

**ملخص**

يقدم هذا البحث نتائج الدراسة النظرية حول ما إذا كان الثقب الأسود أسوداً فعلاً أم لا وتقديم صور رياضية واضحة حول هذا الإشعاع مع الأخذ بعين الاعتبار الظروف المحيطة مثل حالة الزمكان حول الثقب الأسود وعوامل داخلية مثل حرارة الثقب الأسود وانتروبيته.

تقديم : لوميير مهاجر

بإشراف المدرس :محمود نوح

بتاريخ :2015-2016

**إشعاع هوكينغ**

**Hawking radiation**

المركز الوطني للمتميزين

The National Centre for the Distinguished

**مخطط البحث:**

|  |
| --- |
| -اشكالية البحث |
| -مقدمة:من أين أتى مفهوم اشعاع هوكينغ؟ |
| -صيغة هوكينغ للإصدار  The hawking radiation |
| -الصورة الرياضية لقوانين ثقوب شوارزشيلد على (4+n)بعد |
| -العلاقات الرياضية لاشعاع هوكينغ في الثقوب الدوارة |
| -الخاتمة |

# اشكالية البحث:

هل فعلاً الثقوب السوداء سوداء فعلاً؟

لو لم تكن سوداء ماذا ستكون؟

هل ينطبق عليها ما نتخيله ....و ان لم تكن سوداء فهل سنستطيع رؤيتها؟

إن هذا هو منطلق البحث ونأمل أن نحصل على الاجابات المقنعة في الختام....

# مقدمة:من أين أتى مفهوم اشعاع هوكينغ؟

إن ستيفن هوكينغ قد حل مشكلة "العجز المطلق" لمادة الثقب الأسود من غير أن يخرق قانون "حفظ المادة" وهذا الحل قد سمي اشعاع هوكينغ

وعكس الفيزياء التقليدية فإن ميكانيكا الكم لا تفترض أن الفراغ "فراغ لا يحتوي على شيء" وإنما هو حالة معقدة يصعب تفسيرها .إلا أنه في حالة تغير مستمر أو ما نستطيع تسميته بالتأرجح حيث يظهر فجأة جسيم ونقيض الجسيم طبقا لمبدأ عدم التأكد ل هايزينبيرغ لفترة زمنية قصيرة جداً جداً ثم يختفيان. كما يشكل أفق الحدث للثقب الأسود منطقة يحدث فيها إنتاج زوجي لجسيمات افتراضية واختفائها كثيرا. تنشأ فجأة تلك الجسيمات المزدوجة الافتراضية وتكون طاقة جسيم موجبة أما الآخر فتكون طاقته سالبة. ونظرا لكون شدة الجاذبية للثقب الأسود كبيرة جداً فمن الممكن أن تحتوي على جسيمات حقيقية ذات طاقة سالبة. وعلى ذلك فمن الممكن أن يسقط جسيم افتراضي ذو طاقة سالبة في الثقب الأسود ويصبح فيه جسيما حقيقيا أو نقيض جسيم حقيقي. تؤدي تلك الحالة إلى انفصال الجسيم عن نقيضه عند أفق الحدث قبل أن يفني كل منهما الآخر. ويسقط أحدهما في الثقب الأسود بينما ينفلت الجسيم الآخر كجسيم حقيقي في الفضاء وقد يترك نطاق الثقب الأسود. ويفقد الجسيم الحقيقي الساقط في الثقب الأسود طاقة الوضع وهي تكون كافية لتوليد ازدواج جديد وكافية لإطلاق الجسيم الآخر لكي يغادر حقل الجاذبية للثقب الأسود.

طبقا لمعادلة أينشتاين لتكافؤ الطاقة والمادةE= mc²) حيث E الطاقة، وm كتلة المادة وc سرعة الضوء في الفراغ) فتكون الطاقة متناسبة طرديا مع الكتلة. فإذا اكتسب الثقب الأسود طاقة سالبة فيفقد بسبب ذلك جزءا من كتلته. وتشكل الجسيمات الحقيقية التي تهرب من الثقب الأسود ما يسمى بإشعاع هوكينغ. ونظرا لأن هذا لافتراض يمكن أن ينطبق أيضا على الفوتونات فيمكن أن يحتوي اشعاع هوكينغ على طيف مستمر من موجات كهرومغناطيسية مختلفة في أطوال موجاتها.

ونظرا لأن انحناء الزمكان يكون شديدا بالقرب من الثقب الأسود فإن اهتزازات الفراغ هناك تكون شديدة أيضا، وتكون تلك ظاهرة مهمة بالنسبة إلى الثقوب السوداء القليلة الكتلة نسبيا . أو الثقوب السوداء التي أبعادها صغيرة نسبياً\_حد شوارتزشيلد\_، ويكون أفق الحدث لها وكذلك الزمكان المحيط بها شديدي الانحناء. أي أنه كلما زادت كتلة الثقب الأسود كلما قل ما يخرج منه من أشعة. وكلما قلت كتلة الثقب الأسود كلما كان معدل تبخره سريعا.

# صيغة هوكينغ للإصدار

من أجل مترية كير نيومان (التي تعد مقاربة رياضية فريدة للثقوب السوداء الثابتة في نظرية أينشتاين ماكسويل)

قليلة هي الصيغ التي يمكن أن توضح حيث أن السطح A وجاذبية السطح K والسرعة الزاوية وامكانية التشتت الكهربائي أما عن الكميات المصونة العيانية فإننا نرمز للكتلة M والعزم الزاوي والشحنة الكهربائية مستخدمين الرمز للدلالة على استخدام الاحداثيات الشعاعية r في أفق الحدث كمعلم وسيطي فتصبح المعادلات بالشكل

حيث أن و كما أنه في هذه الاحداثيات يكون للزمن والطول والكتلة والشحنة نفس الواحدة أما العزم مثلاً يكون له مربع هذه الواحدة

أما بالنسبة لثقب أسود غير مشحون لا يدور (نأخذ بعين الاعتبار مترية شوارتزشيلد) يكون

*ومنه يكون*

*معادلة هوكينغ للإصدار للثقب الأسود ضمن الحقول الحرة التي تعطي العدد المتوقع من الجزيئات من نوع معين مع شحنتها المطروحة على شكل موجة معينة بالتواتر أو الطاقة والتوافق الشبه الدائري والعدد الكمومي المحوري والعزم الزاوي* m *والاستقطاب* p

*حيث أن الإشارة السالبة هي للبوزونات أما الإشارة الموجبة هي للفرميونات و هي عبارة عن امكانية الامتصاص لموجة قادمة وبشكل أكثر دقة يمكننا القول أن هي عبارة عن نفي الطاقة الجزئية المكتسبة من تشتت موجة كلاسيكية مع مجموعة شعاعية داخلية وحيدة في أفق الحدث لذلك الثقب الأسود*

*كما أن موجب لجميع الأمواج ذات النمط الفرميوني والبوزونات التي تحقق والتي هي على الأقل ممتصة جزئياً من قبل الثقب الأسود لكنه سالب لبعض الأمواج ذات النمط البوزوني التي تضخم من قبل الثقب*

*والجدير بالذكر أن* يستحيل أن يكون سالباً *لأن عامل بلانك الحراري سالب للأمواج ذات النمط البوزوني كما أن لا يتباعد أبداً على الرغم من أن ثابت بلانك الحراري( ) يتناهى إلى الصفر لكن يسعى معه إلى الصفر في هذه الحالة أيضاً مما يجعل محدودة*

*إن مصفوفة الكثافة لإشعاع هوكينغ \_للحقول الحرة هي الناتج التنسوري (التنسور عبارة عن موتر تفاضلي) الغير مترابط لمترية الكثافة الحرارية لكل نوع مع تواتر محدد وعزم زاوي وشحنة، كما أن مترية الكثافة الحرارية لكل نمط هي قطرية في الأساس الرقمي مع احتمالية* n جزيئة *في النمط*

*والجدير بالذكر أن النمط المتوقع للجزيئات هو نمط ذو جزيئة أي في هذه المعادلة [[1]](#footnote-1)*

*وكما أن* n *يمكن أن تكون أي عدد صحيح غير سالب للبوزونات \_الإشارة العلوية \_ لكنها تنحصر على الصفر والواحد بالنسبة للفريميونات\_إلاشارة السفلية\_*

*وتحسب انتروبية فون نيومان لمصفوفة الكثافة الحرارية لكل نمط بالعلاقة*

*فلنعتبر أن الضياع المتوقع للطاقة، العزم الزاوي، الشحنة للثقب من إصدار N جزيء في النمط هي*

*يكون التغير المتوقع في انتروبية الثقب الأسود من هذا النمط من الإصدار هو*

*وهنا يكون التغير الكلي في إلانتروبية هو مجموع التغيرات في إلانتروبية أي*

*إن إصدار هوكينغ من الثقب الأسود إلى فضاء فارغ يتبع للقانون الثاني في الترموديناميك وفي الحقيقة تنتج الانتروبية من كل الأنواع التي يكون فيها الإصدار (إصدار هوكينغ) لا يساوي الصفر ولما كان إلاصدار من الثقب الأسود ذو درجة حرارة لفضاء خال ذو فهو تقدم أو تفاعل خارج عن التوازن*

*والجدير بالذكر أن كون لا يعتمد فقط على عامل بلانك بل وأيضاً على كما أن الحرارة الفعالة تتغير من نمط إلى نمط ولعل أفضل طريقة لتحديدها هي من علاقة عامل بولتزمان*

*ولما كانت هذا يعطي*

*عندما (كما في مترية شوارتزشيلد) يصبح عامل بلانك*

*عندما وبالتالي إن الموجة الكلاسيكية سيتم امتصاصها بالكامل من قبل الثقب الأسود ومنه يكون وغالباً ما تعتمد الحرارة على نمط الثقب الأسود*

*فمثلاً عندماعندها عموماً يكون و التي [[2]](#footnote-2)لديها عزم زاوي كبير بالمقارنة مع طاقتها وبالتالي هي بالمعظم تفتقد إلى الثقب الأسود وتمتلك إمكانية امتصاص ضئيلة* والحرارة الفعالة هي أقل بكثير من حرارة الثقب الأسود

ومن ناحية أخرى هناك الشديدة القرب من الثقوب السوداء حيث و وما تم ذكره هو عبارة عن قيمة شوارتزشيلد ومن أجل الأنماط التي فيها (كما في البوزونات التي لديها ومن أجل الفرميونات التي لديها )

لكن عندما تكون هذه هي الحالة حيث يكون لها تأثير مهمل وتصبح معادلة هوكينغ للإصدار تقريباً بالشكل حيث أن عامل التضخيم هنا *والجدير بالذكر أن أول اكتشاف للإصدار التلقائي كان على يد زيلدوفيش*

تدل على *طاقة الثقب، والعزم الزاوي، والشحنة ومن انحفاظ الطاقة ملاحظات على المعادلات السابقة حيث*

*الكلية والعزم الزاوي والشحنة فالثقب الأسود يخسر هذه الكميات بسرعة السرعات التي اكتسبهم بها الإشعاع*

*لكن هذا لا ينطبق على إلانتروبية الكلية والتي بشكل عام ترتفع وكما لاحظنا أن انتروبية ثقب أسود تتغير بالنسبة للسرعة*

*وتصبح إلانتروبية الكلية*

:

## الخلفية الجاذبية حول ثقب شوارزشيلد الأسود العديم الدوران والشحنة ب((4+nبعد

إن العنصر الخطي يعطى بالعلاقة

حيث

وكما أن القسم الزاوي يعطى بالعلاقة

في العلاقة السابقة *و*  *من أجل باستخدام شيء مشابه يقترب من حسابات شوارزشيلد الرباعيات الأبعاد الاعتيادية عبر تطبيق قانون غاوص في الزمكان ذو*(4+n) *بعد .نتبع نصف قطر الأفق الآتي*

حيث هي كتلة الثقب الأسود و الجدير بالذكر أن الثقوب السوداء المدروسة في هذه الحالة تملك نصف قطر يحقق العلاقة

إن توتر الغشاء لهذا الثقب الأسود مفروض على أنه أصغر بكثير من كتلة الثقب الأسود ولهذا يمكن اهماله في دراستنا

إن الثقب الأسود المحدد بأفق حدثه الذي نصف قطره يرتبط مع حرارة الثقب الأسود بالعلاقة

*إن العلاقة السابقة توضح بشكل تقريبي إشعاع الجسم الأسود ككل وإن الطيف المرافق \_عدد الجسيمات المطروحة بوحدة الزمن[[3]](#footnote-3)*

وحيث تكون الطاقة المطروحة بوحدة الزمن تعطى بالعلاقة:

في المعادلات السابقة إن s هو سبين درجة الحرية وL هو عدد العزم الزاوي الكوانتي وإن معامل الإحصائية السبيني هو+1 للفرميونات و -1 للبوزونات .بالنسبة للجسيمات المعدومة الكتلة نعتبر أماعنغهو يسمى بمعامل الجسم الرمادي والذي يعطي معلومات عن بنية الزمكان حول الثقب الأسود وقيمته يمكن أن تحدد عن طريق حل المعادلة المتعلقة بالحركة بدرجة حرية معينة في الخلفية المذكورة سابقاً وحساب عامل الامتصاص الموافق[[4]](#footnote-4)

بينما يستمر الهبوط تنخفض كتلة الثقب الأسود وتزداد حرارته ويفترض من وجهة نظر شبه ثابتة أن الهبوط صحيح بمعنى آخر:أن الثقب الأسود يصل للتوازن عند كل درجة حرارة جديدة قبل إطراح الجسيم التالي.

والجدير بالذكر أن المعادلات السابقة تعتمد على درجة الحرية في الحركة وليست من أجل الجسيمات العنصرية مثل الالكترون أو الكوارك والتي تحتوي أكثر من استقطاب وحيد

وبجمع درجات الحرية الضرورية و التدفق الموافق أو الطيف الطاقي يكون عدد الجزيئات العنصرية المطروحة والطاقة التي تحملها سهل الحساب

إن المعادلات السابقة مخصصة لتعميم قوانين ثقب شوارزشيلد الأسود على(4+n)إلا أن ثقب شوارزشيلد عديم الدوران والشحنة فإن كان الثقب الذي ندرسه يدور...فهل ستتغير المعادلات المنطبقة عليه ؟

**الصيغ الرياضية في حالة الدوران :**

أولاً سنأخذ الحالة الأبسط وتحديداً ثقب BTZ الدوار:

في هذه المترية نعتمد ثابت نيوتن للجاذبية في احداثيات ثلاثية الأبعاد و بالثابت الكوني السالب

*كما أن*

*هنا لدينا M هي الكتلة وJ هو العزم الزاوي للثقب الأسود حيث حيث يعرف أفق الحدث وفق العلاقة(حسب نصف قطره) :*

*ومع يكون هنالك أفق داخلي معرف بالعلاقة (حسب نصف قطره):*

*وعند الأفق القريب يكون:*

وحيث:

إن هي السرعة الشعاعية الزاوية للأفق. يمكننا اعتبار وبالانتقال إلى المتحولالذي يحول إلى نصل إلى:

وعندما و

في الحالة الغير دوارة تكون المعطيات كالتالي: أما في الحالة القصوى(أي عندما يكون حجم الثقب الأسود كبيراُ جداُ )تكون

*في الحالات القصوى تكون المقادير كبيرة جداً في حدود لا يمكن تصورها ...لكننا يمكننا أن نعمل بطريقة مشابهة إلى حد ما إلا أننا نجعل المقادير محدودة حسب الثقب الأسود الذي ندرسه BTZ [[5]](#footnote-5)وبالتالي نصل إلى ما يلي*

*إن الأفق متموضع حسب العلاقة : في الأفق القريب يكون لدينا :*

ولدينا:

بما أن درجة الحرارة هي التي في حالة تضاد مع معطيات الثقوب السوداء الخارقة(الحالة القصوى)فبالتالي نستنتج أن الثقوب السوداء التي تشع حرارياً هي أقرب إلى الثقوب السوداء التي ليست في حالاتها القصوى

وعلى نفس المنهج يمكننا اعتماد الثقب الأسودkerr-AdS (KAdS) في أربعة أبعاد .إنه لمن المقنع البدء بحلول هذا الثقب المكتوبة بشكل ADM حيث توابع الهبوط والصعود (السرعة الشعاعية الزاوية المحلية )ترى بوضوح

في مايلي إن هو الثابت الكوني و

*إن نهاية المقدار السابق عندما هي السرعة الزاوية للأفق:*

*لنعتبر بشكل تقريبي المترية حول الثقب الأسود على الشكل الآتي:[[6]](#footnote-6)*

*حيث .الجدير بالذكر أن الثقب الأسود KERR يتشارك بالحلول مع الثقب الأسود KAdS حيث يكون على طول الجيوديسي إن المقدار*  *منته عند أفق الحدث حيث كلا منو يختلفان من أجل BTZ*

*ويمكننا أن نكتب حيث كما ذكرنا أن المتغير يحول المقدار إلى ومنه نصل إلى العلاقة:*

حيث أنه و*يمكن أن نعرف ونوضح المفاهيم الآتية:*

*الطاقة والعزم الزاوي لجسيم بعزم رابع*  *هو و حيث أن*  *وهو حقل كيلينغ الدوار ,وهنا الجسيم يمكنه الهروب (الانفلات\_النفق) إلى اللانهاية اذا وفقط اذا مما يؤدي إلى:*

*وفي نفس الوقت .هذه العلاقات لا تصلح في النظام الغير مشع حيث توزع بولتزمان يجب أن يستبدل كلياً بتوزع بلانك ولهذا إنه خارج نطاق الوصول بالانفلات بطريقة شبه كلاسيكية*

*إن الاعتماد على الزاوية الثابتة هو فقط ظاهري كما تظهر في العلاقة*

*بالتوافق مع القانون الصفر في الترموديناميك الذي ينص على أن سطح الجاذبية يجب أن يكون ثابتاً على كل الأفق بناءً على ما سبق نستطيع وبالتغيير قليلاً أن علاقة الحرارة بالشكل*:

*وبامكاننا أن نرى في الحقيقة هو سطح الجاذبية للثقب الأسود هنا يمكننا أن نلاحظ أن نمط الانفلات أو النفق في هذه الحالة يملك طبيعة مشابهة جداً للمخطط الشبه كلاسيكي.*

*بالتحديد هذه الطريقة بالعادة تربط إلى الحالة التي يكون فيها ثقوب سوداء غير ضخمة لكنها تدور وتملك شحنة أيضاً ,*

# الخاتمة:

*بعد كل هذه الدراسة والاستنتاجات الرياضية المطولة توصلنا إلى أن الثقب الأسود يطلق موجات مكونة من جسيمات أولية مثل البوزونات أو الفرميونات هذه الموجات تحمل طاقة معينة ويمكن للمعادلات الرياضية أن تعطي المعلومات الأساسية عن هذه الموجات التي أطلق عليها العلماء لاحقاً اسم "اشعاع هوكينغ" هذه المعلومات تشمل عدد الجسيمات الموجودة في هذه الموجة إضافة إلى الطاقة التي تحملها تلك الموجة مع مراعاة الظروف التي تحيط بالثقب الأسود وإلى نوع الثقب الأسود وحرارته.*

*إلا أننا لا نرى الثقب الأسود بنفس الطريق التي نرى فيها الكرسي أو الطاولة أو المقعد أو القاعة أو الممر فليس هناك أشعة ضوئية تنعكس عن ذلك الثقب وتدخل إلى أعيننا فنراها! بل تلك الموجة التي تحدثنا عنها سابقاُ\_ اشعاع هوكينغ \_*

*لا نستطيع أن نرى الثقب الأسود إلا أننا نستطيع أن نتعرف عليه من خلال خواصه وآثاره مثل الجاذبية و اشعاع هوكينغ و الانحناء الفظيع في الزمكان المحيط به .*

# التوصيات والمقترحات:

*لعل كل الموضوعات المطروحة في الفيزياء تكون أقرب إلى النظريات الفلسفية التي يليها برهان رياضي ملائم لها ويثبت صحتها بعد افتراضات معينة فتصبح علماً.ونرى العديد من النظريات حول الثقب الأسود أو اشعاع هوكينغ مطروحة من قبل علماء عديدين أهمهم ستيفن هوكينغ إلا أننا على ثقة كاملة أن ستيفن هوكينغ لم يزر الثقب الأسود يوماً ولم يتحقق من قوانينه التي وضعها بيديه و الأمر ذاته بالنسبة لاشعاع هوكينغ.إضافة الى ما سبق هنالك خلافات في العلم حول اثبات وجود هذا الثقب أصلاً .....فحتى وجوده ليس بالحقيقة المطلقة!*

*ومن المبدأ السابق ستكون أول توصياتي إيجاد أرض صلبة تستند علها الفيزياء النظرية لكي تتاح لنا الفرصة بأن نصدق بكل ما نملك من القوة العقلية أن الشيء الذي تتحدث عنه المعادلات الرياضية موجود حقاً وليس وهماً من أدمغة غيرنا****^\_^***

# المراجع:

|  |
| --- |
| \_ M.M. Caldarelli and D. Klemm, Supersymmetry of anti-de Sitter black holes, |
| - S.W. Hawking, C.J. Hunter and M.M. Taylor-Robinson, Rotation and the AdS/CFT  correspondence |
| M. Caldarelli, L. Vanzo and S. Zerbini, The extremal limit of D-dimensional black holes |
| . S S. Gubser, I.R. Klebanov and A.A. Tseytlin, String theory and classical absorption by three-branes, |
| S.W. Hawking, Particle creation by black holes |
| W,H,ZUREK,and k.s.thorne phys.rev.lett.54,2171(1985) |
| D.N.PAGE,phys.rev.d13,198(1976) |
| f.p.pijpers,mon not .roy astron .soc 297,L76(1998) |

,

جدول المحتويات

[اشكالية البحث: 2](#_Toc436655955)

[مقدمة:من أين أتى مفهوم اشعاع هوكينغ؟ 3](#_Toc436655956)

[صيغة هوكينغ للإصدار 3](#_Toc436655957)

[الخلفية الجاذبية حول ثقب شوارزشيلد الأسود العديم الدوران والشحنة ب((4+nبعد 7](#_Toc436655958)

[الخاتمة: 11](#_Toc436655959)

[التوصيات والمقترحات: 12](#_Toc436655960)

[المراجع: 12](#_Toc436655961)

1. D.N.PAGE,phys.rev.d13,198(1976)

   f.p.pijpers,mon not .roy astron .soc 297,L76(1998) [↑](#footnote-ref-1)
2. W,H,ZUREK,and k.s.thorne phys.rev.lett.54,2171(1985) [↑](#footnote-ref-2)
3. S.W. Hawking, Particle creation by black holes, [↑](#footnote-ref-3)
4. . S S. Gubser, I.R. Klebanov and A.A. Tseytlin, String theory and classical absorption by

   three-branes, [↑](#footnote-ref-4)
5. M. Caldarelli, L. Vanzo and S. Zerbini, The extremal limit of D-dimensional black holes, [↑](#footnote-ref-5)
6. - M.M. Caldarelli and D. Klemm, Supersymmetry of anti-de Sitter black holes,

   - S.W. Hawking, C.J. Hunter and M.M. Taylor-Robinson, Rotation and the AdS/CFT

   correspondence [↑](#footnote-ref-6)