرب من الخيال البشري بكثير.

في عام 1902 عرض المخرج الفرنسي جورج ميلييه فيلم " رحلة إلى القمر " المستوحى من رواية جول فيرن من الأرض إلى القمر وجولة حول القمر وأول رجل على القمر لـ هيبيرت ج ويلز وهو أول فيلم خيالي علمي في تاريخ السينما.

في مؤلفه يرسل رولاند فوريو لاريوست، شاعر عصر النهضة الإيطالي، بطله أستولف

على سطح القمر للعثور على طريقة هناك لاستعادة رولاند لعقله. بعد مرور أكثر من قرن،

في عام 1634، تم نشر الحلم Le Songe أو علم الفلك القمري، وهو بحث في جغرافيا

القمر يبحث في الإمكانيات الكامنة لوجود السكان. مؤلف هذا الكتاب، الذي توفي قبل أربع سنوات من نشر كتابه ليس سوى العالم الفيزيائي والفلكي يوهانس كبلر، الرجل الذي فهم

القوانين المنظمة للحركات والمدارات البيضاوية أو إهليجية الشكل للكواكب. يمكن اعتبار هذا الكتاب عموماً هو من أوائل كتب الخيال العلمي. وما زلنا في القرن السابع عشر هناك سافنيان، Savinien لسيرانو دي بيرجيراك (الشخص الذي ألهم شخصيته الشهيرة لإدموند روستاند) ينشر Voyage dans la lune et histoire comique des Etats et Empires de la Lune رحلة في القمر والتاريخ الهزلي لدول وامبراطوريات القمر.

وفي عصر الثورة العلمية والتطور العلمي الذي بدأه الثنائي (غير المعترف به) Galilée-Newton. غاليله ونيوتن. في عام 1686، قام الكاتب والعالم الفرنسي بتسليم الحجر الأول قبل الأوان لبناء أو لصرح الأدب الحيوي أو الحياتي الخارجي، أي خارج الأرض، مع مقابلة حول تعدد العوالم، لكي يصبح، لفترة طويلة، زعيماً لأنصار وأتباع العوالم المأهولة. فبالنسبة لستيفان أوليفيه، مثل غيره من المتخصصين الآخرين، ولد الخيال العلمي حقاً في عام 1865 مع أحد سكان كوكب المريخ، بقلم

فرانسوا هنري بيودفر دي بارفيل. "هذه الرواية هي بالتأكيد أحد المظاهر الأولى لظهور أحد سكان المريخ على كوكبنا الأرض – الكائنات الشهيرين الفضائيين الممهدين من خارج الأرض، ميكرومغاز وشريكه، قادمين من سيريروس وزحل" كما يوضح ستيفان أوليفيه. الرواية تبدأ بالعثور على جثة محنطة لكائن مريخي بداخل كرة نارية مدفونة تحت الأرض. ونطلع هنا على أول نصوص معروفة عن وصول كائنات أو مخلوقات فضائية لا أرضية إلى الأرض، وهو موضوع سوف يتغذى وينهل منه الأدب بنهم. كان عام 1865 أيضاً عامًا لنشر الرواية الشهيرة لجول فيرن، من الأرض إلى القمر. "إنها قبل كل شيء رواية المغامرات، التي تتضمن ودمج الأفكار العلمية والتكنولوجية، لكنها تعتبر مرجعاً لأدب الترقب الفرنسي والدولي كما يشرح ستيفان أوليفيه. يكفي النظر في التعديلات التي تم إجراؤها في الأدب وعلى الشاشة للاقتناع بدورها كرائد: فالسفر في الفضاء ولد مع هذه القشرة. القرن التاسع عشر سيدمغ بظهور رائعة "حرب العوالم" الشهيرة لـ هيربرت ج ويلز H. G. Wells. التي صدرت سنة 1895، وكانت بمثابة السمة. إن موضوع الزمن هذه مرتبطة بالخيال في وسط الفضاء على نحو عام كونها تسببت في تغيير المسار بشأن ظهور كائنات فضائية لأول مرة كأعداء محتملين قادمين من حضارة متقدمة. مما لا شك فيه أنه ليس من قبيل الصدفة تمامًا أن يتم نشر هذه الرؤية في نهاية القرن التاسع عشر، داخل غرب أظهر نفسه بانه غرب ذو ميول ونوايا استعمارية وعدوانية.

في عام 1895 نُشر عمل آخر لـ ه. ج. ويلز H. G. Wells الذي ميز أدب الخيال العلمي: وهو آلة الزمن، وهو أمر مميز. يرتبط موضوع الزمن هذا بشكل واضح للغاية بالخيال في الفضاء بشكل عام. انتقد الرواية الفيلسوف الفرنسي Alain آلان الذي كتب في عام 1923: "إن المراقب الذي قاد الآلة يعود إلى الزمن الذي غادر فيه، ويجد أصدقائه، ويجد الكون كما كان عليه الكون في البداية عند مغادرته. لذلك من الضروري وجود حالات للكون في نفس الوقت في أزمان مختلفة، وهو الأمر الذي لا يمكن أن يكون على ما يرام. إن فكرة الآلة ترحل في الزمن فكرة جذابة، لكنها تطرح مشكلة منطقية ضخمة: إذا قام شخص ما بتصنيع آلة زمنية في المستقبل، فكيف لنا أن نوضح أننا لم نمتلكها بالفعل؟ لنفترض أن مثل هذه الآلة تم تصنيعها في عام 2050. سيتعين عليها فقط العودة في الزمن بضع عشرات من السنين للوصول إلينا وخلق المزيد منها في عصرنا هذا أي في وقت مبكر سابق لعام 2050. يجب أن تكون آلة الزمن، القادرة على زيارة جميع العصور، خالدة بطبيعتها. إذا كانت آلة الزمن ممكنة، حتى لو تم اختراعها في عام 4076، لكان الرجال في عصور ما قبل التاريخ سيعرفون أن البشرية المستقبلية ستزورهم (من المحتمل). بما أنها غير موجودة في حاضرنا، فإنها ليست موجودة في المستقبل أيضًا. الجدل المضاد الوحيد الممكن هو أنه كان من الممكن إنشاء الآلة في المستقبل دون أن ترى إنسانية المستقبل أنه من المناسب العودة إلى زمن قبل عشرينيات القرن العشرين أو لا ترى ضرورة لزيارة زمننا المتخلف في عشرينيات القرن المنصرم.

من الأدب إلى السينما:

يستمر ه. ج. ويلز H. G. Wells نتاجه في مجال أدب الخيال العلمي مع كتاب أوائل الرجال فوق القمر 1901 Les Premiers Hommes dans la Lune en 1901 ، وهو العمل الذي قام فيه Cavor كافور، وهو عالم ، يصنع الكافوريت "cavorite" ، وهو معدن ثوري يستخدمه لبناء مركبة فضائية للذهاب خارج الأرض واكتشاف ، بصحبة المغامر الشاب بيدفورد ، سكان القمر ، أي حضارة السيلانيون التي تعيش تحت سطح القمر. من المثير للاهتمام أن نلاحظ أن العلاقة بين الفضاء والسينما تم نسجها منذ البداية. ما هو أول فيلم في تاريخ السينما؟ Voyage dans Le إنه فيلم رحلة إلى القمر

la Lune إخراج جورج ميلييس Georges Méliès في عام 1902 ، وهو مستوحى من كتاب من الأرض إلى القمر الذي ألفه جول فيرن De la Terre à la Lune ، وكتاب أوائل الرجال على سطح القمر الذي ألفه ه.ج. ويلز Les Premiers Hommes dans la Lune. لقد مر أكثر من قرن ولم يكن الكون أكثر دهشة مما هو عليه اليوم، خاصةً على شاشات السينما. منذ الثلاثي الأسطوري أوديسة الفضاء 2001 ، أنتج فيلم الأوديسة الفضائية لستانلي كوبريك في عام 1968 ، وسولاريس من قبل العبقرية الروسية أندريه تاركوفسكي في عام 1972 ، وآلين Alien المذهل الذي أخرجه ريدلي سكوت في عام 1979 ، كان معدل إطلاق أفلام الفضاء كبيرًا وتزايد بقوة واضطراد. هناك بالطبع أسباب تكنولوجية بحثة بمعنى أن عالم الديجيتال الرقمي يتيح اليوم بإحداث تأثيرات ومؤثرات وخذع سينمائية وبصرية... مكانية! ولكن هذا ليس كل شيء: فبقدر صرخات القلق بشأن الاحتباس الحراري، والحرائق الضخمة المنتشرة على الكرة الأرضية والانخفاض المتزايد في التنوع البيولوجي يخلق مناخًا سابق ومهيئ لنهاية العالم المروعة ، ومن المفهوم تمامًا أن تتحول عين البشرية عن طريق رد الفعل نحو السماء. لذا فإننا ندعي أننا شاملون منذ عام 2010: مع أفلام مثل بروميثيوس Prometheus ، إخراج ريدلي سكوت في عام 2012 ؛ الجاذبية ، بواسطة ألفونسو كوارون في عام 2013 ؛ بين النجوم ، بقلم كريستوفر أولان في عام 2014 ؛ وحده على المريخ ، بقلم ريدلي سكوت في 2015 ؛ أول اتصال من إخراج دينيس فيلنوف في عام 2016 ؛ الحياة: الأصل غير معروف لدانيال إسبينوزا في عام 2017 ؛ الرجل الأول ، الرجل الأول على القمر ، إخراج داميان شازيل في 2018 و Ad Astra ، لجيمس غراي في 2019. أغلق الحظر! ليس كلهم يستخدمون نفس موارد كتابة السيناريو ولا يعتمدون على نفس البنيات، ولكن الحقيقة هي أن هذه كلها أفلام سائدة رائعة تلعب على الانبهار البشري لاستكشاف الفضاء في جوانبها المختلفة.

فيلم حالة فيلم The Interstellar أنتيرستيلر Interstellaire بين النجوم من إخراج كريستوفر نولان ، الذي عرض عام 2014 ، هو قضية نهج مدرسي أي يشكل وحده مدرسة لهذا النوع أو النمط من الأفلام الخيالية العلمية من نواح عديدة. أولاً، وبغض النظر عن الأحكام القيمة الخاصة بنا التي لا تهم القارئ، فهذا فيلم خيال علمي حقيقي بمعنى الكلمة، أي أنه يبدأ من افتراض مرتبط بعلم الفيزياء ونظرياته المتطورة في سياق خيالي. من خلال الدقة في تعريف العلم، ندرك أنه لا يوجد العديد من أفلام الخيال العلمي البحت الحقيقي. لنأخذ على سبيل المثال فيلم، "حرب النجوم" فهو ليس فيلم خيال علمي بل فيلم الأزيار والعباءات السوداء وأقنعة الرؤوس والسيوف الليزرية في الفضاء. نفس الشيء مع مثال آخر كفيلم "الجاذبية" هو فيلم كوارث في الفضاء وليس فيلم خيال علمي بالمعنى الحرفي للكلمة.

إذا كان بإمكاننا اعتبار فيلم بين النجوم أنتيرستيلر IntersTeller كنموذج يحتذى لسينما الخيال العلمي، فذلك لأن كريستوفر نولان، الذي نعرف جديته ودقته اللامتناهي التي يضيفها على بنائه السردية في أفلامه حاول أن يمتدح ويمحور بنيته السردية في هذا الفيلم لكي يستعرض عدة مشاكل حقيقية في الفيزياء المعاصرة في رواياته السينمائية. لمن لم يكن قد شاهد الفيلم فهذا ملخص سريع: إن البشرية في طريقها للموت والإبادة تدريجياً بسبب نقص الموارد الزراعية، وقد علمت وكالة ناسا عن ممر فضائي، يقع بالقرب من المشتري، والذي يسمى "ثقب دودي" والذي يسمح باكتشاف كوكب جديد ستوفر منطقتة الصالحة للسكن فرصة لإنقاذ البشرية وبقائها على قيد الحياة. سيحاول الفريق التقني المختار بعد ذلك القيام بالرحلة عن طريق زيارة الكواكب المحتملة التي يمكن أن تستقبل البشر، والتي يقع بعضها في مدار حول ثقب أسود يسمى غارغانتوا Gargantua. لم يقتصر اهتمام نولان على احترام جميع

القوانين الأساسية للفيزياء، خاصة عندما يتعلق الأمر بإعادة إنشاء الجاذبية الاصطناعية في سفينة الفضاء أو مع مراعاة آثار المد على الكواكب الموجودة في المجالات الأخرى من الجاذبية من الأرض، لكنه ذهب إلى أبعد من ذلك بكثير في الواقعية، لا سيما في تعاونه مع كيب ثورن، وهو متخصص دولي كبير في كل من النسبية العامة والثقوب السوداء. ومن خلال العمل مع Kip Thorne ، فهم نولان عواقب النسبية العامة ، بما في ذلك فكرة أن الجاذبية تشوه الزمن ، ما يسمى "تمديد الجاذبية للزمن" ، تؤكد تجربتان: تجربة باوند وريبكا (1959) Rebka وتجربة كيتنغ وهافل Hafele و Keating (1971). تم دمج هذا التأثير أيضاً بشكل مثالي في أجهزة GPS المعاصرة التي تستخدم النسبية العامة لتعويض الاختلافات الزمنية بين الإشارات التي ترسلها الأقمار الصناعية ومواقع الأرض. يستخدم نولان هذا المبدأ المادي الذي لا يمكن دحضه على الإطلاق لدفعه إلى آثاره المنطقية النظرية بفضل سحر السينما: من خلال جعل شخصياته تتفاعل على كوكب يقع بالقرب من الثقب الأسود غاراغانتوا

"Gargantua" ، يضعهم في مجال جاذبية قوي للغاية حيث الزمن يتأثر بقوة ما يسمح بخلق تباين زمني مذهل في الأمكنة بين بعض أفراد الطاقم الفضائي البشري الذي هبطوا لاستشكاف الكوكب والبعض الآخر الذي بقي على ظهر المركبة الفضائية الأرضية أو البشرية بنسبة مهولة أو بعامل عامل 60:000 أي 1 ساعة لكل 7 سنوات. أي كل ساعة تقضيها في مجال الجاذبية لهذا الكوكب تقابل 7 سنوات خارجه أي في المركبة الفضائية. ما يبدو خيالياً تماماً بالنسبة للمشاهدين؛ لكنه العلم وليس الخيال العلمي فهذه حقيقة علمية مستمدة من النسبية العامة لأينشتاين. وحتى إذا كان العامل 60،000 يبدو منحرفاً، فهو ليس كذلك، فكل هذا يتوقف على المسافة التي نتواجد فيها بالنسبة للثقب الأسود. كان حري بنولان أن يجعل الكوكب المعنى أقرب إلى الثقب الأسود لتبرير هذه المفارقة الزمنية. لكنه تفصيل لا يطعن بمصداقية المقاربة العلمية للمخرج. بالإضافة إلى ذلك، لا يترك نولان شيئاً للصدفة: على الكوكب المعنى، هناك موجات هائلة تزيد عن 50 متراً. دليل على أن الترفيه انتهى ولا مجال للامبالاة؟ لا، إنه بالضبط تأثير المد والجزر بسبب مجال الجاذبية. تعودنا على موجاتنا الصغيرة والهادئة بين الأرض والقمر لأننا نتفاعل وسط مجال ثقالة ضعيف ولكن يمكن أن يختلف جذرياً وكلياً على سطح كوكب آخر في مجرة أخرى.

ثقب أسود وثقب دودي:

مع الثقب الأسود غاراغانتوا "Gargantua" ، تسبب نولان في في تدفق الكثير من الحبر. فشكله الخارجي تم صقله ورسمه بدعم من العالم الفيزيائي كيب ثورن Kip Thorne ، الأمر الذي يشرح ويفسر الواقعية الدقيقة التي تم تأكيدها منذ أول صورة تم التقاطها لثقب أسود حقيقي في أبريل 2019. تجدر الإشارة إلى أن عالم فرنسي، هو جان بيير لومينيت، أحد ألمع علماء الفيزياء الفلكية في فرنسا، كان محقاً عندما اقترح سنة 1979 أول تمثيل أو نمذجة للتشوهات البصرية التي يسببها الحقل أو المجال الثقالي للثقب الأسود. وفي عام 1982 كان من بين الأوائل الذين درسوا مع براندون كارتر، تأثيرات مرور نجم بالقرب من ثقب أسود عملاق أو فائق الكتلة. استخدم المخرج نولان مفهوم " أفق الأحداث" الفيزيائي العلمي والذي يتطابق مع نصف قطر شفارزتشايلد للثقب الأسود ليطلع الجمهور العريض غير المتخصص على النقاشات الحديثة التي تدور بخصوص الفيزياء الكمومية أو الكوانتية والبحث عن معطيات وبيانات كمومية أو كوانتية للثقالة أو الجاذبية. الفرضية الوحيدة الغريبة والمخالفة للصواب تتعلق بالثقب الدودي الذي بنيت عليها فكرة البعثة الفضائية البشرية للبحث عن كواكب قابلة للاحتضان البشر . ولقد تم اكتشاف الثقب الدودي رياضياً في عام 1916 من قبل لودفيج فلام ، الثقب الدودي هو

طريق مختصرة في طوبولوجيا الزمكان مما يجعل من الممكن ربط منطقتين بعيدتين عن بعضهما البعض من خلال ثقب أسود (جاذب قوي) على جانب وثقب أبيض على الجانب الآخر(فرز طارد من الثقب الأسود) أو من الجهة الأخرى.

يحتوي الثقب الدودي على مدخلين يمكن أن يفصل بينهما ملايين السنين الضوئية، لكن "النفق" في الزمكان يجعل من الممكن الاتصال عبر مسار أقصر بكثير. درس العديد من الفيزيائيين، بمن فيهم جون فريدمان وإيغور نوفيكوف وكيب ثورن John Friedman و Igor Novikov و Kip Thome، كيف يمكن استخدام هذه الثقوب الدودية للسفر عبر الزمن. سيسمح لك المرور عبر أحد هذه الأنفاق نظرياً بالسفر لبضعة ملايين من السنوات الضوئية التي تفصل بين المداخل، دون الحاجة إلى تجاوز سرعة الضوء، أي دون انتهاك مبادئ نظرية النسبية. لكن هذا الاحتمال النظري تعرض للدحض لكون الثقوب الدودية غير مستقرة وفي لحظة نشوئه يدمر من قبل أي جسيم أو أية أشعة ضوئية تخترقه وتدخل إليه ولقد عرض ستيفن هوكينغ هذا الاستنتاج وحوله إلى مبدأ سمي بمبدأ "ظروف حماية التعاقب الزمني" أو " تخمين حماية التسلسل الزمني " conjecture de protection chronologique" ولكن يتعين الانتباه إلى أن عدم الاستقرار الجوهري للثقوب الدودية لا يمكن التعاطي معه إلا في إطار النسبية العامة، الأمر الذي لا يأخذ بالحسبان معطيات وبيانات الميكانيك الكمومي أو الكوانتي. علاوة على ذلك، لو أضفنا بعداً مكانياً خامساً للزمكان فسوف نحصل على خمسة أبعاد ويغدو المرور عبر الثقب الدودي ممكناً ومقرباً من الناحية النظرية ولقد فهم نولان هذه الفرضية أو الاحتمالية لأنه أدخلها في صلب السيناريو الذي كتبه للفيلم على هيئة مكعب كوني سيكون المكافئ للالأبعاد المكانية الأربعة للمكعب الذي هو من الناحية التقليدية ثلاثي الأبعاد ولم ننجح لحد الآن في رصد ثقب دودي ولا نعرف آليات عمله ولا الآليات التي من شأنها خلقه لكن يمكن استنتاجها كنتائج ممكنة من معطيات وبيانات النسبية العامة ومعادلاتها.

تشكيل الثقب الأسود الشهير:

يتكون النجم عندما تتراكم كمية كبيرة من الهيدروجين وتتصادم مع تأثير جاذبيتها. عند الوصول إلى درجة معينة من الحرارة، فإن ذرات الهيدروجين التي تتصادم لم تعد ترتد بل تندمج معاً لتكوين ذرات الهيليوم. الحرارة الناتجة عن هذا الانصهار الحراري - وهو ما يعادل قنبلة هيدروجينية طبيعية - هي ما يجعل النجوم تلمع. تزيد هذه الحرارة من ضغط الغاز حتى تصل لدرجة تكفي لتعويض قوة الجاذبية ويتوقف الغاز عن الانكماش. خلال حياة النجم، ينفد مخزون الهيدروجين والمزيد من الوقود الذي يمتلكه النجم في البداية وبأسرع من الضوء؟ لينهار. عندما ينفد الوقود من النجم، يبرد ثم ينقبض. إذا كانت كتلة النجم أقل من "كتلة شاندراسيكا Chan Drasekhar"، يمكن أن تستقر لإعطاء "قزم أبيض" أو نجم نيوتروني. وإذا كانت كتلة النجم أكبر من "حد شاندراسيكا Chandrasekhar"، فلا يمكن لأي قوة أخرى موازنة الحالة، بحيث ينهار النجم في نهاية حياته تحت "وزن" الثقالة أو الجاذبية الخاصة به، وتشكيل ثقب أسود! لا يجب أن ننسى أن حلم كبلر هو أحد أوائل كتب الخيال العلمي. ومع ملييس Méliès، ولدت السينما على خلفية الموضوعات المكانية وإن interstellaire de Nolan نص بين النجوم هو كتاب يمثل حالة سينما الخيال العلمي بأنصع أشكالها وصورها.

في النص الذي كتبه كريستوفر نولان كأساس لسيناريو الفيلم هناك حديث عن كارثة بيئية كبيرة تحدث، والأرض تموت، تضربها الرياح والغبار (1). المحاصيل تذبل بسبب الحرارة وقلة المياه والرمال

والأغبرة والعواصف الرملية، ما يتبب بنقص الغذاء ... ونقص الموارد والبشرية تحتضر. تبحث مجموعة من العلماء المنعزلين (في وكالة ناسا!) عن ثغرة وحل وتدفع فريقًا صغيرًا إلى الفضاء بحثًا عن أرض جديدة. يتجول البطل من الثقوب الدودية إلى الكواكب الغريبة، وينتهي سباقه في حفرة سوداء ليعلمنا أن الحب في النهاية هو الذي يتجاوز المكان والزمان. . . إذا كان من الممكن الاتفاق على ضعف قبضة كريستوفر نولان على نصه الأصلي قبل تحويله إلى فيلم سنة 2014 *Interstellaire* (Christopher Nolan) ، فإن الفيلم ، الذي ادعى أنه وريث لفيلم ستانلي كوبريك أوديسة الفضاء *Space Odyssey 2001* ، فذلك لأنه لم يكن لديه حقيقة الاهتمام بالجانب التربوي كعلم موجود، وإرادة المخرج لـ "عمل جيد" أمر لا جدال فيه . من الواضح أنه "رتب" بعض الصور - لا سيما تلك التي تمثل الثقب الأسود - على حساب الدقة العلمية: فـ "في هوليوود، حتى الثقوب السوداء تشكل" وفق رغبات شباك التذاكر. تقول المجلة البريطانية *New Scientist* بلطف. في الواقع، يحتوي الفيلم على العديد من النقاط العلمية المحتملة والحقيقية. لن نتطرق إلى هذه التفاصيل، ولكن على العكس سنتحدث عن العلم، ونحدد كمية من المعلومات التي لا يتم تقديمها بشكل صريح من خلال تحليل مشاهد معينة في الفيلم. سنركز على الثقب الأسود غاراغانتو *Gargantua* والعواقب التي يفرضها على بيئته، في قلب الحكاية الفلمية. لذا اربطوا أحزمتكم: سوف نخلق باتجاه الثقب الأسود.

الإنحناءات الزمانية:

كما هو الحال في فيلم الجاذبية، الجاذبية هي في قلب حكاية ما بين النجوم - *Interstellaire* - *Interstellar*. ولكن إذا كانت نظرية نيوتن كافية لفهم الفيزياء التي تعمل في فيلم ألفونسو كوارون، فيجب علينا أولاً أن نتعرف على النسبية العامة لمتابعة حكاية كريستوفر نولان. وفقاً لهذه النظرية، التي نشرها ألبرت أينشتاين في عام 1915، فإن الزمكان رباعي الأبعاد هو نوع من "نسيج" *tissu* مرن ومطاطي مشوه بواسطة الأجسام الضخمة التي يحتويها هذا النسيج. يولد توزيع الطاقة أيضاً مجال جاذبية لأنه مرتبط بالمادة بواسطة الصيغة الشهيرة $E = MC^2$. في هذا السياق، ما نسميه الجاذبية ليس سوى إظهار تشوهات الزمكان. على العكس من ذلك، تخضع المادة والطاقة لتأثيرات التشوهات التي تولدها الكتل في نسيج الزمكان. تنص النظرية على أن الجسم يتحرك بحرية في هذا الزمكان المنحني ويتبع خط مسار أقصر، يسمى "الجيوديسية". في الزمكان "المسطح"، أي الفارغ من المادة، الجيوديسيا هي خطوط مستقيمة. ولكن في زمكان مشوه، فهي خطوط منحنية، مثل المدارات الإهليلجية للكواكب في وجود الشمس! على عكس الفيزياء الكلاسيكية، يصبح الضوء - الذي تشكله جسيمات عديمة الكتلة تسمى الفوتونات - حساساً لوجود المادة لأنه يجب أن يتبع أيضاً الجيوديسيا في الزمكان. لذلك ينحرف مسارها في محيط جسم ضخم الكتلة. قام أينشتاين بحساب زاوية الانحراف في حالة الشمس: يجب إزاحة الموقع الواضح للنجم الذي يمر عند حدود حوافه بمقدار 1.75 ثانية من القوس (هذه الزاوية الدقيقة تتوافق مع الحجم الظاهري لـ عملة يورو واحدة عند 2.7 كيلومتراً!). لاحظ هذا التأثير لأول مرة خلال كسوف الشمس في 29 مايو 1919. أما اليوم، فإن انحراف الأشعة الضوئية عن طريق المادة حقيقة لا جدال فيها. إنه أصل ظاهرة العدسات الثقالية أو عدسة الجاذبية *lentille gravitationnelle*: صورة المجرة البعيدة مشوهة من خلال مرورها عبر مجموعة من المجرات أقرب. ولكن ماذا يحدث بالقرب من الثقب الأسود؟

السينما بين العلم والخيال العلمي 2-2

أنترستيلار نموذجاً Interstellaire

ما هو الثقب الأسود؟

الثقب الأسود هو بلا شك أشهر كائن في العالم الكوني من بين كافة الأجرام السماوية الكونية، والنجم الحقيقي في فيلم أنترستيلار بين النجوم هو بالتأكيد Gargantua غارغانتوا، الثقب الأسود الوهمي الذي تدور حوله (وبعد ذلك في داخله!) حكاية الفيلم. في النسبية العامة، يتكون الثقب الأسود من منطقة الزمكان المنحنية لدرجة أنه لا شيء، ولا حتى الضوء، يمكن أن يفلت منها. تسمى الحدود غير الملموسة بين هذه المنطقة وبقية الكون بأفق الأحداث. إذا كان الأفق المقيد متعلقاً بالمراقب، فإن الثقب الأسود مطلق ويقسم الأحداث إلى فئتين. خارج الأفق، من الممكن التواصل على مسافات كبيرة بشكل تعسفي بفضل الإشارات الضوئية: هذا هو الكون العادي المرئي الذي نتطور ونعيش فيه. وداخل الأفق، تركز أشعة الضوء بالضرورة نحو المركز ولا يمكنها الهروب. وبعبارة أخرى، لا شيء يمكن أن يحدث في الثقب الأسود يمكن أن يكون له تأثير على الزمكان الخارجي؛ هذا هو مبرر مصطلح "الثقب الأسود". يوجد في مركز حالة تفرد أو "الفردة"، وهي منطقة تميل فيها منحنيات الزمكان إلى ما لا نهاية. تصور الفيزيائي الألماني كارل شوارزشيلد (1873-1916) أبسط ثقب أسود ممكن، والذي نجح في حل معادلات أينشتاين من أجل كتلة كروية بدون دوران. أفق الثقب الأسود لشوارزشيلد عبارة عن مجال يتناسب نصف قطره مع كتلته. بالنسبة لثقب الأسود من نفس كتلة الشمس، فإن هذا يعطي نصف قطر بمقدار 3 كيلومترات فقط، للمقارنة مع نصف القطر الحقيقي لنجمنا الشمس، الذي يساوي 696000 كيلومتر. على مسافات أكبر بكثير من نصف قطر شوارزشيلد، لا يمكن تمييز الزمكان خارج الثقب الأسود عن نجم ذو كتلة مساوية. بعبارة أوضح، استبدال شمسنا بثقب أسود بنفس الكتلة لا يغير شيئاً في مدارات الكواكب. فقط بجوار أفق أحداث الثقب الأسود تظهر الانحناءات والتشوهات الزمكانية المميزة للثقب الأسود.

كان Cygnus X-1 ، الذي تم اكتشافه في عام 1965 ، أول جرم تم تحديده على أنه ربما مظهر من مظاهر الثقب الأسود. إنه نظام ثنائي يتكون من ثقب أسود دوار ونجم عملاق. الآن، تم تحديد حوالي عشرين ثقباً أسود في مجرتنا. أكثرها فرضاً يُدعى القوس A أو ساجيتير - تصل كتلته إلى 4 ملايين الكتلة الشمسية - وتكمن في وسط درب التبانة. وقد ظهر وجودها في عام 2002 من خلال مراقبة مدارات النجوم القريبة من مركز مجرتنا. جاري

في عام 2019، يهدف مشروع تلسكوب رصد أفق الأحداث Event Horizon Telescope إلى إنشاء صور بالقرب من أفق هذا الثقب الأسود المركزي من خلال دمج البيانات من التلسكوبات الراديوية الموزعة على سطح الأرض بأكمله. هل سيرون ما يظهر بين النجوم؟ لا شيء أقل تأكيداً، لكنه قابل للحساب!

مجد غارغانتوا Gargantua:

حتى لو لم يصدر ضوءاً، يمكن اكتشاف الثقب الأسود من خلال تأثيره على البيئة المحيطة به، على سبيل المثال قرص مادة تدور حوله. يسخن بواسطة التسارع الذي يمر به وبفعل الاحتكاك الداخلي الناتج

، يشع القرص. تتأثر مسارات أشعة الضوء بالطبع بشكل كبير بانحناء الزمكان الذي يفرضه الثقب الأسود. يسمح التحليل الرياضي المسبق متبوعًا بالتكامل العددي الذي يتم إجراؤه باستخدام جهاز كمبيوتر بحساب هذه المسارات بدقة من أجل الحصول على صورة لما قد يراه المراقب البعيد. بالنسبة للفيلم، تم حساب صورة غارгантوا Gargantua من قبل فريق من شركة Double Negative ، متخصص في المؤثرات الخاصة وبنصيحة وإشراف العالم الفيزيائي الأمريكي كيب ثورن Kip Thorne ، المتخصص والخبير بالنسبية العامة ، والفائز المشترك بجائزة نوبل للفيزياء في 2017 لعمله على موجات الجاذبية ondes gravitationnelles. على عكس ما يدعي طاقم الفيلم، لم يكن هذا أمراً متميزاً يحدث لأول مرة. ففي عام 1979، نشر عالم الفيزياء الفلكية الفرنسي جان ببيير لومينيت، وهو متخصص أيضاً في الثقوب السوداء، أول صور محاكاة لقرص التنامي disque d'accrétion المحيط بثقب أسود. تبعه زميله جان ألان مارك، الذي أجرى عمليات محاكاة أكثر واقعية في أوائل التسعينات. وقبل بضعة سنوات، قام عالم الفيزياء الفلكية آلان ريزويلو أيضاً بحساب مظهر السماء منظور إليها من مركبة فضائية تحلق في مدار حول ثقب أسود. تكمن صعوبة التمرين في حقيقة أنه للحصول على صورة مفصلة، من الضروري حساب مسار العديد من الأشعات الضوئية. من وجهة النظر هذه، فإن عمل شركة Double Negative أفضل من سابقاته ، لأن الشركة كان لديها أجهزة كمبيوتر قوية.

إن منظر قرص التنامي الذي تم حسابه هو ما يمكن أن يكون رائد الفضاء موجوداً في مستوى القرص (ومن هنا كان تناظر الصورة فيما يتعلق بالمحور الأفقي). على الرغم من صفاته البصرية والجمالية، فإن هذه المحاكاة ليست واقعية لأنها تفترض أن القرص له لمعان سطح موحد. ومع ذلك، في الواقع، يقدم هذا بالضرورة ملف تعريف درجة حرارة ٠، وبالتالي ملف تعريف لمعان، يختلف اختلافاً كبيراً كدالة للمسافة إلى الثقب الأسود. بالإضافة إلى ذلك، تُقدر درجة حرارة قرص التنامي الفعلي بعشرات الملايين من الدرجات، وهو الأمر غير الواضح هنا: في درجات الحرارة هذه، سينخفض الإشعاع المنبعث في نطاق الأشعة السينية، جعله غير مرئي لأعيننا - وضمان الموت السريع لأبطال الفيلم بالإضافة إلى التعقيم الدائم لسطح كوكب ميلر. بالإضافة إلى ذلك، يجب أن يدور القرص حول الثقب الأسود بسرعات قريبة من الضوء، والذي يجب أن يسبب تأثيرات نسبية كبيرة على الضوء الذي يستقبله مراقب بعيد. أولاً، يعدل تأثير دوبلر فيزيو تعديل طيف الضوء المنبعث من المادة: يتحول باتجاه الأزرق على الجانب الذي يقترب فيه القرص من المراقب، باتجاه الأحمر حيث يتحرك بعيداً. ثم، فإن ظاهرة انحراف الزوايا تعدل الاتجاه الظاهري لمصدر الضوء في الإزاحة السريعة مقارنة بالمراقب. هذا يزيد من سطوع مناطق القرص التي تقترب من المراقب ويقلل من سطوع الآخرين. وبالتالي، يجب أن يظهر قرص التنامي لغارгантوا Gargantua أكثر إشراقاً وأزرقاً على الجانب الذي يقترب منه من المراقب، وأحمر داكن جداً على الجانب حيث يتحرك بعيداً عنه. في الفيلم، يظهر قرص التراكم بطريقة "واقعية معتدلة"، دون مراعاة هذه التأثيرات النسبية، بناءً على طلب كريستوفر نولان الذي رأى أن عدم التماثل الناتج عن هذه العوامل سيزعج المتفرج. إذا كان الثقب الأسود يؤثر بشكل كبير على مجال الضوء الذي يحيط به، فإنه يفرض أيضاً قانونه على رواد الفضاء المتهورين بما فيه الكفاية للاقترب منه.

الاقتراب من الوحش:

بالقرب من الثقب الأسود، ستختبر مظهرًا مباشرًا لانحناء الزمكان: قوى المد والجزر. نحن أيضًا نمر بها على سطح الأرض، ويمكننا بسهولة ملاحظة عواقبها الأكثر إثارة: انحراف وتدفق المحيطات. وفي الفيزياء الكلاسيكية، تنجم مظاهر إنحناء الزمكان عن حقيقة أن قوة الجاذبية تعتمد على المسافة إلى الجسم الجاذب. فظاهرة المد والجزر الأرضية مغمورة في مجال الجاذبية القمرية، فإن مناطق الأرض الواقعة تحت القمر تنجذب إليها قليلاً أكثر من تلك الموجودة في الأضداد. في الإطار المرجعي للأرض، يؤدي هذا إلى تمدد المحور في اتجاه القمر والذي يتجلى بشكل أكثر وضوحًا في الكتل المحيطية التي يمكن تشوئها بسهولة. من ناحية أخرى، تميل نقطتان من الأرض محاذيتان على خط مستقيم متعامد مع اتجاه القمر إلى الاقتراب إحداها من الأخرى لأنهما "تقعان" معا نحو مركز قمرنا الصناعي. وبالتالي يتم ضغط الأرض ومحيطاتها أيضًا في الاتجاه المتعامد مع اتجاه القمر.

بالنسبة للثقب الأسود، تنجم قوى المد والجزر عن الاختلافات في انحناء الزمكان ويمكن أن تكون أكثر كثافة من تلك التي مرت بها الأرض. عندما تسقط باتجاه ثقب أسود مع توجيه قدميك نحو الثقب الأسود، ستشعر بالتمدد على طول جسمك والضغط في الاتجاه العمودي. ومن الغريب أن اللحظة التي يصبح فيها التمدد لا يطاق للإنسان، (على سبيل المثال، ما يعادل فرق تسارع قدره 10 جم) هو بغض النظر عن حجم الثقب الأسود: حوالي واحد عشر الثانية قبل الوصول إلى الفردة المركزية. إذا كانت هذه المدة مماثلة لجميع الثقوب السوداء، فهذا يعني أنه سيتم تمزيق الإنسان حرفياً بواسطة قوى المد والجزر لثقب أسود صغير، أصغر من عدد قليل من الكتل الشمسية، قبل أن يصل إلى أفقه، الذي يكون نصف قطره قد تم تجاوزه في جزء من ملي ثانية. من ناحية أخرى، يمكن أن نصل بأفق ثقب أسود يساوي أو أكبر من عشرة آلاف كتلة شمسية، أو حتى استكشاف الجزء الداخلي من ثقب أسود عملاق مائة مليون كتلة شمسية. في الحالة الأخيرة، تصبح قوى المد والجزر في الأفق أضعف من تلك، غير المحسوسة بالفعل، التي يعاني منها جسمنا على سطح الأرض. ومع ذلك، بمجرد عبور الأفق، سيتم التقاطك بشكل فردي من خلال الفردة المركزية ذات الجاذبية اللانهائية وهناك، مهما كانت كتلة الثقب الأسود، تمزيقه قوى المد والجزر التي تميل نحو اللانهائية!

ما هي كتلة الثقب الأسود غارغانتوا في الفيلم؟

إن حقيقة أن الكوكب ميلر يدور حول غارغانتوا دون أن تنكسر بسبب قوى المد والجزر في الثقب الأسود توفر مؤشراً ثميناً لكتلة هذا الأخير. يمكن إظهار أن شدة امتداد المد والجزر تتناسب عكسياً مع مربع كتلة الثقب الأسود. وبعبارة أخرى، كلما كان الثقب الأسود أكثر ضخامة، قلّت قوة المد والجزر المكتف. من ناحية أخرى، فإن جاذبية الكوكب ميلر هي التي تضمن تماسكه، وبالتالي تعارض قوى المد والجزر التي يمر بها. سيتم كسرها فقط من قبل هذا الأخير إذا تجاوزت شدتها كثافة جاذبيتها. هذا ما حدث للمذنب شويماك ليفي Shoemaker-Levy 9 9 ، الذي حطمته قوى المد والجزر في المشتري في يوليو 1992 قبل أن يضرب الكوكب بعد ذلك بعامين. إذا اعتبرنا أن كوكب ميلر لديه كثافة قريبة من كثافة الأرض وأنه يدور على مسافة من ترتيب نصف قطر أفقه، يمكننا حساب أن كتلة غارغانتوا Gargantua لا تقل عن 200 مليون من الكتل الشمسية. تبدو هذه القيمة هائلة، وهي إذا أخذنا في الاعتبار الثقب الأسود "المعتاد" الذي تكون كتلته في مرتبة بضع كتل شمسية. هذا النوع من الثقب الأسود، المسمى بالنجم الفائق، ينتج عن انفجار نجم ضخم للغاية. مع كتلته الشمسية التي تبلغ 4

ملايين، يبدو الثقب الأسود في مركز مجرتنا مثل قزم مقارنة به. من ناحية أخرى، فإن مركز بعض المجرات النشطة، مثل Messier 87، يحمي الثقوب السوداء التي تتجاوز كتلتها ببضعة مليارات من كتل الشمس! من خلال هذا المقياس، فإن غارغانتوا Gargantua يكون بمتوسط جيد فقط. لا تزال هناك مشكلة لم يتم حلها: تم العثور على هذه الثقوب السوداء الهائلة حتى الآن فقط في وسط المجرات ...

احترس من الموجة!

حتى إذا لم ينكسر كوكب ميللر تحت تأثير قوى المد والجزر في غارغانتوا، فإنه لا يزال يجب أن يمر بتمدد على طول المحور الذي يصله بالثقب الأسود (وضغط على المحور المتعامد). ولكن حيث ترتفع المحيطات الأرضية، التي تشوهها قوى المد والجزر والقمر الشمسي، على بعد أمتار قليلة، ترتفع كتلة المحيطات لكوكب ميلر لمسافة كيلومتر أو أكثر! هذا التشوه الضخم يذكرنا بموجة منفردة، دعاها علماء الفيزياء سوليتون soliton. وفي عام 1834، وصفها المهندس الاسكتلندي جون سكوت راسل (1808-1882) لأول مرة: ترتفع لعدة كيلومترات، اتبعت موجة انفرادية تم إنشاؤها في قناة من خلال إرساء مفاجئ لقارب. إذا كان مفاجئًا، فذلك لأنه على عكس الموجات العادية، تتمتع السوليتونات بخصائص رائعة للموقع المكاني وثبات السرعة والحفاظ على الطاقة: فهي تتحرك دون الانتشار في الفضاء ولا تتبدد بمرور الوقت. على الرغم من أن لها أسبابًا مختلفة، إلا أن تجويف المد والجزر وأمواج التسونامي تشكل الكثير من السوليتونات، ويبدو أن "موجة" كوكب ميللر تبدو بشكل شيطاني شبيهة بالسوليتون. بأبعادها المذهلة، نحن مندهشون من أن وصول هذه الموجة المدية لا يصاحبها سحب هائل من الماء حيث يخوض المستكشفون. لاحظ أيضًا أنه نظرًا لوجود مد المحيط، فيجب أن يكون هناك مد قاري: في الواقع، تشوه قشرة الأرض بحوالي 30 سم عندما يكون مد المحيط مرتفعًا. تشوه قوى المد والجزر للأرض سطح القمر بمقدار بضعة أمتار، بينما تشوه قوى المشتري قمرها الصناعي أيو بمائة متر! إن تبديد الطاقة بسبب الاحتكاكات الناتجة عن هذه التشوهات يسبب أيضًا بركانًا نشطًا جدًا من أيو المكان الوحيد، مع الأرض، الذي يحتوي على براكين نشطة. بالنظر إلى قوى المد والجزر التي تم تفعيلها على كوكب ميلر، يجب أن نرى براكين كبيرة تنبثق من سطح المياه ...

تأثير آخر لقوى المد والجزر: مثل القمر أيو، يجب على كوكب ميلر أن يستدير بنفسه بنفس المعدل الذي يسافر فيه حول مداره. وبعبارة أخرى، يجب أن يقدم نفس الوجه دائمًا إلى الثقب الأسود. وينتج هذا التناغم بين الثورة والدوران عن التأثير المثبط لقوى المد والجزر. عندما يدور القمر بشكل أسرع حول نفسه، يتحرك التشوه الناتج عن المد الأرضي بمعدل هذا الدوران، مما يتسبب في حدوث احتكاك في الصخور الداخلية لقمرنا الصناعي، وفي الواقع، تبديد الطاقة يبطل الدوران قمريًا. هذا الكبح سيستمر حتى يختفي سبب الاحتكاك، أي حتى يدور القمر نفسه ببطء كافٍ ليقدم لنا نفس الوجه دائمًا. تحدث نفس الظاهرة على الأرض، حيث يتسبب احتكاك الكتل المائية في قاع المحيط في زيادة فترة دورانها بحوالي 2 ملي ثانية في القرن. يجب أن يحدث نفس الشيء لكوكب ميلر، باستثناء تفصيل واحد: إذا كان دورانها ودورانها متزامنين تمامًا، فيجب أن يكون لوجة وانتفاخات المحيط موقعًا ثابتًا بالنسبة إلى الكوكب، لأنه يدور بمعدل دورة هذا الأخير حول الثقب الأسود، إبقاءً مماثلًا لدورانها على نفسه. ومع ذلك، تشير الشخصيات إلى أن موجة المد تمر تقريبًا مرة واحدة في الساعة. هذا يعني أن دورة ودوران الكوكب لم تتم متزامنتهما تمامًا حتى الآن وأنها يتأرجحان حول موضع متوسط بفترة حوالي ساعة واحدة، من ترتيب المدة التي تفصل مرور الأمواج من المد. نستنتج أيضًا أن كوكب ميللر لم يكن في هذا

المدار لفترة طويلة جدًا لأنه، نظرًا لقوة المد والجزر في غارغانتوا Gargantua ، يجب أن تتم مزامنة الدوران / الدورة بسرعة إلى حد ما.

الانزياح الزمني وتعويض الوقت:

تستند حكاية Interstellaire على موقف مذهل:

انقضاء ساعة على كوكب ميلر تقابلها مدة سبع سنوات إذا كان الشخص بعيدًا جدًا عن هذا الكوكب. هذا التوسيع الهائل للمدد الزمنية هو نتيجة أخرى للنسبية العامة: ساعة موضوعة في مجال الجاذبية الشديدة يتأخر بالنسبة لساعة أخرى، متطابقة، موضوعة في مجال جاذبية أضعف. بتعبير أدق، إذا قمنا بمزامنة ساعتين متطابقتين ثم نقلنا واحدة إلى مجال جاذبية أكثر كثافة قبل إعادته إلى جوار الأول، فسوف نلاحظ أن مؤشره الزمني يتأخر، كلما زادت حدة كثافة مجال الجاذبية الذي تعرض له وبقي هناك لفترة طويلة. تم التحقق التجريبي من هذا التنبؤ في النسبية العامة في عام 1960 من قبل الفيزيائيين الأمريكيين روبرت باوند وجلين ريبكا بمقارنة ترددات انبعاث نوى الذرات المتطابقة الموجودة عند القدم وأعلى برج من جامعة هارفارد، والذي يبلغ ارتفاعه حوالي عشرين مترًا. واليوم، من الضروري أخذ هذا التأثير في الاعتبار حتى تعمل أنظمة تحديد المواقع عبر الأقمار الصناعية GPS بشكل صحيح، حيث أن الفارق الزمني بين الأرض والأقمار الصناعية لكوكبة GPS (النظام العالمي لتحديد المواقع) يدور حول 20000 كيلومترات فوق مستوى سطح البحر 46 مليون جزء من الثانية في اليوم. سيؤدي الفشل في أخذ هذا التأثير في الاعتبار إلى تحول في الموقع أكبر من 13 كيلومترًا في اليوم! لاحظ أيضًا أن الفارق الزمني بين كوكب ميلر والفضاء العميق يجب أن يكون مصحوبًا بتحول هائل نحو الترددات المنخفضة للموجات اللاسلكية المنبعثة من منارة الاستغاثة الموجودة على الكوكب، عندما يتم استقبالها على الأرض.. يمكن فهم هذا التحول، الذي يشبه تأثير دوبلر النسبي الذي سبق ذكره، على أنه فقدان للطاقة من الضوء للخروج من "بئر الجاذبية" الذي فرضه الثقب الأسود. ومن المشكوك فيه أن العالم الاستثنائي للفيلم لم يدرك ذلك ، ومن وجهة النظر هذه ، فإن دهشتنا لاكتشاف أن هذه المنارة في مجال الجاذبية الشديدة ليست ذات مصداقية. كان ينبغي أن يكون قياس تغير التردد الملاحظ قد مكن القائمين على الفيلم من تحديد شدة مجال الجاذبية التي ينغمس فيها الكوكب.

إذا كان تأثير التوسيع الزمني بين كوكب ميلر والمركبة الفضائية أندورونس Endurance، التي تدور حول مسافة جيدة، حقيقيًا، فهل يمكننا بعد ذلك استنتاج المسافة التي تفصله عن الثقب الأسود؟ الجواب نعم! ومع ذلك، فإن المشكلة هي أنه إذا كان غارغانتوا Gargantua عبارة عن ثقب أسود وفق تصور سفارزشيلد Schwarzschild، فيجب أن يكون الكوكب ميلر Miller قريبًا جدًا من أفقه، وهو قريب جدًا جدًا: جزء من جزء من المليار من نصف قطر أفقه، والذي يقابل مائة متر بالنسبة لكتلة غارغانتوا. من الواضح أن هذا ليس هو الحال في الفيلم. ولشرح التوسع الاستثنائي لمدد الزمنية التي تعرض لها وعانى منها رواد الفضاء البشر على كوكب ميلر، من الضروري للغاية أن يكون الثقب الأسود Gargantua في حالة دوران، ويجب أن يكون دورانًا سريعًا إلى حد ما.

زوبعة كونية:

تكفي ثلاث إعدادات أو معالم لوصف الثقب الأسود الأكثر شيوعًا: كتلته وزخمه الزاوي - مقياس لدورانه - وشحنه الكهربائي (التي سننساها هنا). إذا كان حل سفارزشيلد Schwarzschild هو

الأبسط، فذلك لأنه يتوافق مع ثقب أسود بدون دوران وبدون شحنة كهربائية. لكن، مثل النجم أو المجرة، يمكن للثقب الأسود أن ينقلب على نفسه، والحل المقابل لمعادلات آينشتاين يرجع إلى عالم الرياضيات النيوزيلندي روي كير Roy Kerr. من غير المستغرب أن الثقب الأسود الدوار لا يتصرف على الإطلاق مثل قمة الغزل *une toupie*، لأنه يسحب الزمكان معه في دورانه! فبالقرب من هذا المكان، فإن الزمان يتأثر بشكل لا يقاوم من خلال حركة الدوران، وهو يشبه إلى حد ما الدوامة التي تحدث عندما يتم تصريف حوض الاستحمام. في هذه الحالة، يتبع الماء حركة حلزونية تتحلل في حركة دائرية، حول القابس *la bonde*، وحركة شعاعية للسقوط نحو القابس. دعونا نتخيل أن زورقا بمحرك يقترب من الدوامة، حيث لا يسمح محركه بتجاوز 20 كيلومترا في الساعة مقارنة بالمياه. بعيداً عن الزوبعة، حيث لا يزال الماء هادئاً إلى حد ما، من الواضح أن الملاح يمكنه التنقل حسب الرغبة لأنه بفضل المحرك، يعوض بسهولة عن الحركة البطيئة جداً للمياه. وبالتالي يمكن للملاح الحفاظ على قاربه ثابتاً بالنسبة إلى الشاطئ من خلال العمل على محركه، دون الحاجة إلى إسقاط المرساة، يمكنه الاقتراب أو الابتعاد قليلاً عن الزوبعة أو حتى التنقل ضد التيار. يقترب من مركز الدوامة، يصل في النهاية إلى منطقة تكون فيها السرعة الدائرية للتيار مساوية للسرعة القصوى للقارب. أقرب من هذه المسافة الحرجة، لم يعد القارب قادراً على الاحتفاظ بموقف ثابت، حتى عندما يعمل المحرك بأقصى سرعة ضد حركة الماء: يتم دفعه بشكل لا يقاوم في اتجاه دوران الدوامة. تم تقليل إمكانيات المناورة الخاصة به، حيث لم تعد الاتجاهات المحتملة للملاحة موجودة: لم يكن أمام القارب خيار سوى التوجه في اتجاه الدوامة، أو سيتحطم ويتكسر ضمن محيط محدد كلما زاد محدود الدوامة. يمكن للملاح الخروج بذكاء من هذا الموقف المخرج من خلال توجيه مساره بشكل صحيح في دوامة صادرة: يجب عليك دائماً الابتعاد عن المركز. إذا غامر القارب بالقرب من مركز الدوامة، فهناك أيضاً نقطة عندما تصل السرعة الشعاعية للتيار بدوره إلى 20 كيلومتراً في الساعة، وهو الحد الأقصى للسرعة للقارب. هذا هو المكان الذي تبدأ فيه المشكلة الحقيقية: يتم تقليل إمكانيات التنقل بحيث لا يكون أمام القارب خيار آخر سوى حمله نحو فم الزوبعة، حيث سيتم تمزيقه.

في ثقب أسود دوار، فإن الوضع مشابه. أن تخضع السفينة أو المربة الفضائية المقتربة أيضاً لجر الزمكان الذي يفرضه دوران الثقب الأسود: فهي تكتسب حركة دورانية ويميل مسارها إلى الدوران في اتجاه دوران الثقب الأسود. تصبح هذه الحركة حتمية داخل منطقة تسمى "الحد الساكن"، على شكل بيضاوي من دورة محاورها الصغيرة تكون بمحاذاة مع محور دوران الثقب الأسود. في هذه المنطقة، لم تعد المركبة الفضائية ثابتة بالنسبة للنجوم البعيدة، حتى لو وصلت سرعتها إلى حدود سرعة الضوء! فالقرب الشديد من الثقب الأسود، نجد أفق الأحداث، الحدود الحقيقية للثقب الأسود، يوجد الحيز الحد الذي لا يستطيع أي شيء الهروب منه. هذا الأفق كروي ومضمن بالكامل داخل الحد الثابت، لنلاحظ أخيراً، أن ذلك الثقب الأسود لا يمكنه الدوران على نفسه بالسرعة التي نبتغيها. هناك حد تتجاوز سرعة دورانه سرعة الضوء. في تلك اللحظة، يقال في اللغة النيوتونية أنه على سطح الثقب الأسود توجد "أقصى" قوة طرد مركزي تعوض الجذب الثقالي.

كما يمكنك أن تتخيل، فإن المدارات حول ثقب كير Kerr الأسود معقدة: فهي بشكل عام تأخذ شكل منحنيات ثلاثية الأبعاد محصورة في حجم محدود. نوضح أن المدارات المستوية والدائرية موجودة بالضرورة في المستوى الاستوائي للثقب الأسود، وأنه بالنسبة لنصف قطر معين، يُصرح بمدارين فقط. يتحول الأول في اتجاه دوران الثقب الأسود، بينما يذهب الآخر في الاتجاه المعاكس بفترة أقصر من

الفترة السابقة. أين يمكن أن يكون كوكب ميلر؟ للحصول على أكبر توسيع ممكن للمدد الزمنية، يجب أن يدور أقرب ما يمكن من الثقب الأسود، وهذا يعني آخر مدار دائري مستقر، وهو مدار يقع تحته المادة حتمًا في قلب الثقب الأسود. يعتمد موقع هذا المدار على الكتلة والزخم الزاوي للثقب الأسود، ولكن أيضًا على الطاقة والزخم الزاوي المنسوب إلى الكوكب. هذا ما تقوله النظرية، لأن الفيلم يظهر بوضوح أن كوكب ميلر يقع فوق قرص التنامي قليلاً (خارج المستوى الاستوائي، بالتالي)، وراء الحافة الخارجية، في الواقع، يجب وضعه بالقرب من الحافة الداخلية للقرص لأن نصف قطر هذا يساوي بالضرورة نطاق المدار المستقر الأخير حيث أن هذا هو المكان الذي تسقط فيه المادة نحو الثقب الأسود. يمكن للمرء أن يتصور أن هذه التعديلات كانت تسترشد بالضرورات الجمالية. من خلال وضع الكوكب ميلر على آخر مدار ثابت، يتطلب الحصول على المدة المطلوبة (ساعة واحدة لمدة 7 سنوات) وأن يقوم الثقب الأسود غارغانتوا Gargantua بتدوير نفسه حول نفسه بنفسه بالسرعة القصوى المسموح بها تقريباً، والأفضل أن تكون 10^{14} بدقة أكبر. وبعبارة أخرى، فإنه يدور حقاً بسرعة كبيرة.

الغوص في المعزوفة:

في الفيلم، البروفيسور براند، هو بلا شك انعكاس لشخصية المستشار العلمي للفيلم كيب ثورن، يحاول بناء نظرية فيزيائية جديدة قادرة على تفسير جميع التفاعلات الأساسية الجوهرية، والجاذبية أو الثقالة، والتفاعلات على المستوى المجهرى. يشرح الأستاذ أن تطوير "نظرية كل شيء" هذه يمكن أن يغير مصير البشرية من خلال تمكيننا من إرسال سفن ضخمة إلى الفضاء قادرة على إنقاذ البشرية. إذا تناسينا سذاجة مثل هذا الادعاء، فمن المثير للاهتمام أن نتساءل عما إذا كانت المعادلات التي تظهر بشكل سريع على السبورات الهائلة في مكتبه لها أي معنى للعالم الفيزيائي الحقيقي.

في اللوحة الأولى، يمثل الرسم كوننا كسطح (غصننا 0 أو البران صفر الخاص بنا) محصوراً بين اثنين آخرين (حصر الغصن 1 confining brane، وحصر الغصن 2 confining brane) يقع في بعد "عمودي" بالنسبة لنا. يوضح هذا بوضوح أن البروفيسور براند يبني نظريته في مساحة فائقة - الجزء الأكبر - لها أبعاد أكثر من كوننا. في عام 1999، اقترح الفيزيائيان الأمريكيان ليزا راندال Lisa Randall ورامان ساندروم Raman Sundrum نموذجاً بموجبه يكون كوننا مجرد مجموعة فرعية من هيكلية كونية لها أبعاد أكثر. يتم وصف هذا الحجم الضخم bulk والكتلة الكونية المهولة من خلال مساحة ذات 5 أبعاد تسمى "مضاد دي سيتر anti de sitter" (لاحظ AdS على اللوحة في الفيلم). كان دافع راندال وساندروم هو تفسير ضعف الثقالة أو الجاذبية مقابل التفاعلات الأخرى والقوى الجوهرية الكونية الأخرى: فعلى مقياس مجهرى أو النطاق ما دون الذري، تكون الجاذبية بين البروتون والإلكترون ذرة الهيدروجين أضعف بـ 10^{39} مرة من القوة الكهربائية التي تربطهم. تخيل بعد ذلك أن كوننا ثلاثي الأبعاد مغمور في مساحة ذات بعد مكاني إضافي ولذلك تبقى جميع التفاعلات، باستثناء الجاذبية، محصورة في الأبعاد الثلاثة التي نعرفها. كونها قادرة على التعبير عن نفسها في جميع الأبعاد، يبدو أن الجاذبية، بالنسبة لنا كمرقبين ثلاثي الأبعاد، ضحية "التسريبات" التي تترجم ضعف الجاذبية الظاهر عندما نختبرها في الأبعاد العادية الثلاثة.

تؤكد الصيغة المخيفة في الجدول الثاني هذا التفسير. وتعتبر عن "العمل الفعال" لنظرية البروفيسور براند. في الفيزياء، العمل عبارة عن كمية فيزيائية عديدة يكون بعدها منتج الطاقة في الزمن. ترجع أهميتها إلى مبدأ عام للغاية يسمى مبدأ العمل الأقل principe de moindre action: المسار الذي

يتبعه بالفعل كائن بين نقطتين معينتين هو الذي يؤدي إلى تطرف في العمل (سنجد هذا المبدأ في فيلم الاتصال الأول). وهكذا، في الميكانيكا، بدلاً من التفكير في المسار الناتج عن التسارع الذي تنتجه القوى، نتخيله على أنه المنحنى الذي يحسن الفعل. أثبت هذا المبدأ من العمل الأقل بسيطاً وقويًا وعمامًا ليس فقط في الميكانيكا الكلاسيكية، حيث أنه يعادل تمامًا قوانين نيوتن، ولكن أيضًا في الكهرومغناطيسية وفي ميكانيكا الكموم أو الكوانتوم أو النسبية، حيث كان تعميمها ناجحًا جدًا "إنه أساس كل الفيزياء النظرية الحديثة. المصطلحان g_5 و x_5d الموجودان في معادلة براند يشيران إلى أن نظريته مصاغة بشكل جيد في فضاء ذي 5 أبعاد: واحد من الزمن وأربعة من المكان. تكمن المشكلة في أنه تم إثبات أن "شظيرة AdS5" غير مستقرة لأن القائمتين اللتين تحصراننا موجودة تحت الضغط. في معادلته، تحاول العالم براند كتابة إجراء فعال يمكنه أن يحل هذه المشكلة: فهو يحتوي على مصطلحات مرتبطة بكل غشاء أو بران (مرقمة 0 و 1 و 2) ومصطلح مرتبط بالكتلة الكونية الضخمة $bulk$ يفترض أن يضمن استقرار المجموع. سعي البروفيسور هو، توحيد النسبية العامة وميكانيكا الكموم، لم يتم حله حتى اليوم ولم ينجح أحد لغاية اليوم إيجابا النظرية الموحدة نظرية كل شيء. هناك عدة مناهج ونظريات ومقاربات مختلفة للمشكلة، مثل جاذبية الحلقة الكمومية أو الثقالة الكمومية الحلقية أو العروية $la\ gravité\ quantique\ à\ boucles$ ، ونظرية الأوتار $la\ théorie\ des\ cordes$ أو الهندسة غير التبادلية $la\ géométrie\ non\ commutative$ ، وهي موضوع بحث مكثف قيد التقدم.

يتطرق فيلم بين النجوم $Interstellaire$ بطريقة أخرى أكثر صورية ووضوحًا لمسائل نشوء أبعاد مكانية إضافية. في نهاية الفيلم، يدخل البطل، كوبر، إلى الثقب الأسود غارغانتوا $Gargantua$. ثم يجد نفسه في زمان غريب اسمه "Tesseract" أو المعزوفة وهو نوع من المصفوفة. وفي الهندسة، فإن $tesseract$ عبارة عن كائن رباعي الأبعاد $quadridimensionnel$ وهو بالنسبة للمكعب كما المكعب بالنسبة إلى المربع والمربع بالنسبة إلى مقطع من الخط المستقيم. مثلما يتكون سطح المكعب من ستة وجوه مربعة، فإن السطح الفائق الذي يحدد قطعة من الفراغ يتكون من ثماني خلايا مكعبة. في الفيلم، هذا الهيكل الهندسي هو في الواقع ممر يسمح لكوبر بالانتقال من الفرازة المركزية للثقب الأسود إلى الجزء الأكبر أو $bulk$ من الأبعاد الخمسة. ثم يجد نفسه خارج غشائنا $notre\ brane$ ، ومن هناك يصبح قادرًا على إدراك الزمن كبعد مادي. لهذا السبب فهو ما أن يكون في $tesseract$ فإن كوبر يستطيع يرى غرفة ابنته مورفي، المساعدة المستقبلية للبروفيسور براند، متضاعفة إلى ما لا نهاية ولكن مع أطر زمنية مختلفة. ومن ثم يمكنه التواصل معها عبر الزمن باستخدام إشارات ثقالية في الجاذبية، موفرًا لها البيانات التي تحتاجها لحل معادلة البروفيسور براند.

من خلال خصائصه الرائعة، يظهر التيسيراكت $tesseract$ في العديد من الإنتاجات السينمائية الأخرى. كما في مكعب 2 المكعب الفائق، من إخراج أندريه سيكيولا سنة 2003 $Cube\ 2$ (Andrzej Sekula)، يتم حبس ثمانية أشخاص في قطعة صغيرة تظهر كشبكة من المكعبات المتصلة، والتي يغير بعضها مسار الزمن. في وقت مبكر من عام 1941 و في قصته القصيرة بيت بيسكورنو "La Maison biscornue"، وصف روبرت أ. هينلين منزلًا تم بناؤه وفقًا للنمط ثلاثي الأبعاد للتيسيراكت. إنه نفس النمط الذي استخدمه سلفادور دالي في لوحته عام 1954 "الصلب (Corpus Hyper-cubus)" مما يوحي بأنه، تمامًا كما يمكن أن يكون الله موجودًا في أبعاد غير مفهومة بالنسبة لنا، توجد $tesseract$ في مساحة رباعية الأبعاد لا يمكن الوصول إليها من قبل العقل البشري.

يتطلب الفهم الشامل لمعظم الظواهر الموصوفة في فيلم بين النجوم Interstellaire معرفة النسبية العامة وميكانيكا الكموم الكوانتوم ولمسة من نظرية الأوتار. نادرة هي تلك الأفلام التي وضعت جزء من الفيزياء الحديثة في المقدمة ودفعتها إلى الأمام أثناء محاولتها الجمع بين القصة أو الحكاية السينمائية القوية والمتماسكة والدقة العلمية. في نهاية المطاف، يتبين أن فيلم Interstellaire هو فيلم ناجح بصريًا، لكنه يبقى عملاً من أعمال الخيال العلمي حيث تكون الحرية الفنية والاستقراء العلمي جزءًا من اللعبة. إذا لم يكن لطول الفيلم تأثيرًا على التوسع الزمني وإن بعض الجوانب في ديباجته غير قابلة للتصديق، إلا أن أهمية أنترستيلر Interstellaire تكمن في مكان آخر. من خلال دعوة المتفرجين للتشكيك في مسألة الزمن وإدراكه وطبيعته النسبية، فإنه يتمتع بفضيلة تعليمية وتربوية قيمة ويقع فيما أطلق عليه في عام 1909 موريس رينارد "الروعة العلمية"، أي أن "مغامرة العلم تدفع إلى الأعجوبة أو أعجوبة تم التفكير فيها علمياً".

ملاحظات:

(1). العواصف الترابية التي نراها في بداية أنترستيلر Interstellaire كانت على غرار ما هو معروض في Dust Bowl ، وهي كارثة بيئية من أصل إنساني أثرت على منطقة Great Plains في الولايات المتحدة في ثلاثينيات القرن الماضي. الشهادات التي نراها هناك حقيقية ومقطعات من الفيلم الوثائقي Dust Bowl لكن بيرنز.

(2) لفيلمه ، سعى كريستوفر نولان إلى نصيحة عالم فيزيائي أمريكي هو كيب ثورن ، متخصص في النسبية العامة ومخترع مفهوم الثقب الدودي.

(3). Florilège: نحن لا نقوم باستزراع أحادي للذرة عندما نكون في حاجة ماسة إلى الماء ؛ نحن لا نقود سيارة دفع رباعي كبيرة عندما يفتقر أو يندر الوقود أيضًا ؛ نحن لا ننطلق من كوكب تزيد جاذبيته 1.3 مرة على متن مكوك بسيط عندما أخذ صاروخًا كبيرًا جدًا لمغادرة الأرض ؛ لا ، لا توجد غيوم جليدية ؛ نحن لا نلعب قاعدة بالي في محطة مدارية دوارة ، لأن الكرة لن تسير بشكل مستقيم ، وخاصة إذا رأينا زحل عبر النافذة ؛ لا يمكن أن يتحرك الروبوت المترابط من خلال التدرج عليه- حتى ؛ إلخ.

(4). t: اتساع التشوه يجعل من الممكن تقدير كتلة مجموعة المجرات المنحرفة، والتي اتضح أنها أكبر من الكتلة المحددة من لمعانها، هذا الاختلاف ينم عن وجود "مادة مظلمة" ، قدرة على التآلق دون لمعان.

(5) إن قوى المد والجزر بسبب الشمس ليست مهمة:

تحسب فقط بمقدار نصف قوة القمر.

(6). يبدو أن مسألة الزمن تهم كريستوفر نولان، الذي تعامل معها في فيلمين آخرين هما ، Memento 2000 و Inception 2010.

(7) بفضل الساعات الذرية فائقة الدقة، نعرف الآن كيفية تسليط الضوء على هذا التحول الزمني في اختلافات الارتفاع في ترتيب المتر الواحد ...

(8). والعكس صحيح: تردد الإشارات المرسل إلى الكوكب يتجه نحو الترددات العالية.

(9) فقط على مسافة لا حصر لها يتوقف الزمان عن الدوران ويمكن أن تعزى سرعة الدوران إلى أفق الثقب الأسود. وقد لوحظ تأثير التموج الزمني هذا بفضل القمر الصناعي Gravity Probe B الذي كان قادرًا على قياس التدريب الضعيف جدًا لطائرتة المدارية بسبب دوران الأرض.

(10) هناك أفق ثانٍ يسمى الأفق الداخلي، وداخله نجد الفردة المركزية، على عكس الثقب الأسود شوارزشيلد، ليست دقيقة ولكن حلقية.

(11) يعتمد نصف قطر آخر مدار ثابت أيضًا على اتجاه السفر: نصف قطر المدار الذي يدور في الاتجاه المعاكس للثقب الأسود أقل من دورة مدار يدور في نفس الاتجاه. حيث أفترض أن كوكب ميلر يدور في نفس اتجاه الثقب الأسود.





