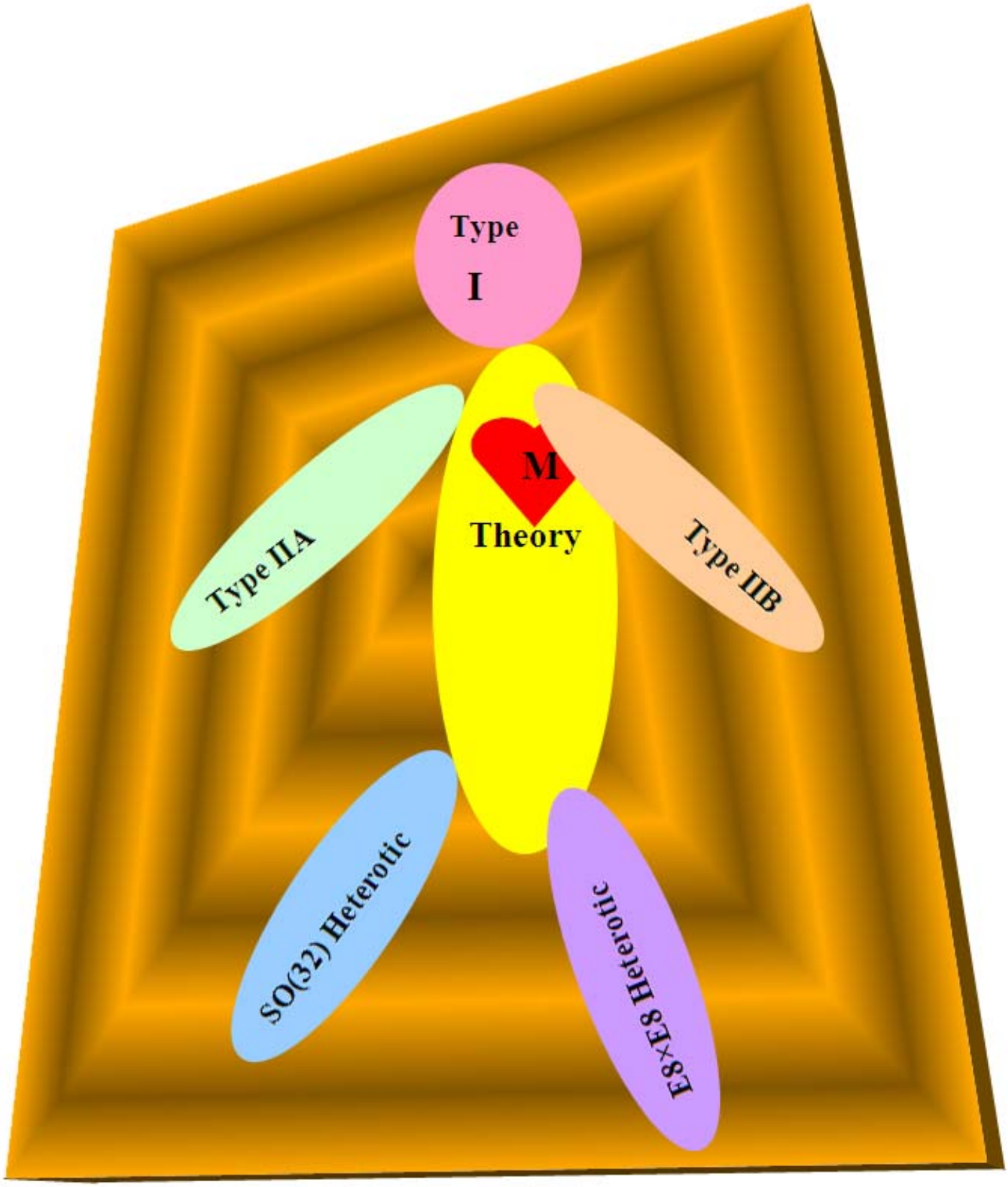


نظرية الأوتار الفائقة

جلال الحاج عبد

بســـم الله الرحـــمن الرحـــيم

الحمد لله و الصلاة و السلام على أشرف الخلق محمّد و على آل بيته الطيبين الطاهرين .

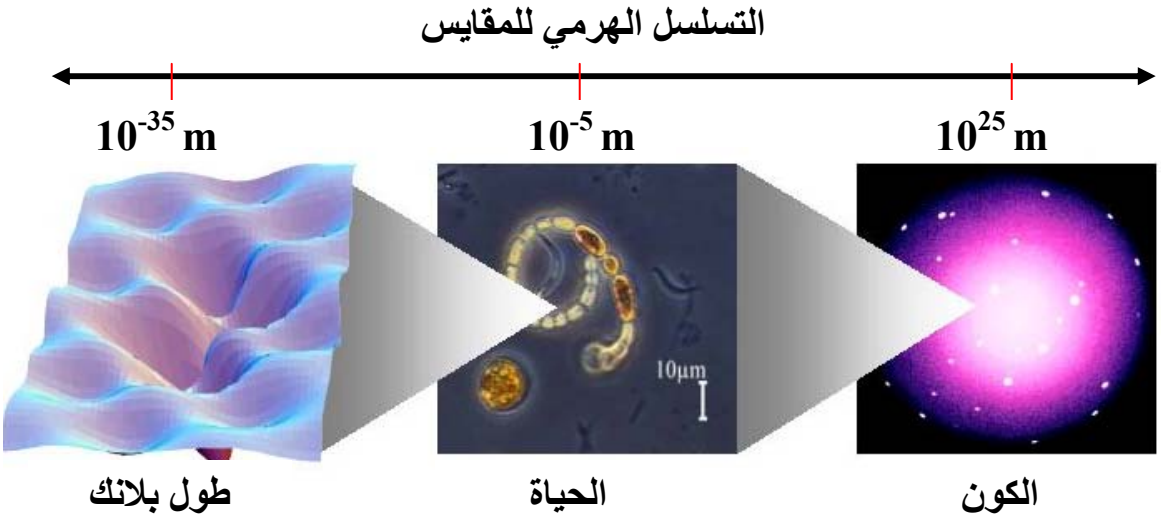
تقف اليوم نظرية الأوتار الفائقة على قمة العلوم الفيزيائية و الرياضية ، ظهرت هذه النظرية نتيجة فشل النظريات التي سبقتها في توحيد القوى و إعطاء تفسير لبعض الظواهر التي عجزت عن تفسيرها كل من نظرية النسبية و النظرية الكمومية و الكمومية الثقالية .

مطالعة نظرية الأوتار الفائقة بعيداً عن تعابيرها و تفاسيرها الرياضية يجعلها نظرية فلسفية من النوع الميتافيزيقي ، تضعنا بعيداً أو الى جانب قافلة التطور العلمي التي تحظي أو ستحظي به هذه النظرية . سواء أردنا إثباتها أو نقضها فنحن بحاجة الى أدلة رياضية قوية و مقنعة . و ما أنا في صدده بهذا المقال هو شرح و تبين بعض المفاهيم الرياضية لهذه النظرية . عند تعريف نظرية الأوتار الفائقة نواجه عبارة الرياضيات المعقدة ، هل حقاً رياضياتها معقدة ؟ يوجد بعض التعقيد في قوانين و رياضيات نظرية الأوتار الفائقة لأنها النظرية التي تسعى لتوحيد نظرية النسبية العامة بكل قوانينها و رياضياتها مع نظرية الكمّ بكل قوانينها و رياضياتها . لما لهذه النظريتين من بعض التعقيدات لا يمكن لنظرية الأوتار الفائقة أن توحدهما بعيداً عن القوانين و الرياضيات المعقدة . هذه الدراسة التي بين أيديكم هي محاولة جداً بسيطة لتبين بعض المفاهيم الرياضية لنظرية الأوتار الفائقة .

ليس التعقيد في هذه النظرية في رياضياتها فحسب ، و إنما كذلك في عدد أبعاد الفضاء فيها . من الصعوبات التي واجهت نظرية النسبية و عّقد فهمها هو البُعد الرابع الذي

فرضته هذه النظرية و هو بُعد الزمان الذي ظهر بالزمكان . فكيف و نظرية الأوتار ذات الستة و العشرون بُعداً أو العشرة أبعاد أو نظرية ـ إم ، ذات الإحدى عشر بُعداً ؟

تستطلب نظرية الأوتار الفائقة مطالعة معمقة لمفاهيم الفيزياء الحديثة و الطوبولوجيا و الزمر و التحليل الرياضي و الهندسة الريمانية كذلك بعض المفاهيم الفلسفية . من المفاهيم الفلسفية التي يجب الوقوف عندها في مطالعة نظرية الأوتار الفائقة ، أمثولة كهف إفلاطون و مفهوم جوهر ليبنتز المنفرد (المونـاد monad) . بعيداً عن التعقيدات تعتمد فكرة نظريات الأوتار الفائقة على توحيد القوى الأساسية في الكون تلك القوى التي تحملها جسيمات تعرف بالبوزونات و كذلك على الجسيمات المولدة للكتلة التي تعرف بالفرميونات ، و تتجلى هذه النظرية بمفهوم الأكوان الموازية . تتراوح قيمة المقايس في هذه النظرية من صغيرة جداً الى كبيرة جداً ، من الجسيمات الى المجرات .



هذه الوسعة في المقايس و التصورات ، من حيث الصغر أشبه بمونادات ليبنتز و من حيث التصور أشبه بالظل المطل داخل كهف إفلاطون .

موناد ليبنتز

*نشا تفسير ليبنتز للجوهر بأنه فعال أساساً ، من عدم إقتناعه بالجوهر الممتد الذي نادت به (الفلسفة الجديدة) و من عدم إرتياحه أيضاً الى الذرات و الفراغ و المكان المطلق و الزمان المطلق و المادة المطلقة في ميكانيكا نيوتن ، و كانت إعتراضاته على هذه المفاهيم جميعاً أعتراضات علمية و ميتافيزيقية في آن واحد . و قد بين أن صياغة ديكارت لقوانين الحركة متهافتة من الناحية العلمية ، كما أن رأيه عن العالم المكاني – الزماني المرتبط به و ما يتفرع عنه من رأي في الحركة على أنها أنتقلت عن طريق المعجزة الى المادة الجامدة .... وقد وصف ذرات المادة بأنها مضادة للعقل مادام (أصغر جزء من المادة) احالة منطقية ، لأنه إذا كان ممتداً كان قابلاً للقسمة ، فإن لم يكن كذلك لم يعد (أصغر) جزء ممكن ، بل يعد في الواقع جزئياً مادياً . و فضلاً عن ذلك فان قوانين الحركة تقتضي بأن تكون العناصر الداخلة في هذا الموضوع حاملة للطاقة ، و ما من كائن ممتد يمكن أن يكون فعالا ، كما لا يمكن أن يكون وحدة حقيقة . و لابد أن يكون العنصر الممكن الوحيد (جوهراً بسيطاً لا أجزاء فيه) هذا الجوهر البسيط أطلق عليه ليبنتز (**الموناد**) أو (الجوهر الروحي) .*

و مادام الموناد يخلو من الأجزاء فأنه غير قابل للتحطيم اللهم الا بالأبادة ، و لا يمكن أن يأتي الى الوجود الا عن طريق الخلق فحسب ، و لا يستطيع الموناد أن يؤثر على غيره من الموناد و لهذا فليس ثمة تفاعل سببي (ليس للموناد نوافذ) ، و لما كان الموناد غير ممتد فهو لا يوجد في المكان أو الزمان كما أنه ليس مادياً ، و فضلاً عن ذلك مادامت الصفة الأساسية في الموناد هي أن يكون فعالا ، فان الموناد جميعاً من نوع واحد [1] .

1- الموسوعة الفلسفية المختصرة – دار القلم

أمثولة كهف (إفلاطون)

سقراط: *تخيل رجالا قبعوا في مسكن تحت الأرض على شكل كهف ، تطل فتحته على النور، ويليها ممر يوصل إلى الكهف . هناك ظل هؤلاء الناس منذ نعومة أظفارهم ، وقد قيدت أرجلهم وأعناقهم بأغلال ، بحيث لا يستطيعون التحرك من أماكنهم ، و لا رؤية أي شيء سوى ما يقع أمام أنظارهم ، إذ تعوقهم الأغلال عن التلفت حولهم برؤوسهم . و من ورائهم تضيء نار اشتعلت عن بعد في موضع عال ، وبين النار والسجناء طريق مرتفع . ولتتخيل على طول هذا الطريق جدارا صغيرا، مشابها لتلك الحواجز التي نجدها في مسرح العرائس المتحركة، و التي تخفي اللاعبين وهم يعرضون ألعابهم.*

غلوكون: *إني تخيل ذلك.*

سقراط: *ولتتصور الآن ، على طول الجدار الصغير، رجالا يحملون شتى أنوا ع الأدوات الصناعية، التي تعلو على الجدار. وتشمل أشكالا للناس والحيوانات وغيرها، صنعت من الحجر أو الخشب أو غيرها من المواد. و طبيعي أن يكون بين جملة هذه الأشكال من يتكلم ومن لا يقول شيئا.*

غلوكون: *إنها حقا لصورة عجيبة، تصف نوعا غريبا من السجناء.*

سقراط: *إنهم ليشبهوننا. ذلك أولا لأن السجناء في موقعهم هذا لا يرون من أنفسهم ومن جيرانهم شيئا غير الظلال التي تلقيها النار على الجدار المواجه لهم من الكهف ، أليس كذلك[1] ؟ ...*

ألقت جميع الأفكار التي جمعها و توصل الإنسان إليها الى اليوم بظلالها على جدران كهف المعرفة البشرية فظهرت أشباح نظرية الأوتار الفائقة ، أشباح لا يمكن إنكارها و لا يمكن إثباتها !

1- جمهورية أفلاطون الكتاب السابع

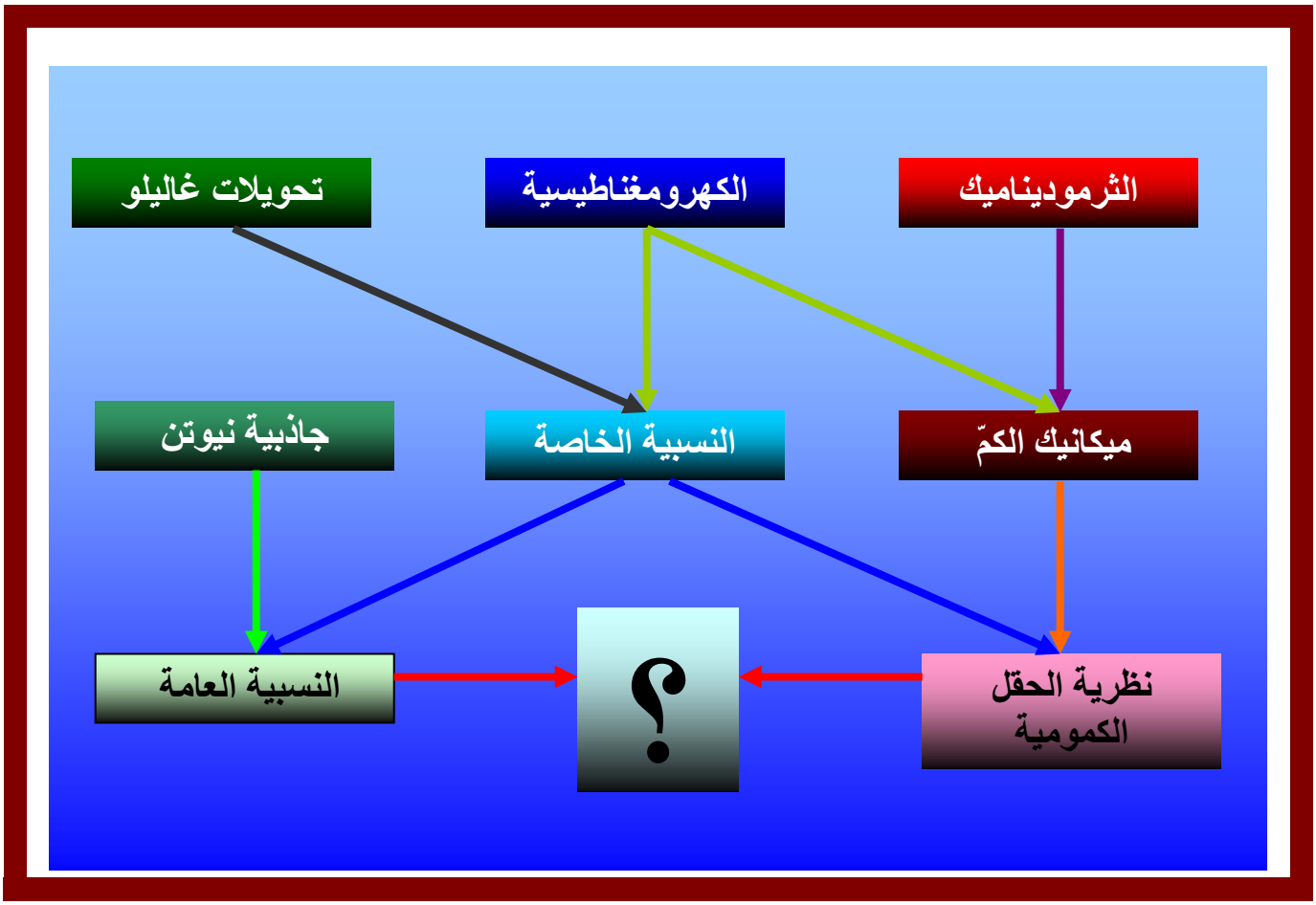
كما يوجد إتساق (consistence) بين الهندسة الإقليدية و سائر الهندسات اللا إقليدية الأخرى، يوجد توائم و إتساق بين ميكانيك نيوتن و ميكانيك النسبية (العامة) بمعنى إمكانية إستنتاج الهندسة الإقليدية من هندسة لوباتشفسكي ، كذلك إمكانية إستنتاج بعض قوانين نيوتن من معادلات النسبية.

من بين جميع نظريات الأوتار الفائقة الخمسة التي سنتعرف عليها لاحقاً ، أي منها مناسبة لتصبح النظرية الشاملة للفيزياء ؟ شاهد إدوارد ويتن (Edward Witten) إن منشأ جميع هذه النظريات الخمسة واحد و عرض نظرية بإسم (M-theory) نظرية – إم عام 1995. شكّل هذا العرض ثورة جديدة (ثانية) في نظرية الأوتار الفائقة .

تنظر نظرية – إم الى جميع نظريات الأوتار الفائقة على إنها نظرية واحدة يجمعها التوائم و الإتساق . يوجد نوع من التطابق (mapping) الرياضي و مفاهيمه بين نظريات الأوتار الفائقة جميعها . في مقال لي بعنوان التطابق شرحت فيه المفهوم الرياضي للتطابق و كيفية الإنتقال و التحويل من فضاء الى آخر من خلال دالة التحويل .

أين تنتهي الفيزياء ؟ و ما هي النظرية التي ستقف عندها ؟ سؤال شغل ذهن الكثير من العلماء و كل منهم بطريقته حاول الوصول الى هذه النظرية الجامعة و الشاملة ، لكن سرعان ما توصل الى نقائض و نقائص في نظريته . فكرة توحيد القوى الأساسية التي سعى أنشتاين الوصول إليها فتحت آفاق عديدة في الفيزياء النظرية ، و تعتبر نظرية الأوتار الفائقة هي أحد نتائج فكرة توحيد القوى الأساسية . لكن هل نظرية الأوتار الفائقة أو نظرية – إم هي إكسير الفيزياء ؟ الأمر الذي جعل العلماء في حيرة من أمرهم أمام هذه النظرية ، لا يوجد دليلي علمي و عملي يثبت صحتها و في نفس الوقت لا يوجد دليل

علمي و عملي ينقض أو يرد هذه النظرية . في هذا المخطط إرتباط أهم فروع الفيزياء و النتيجة التي يسطلب الوقوف عندها .



إستناداً على مفاهيم نظرية الأوتار الفائقة يخضع الكون بأكمله و محتوياته الى أوتار أحادية البُعد مع توترات مختلفة ، توتر كل وتر عبارة عن ذرة . أساسيات هذه النظرية مبني على تفسير الجسيمات الحاملة (الناقلة) للقوة ، و المولدة للكتلة .

تعتبر نظرية الأوتار الفائقة من النظريات اللا متناقضة في ربط الثقالة و الكمومية . كذلك هي من النظريات الأساسية في تفسر القوى الفائقة . بعض المفاهيم المهمة التي يجب الوقوف عندها في هذه النظرية : التناظر الفائق (supersymmetry) ، والثنائيات (Duality) و الثوابت المزدوجة (coupling constants) و أبعاد الفضاء الذي يتجلى بالمفهوم الرياضي D-brane .

التناظر الفائق هو بمعنى وجود رابطة بين كتلة الذرة و حاملات القوى ، أي مقابل كل بوزون فرميون . بدأت نظرية الأوتار الفائقة للبوزونات فقط و لكي تصبح قادرة على التعامل كذلك مع الفرميونات يجب وجود نوع من التناظر ، و هو لكل بوزون فرميون و هذا يستطلب تناظر فائق يربط بين الجسيمات الحاملة للقوى و الجسيمات المولدة للكتلة .

نظرية الحقل الكمومي (Quantum Field Theory) هي النظرية التي تظهر فيها القوة بين ذرتين من خلال ذرات أخرى كما هو الحال في الكهرومغناطيسية ، القوة بين إلكترونين نتيجة الفوتونات .

من الصعب التعامل مع الثقالة على إنها قوة تفاعلية بين الذرات تخضع لقوانين فيزياء الكمّ، أي لا يمكن إخضاع الغرافيتون الى قوانين الكمّ كما خضع لها الفوتون ، و ذلك لأن النتائج الرياضية نتيجة إخضاع الغرافيتون لقوانين الكمّ هي مقادير لا نهائية لا معنى لها رياضياً و لا فيزيائياً . كذلك لا يمكن إخضاع قوانين الكمّ للقوى و الأجسام العظيمة التي تتعامل معها قوانين النسبية العامة . نتائج كل من هاتين النظريتين في مجال إستعمالهما صحيحة و صادقة لكن إخضاع قوانين إحدى هاتين النظريتين في بعض مجالات النظرية

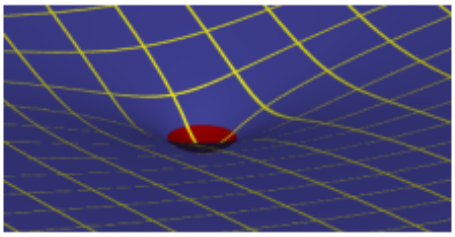
الأخرى يأتي بنتائج لا منطقية . لحل هذه الأشكالية اللا منطقية لجأ الفيزيائيين الى نظريات أخرى حديثة .

الثقالة الكمومية هي أحد النظريات التي سعت الى توحيد نتائج نظرية الكمّ مع نظرية النسبية العامة . في هذا الشكل أنواع النظريات الثقالية المختلفة ، و في مخطط الصفحة القادمة النظرية الكمومية الثقالية و إرتباطاتها الرياضية .

نظريات الثقالة

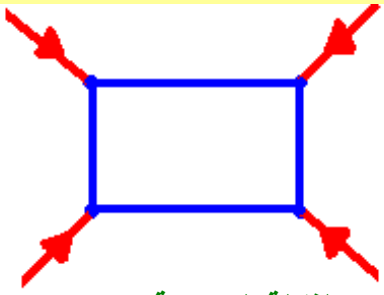
نيوتن 1860

نتيجة الفاصلة



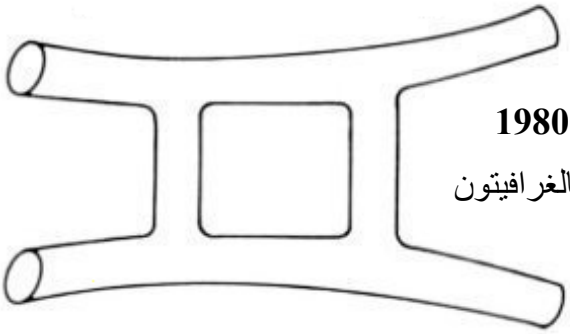
إنشتاين 1915

تقوّس الزمكان



الثقالة الكمومية 1970

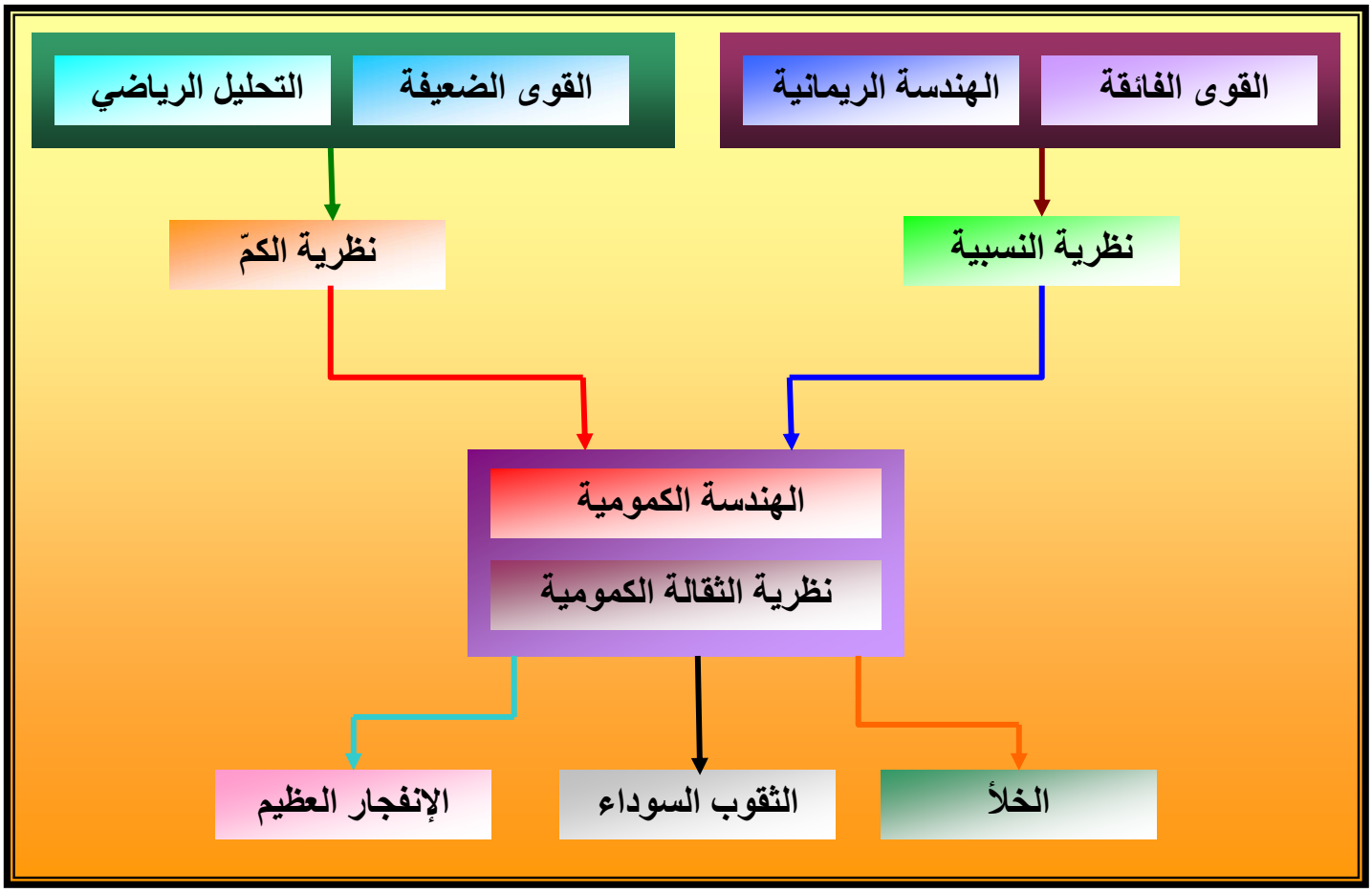
ذرة مثل الغرافيتون



الأوتار الفائقة 1980

الوتر المغلق كالغرافيتون

مخطط النظرية الثقالية الكمومية

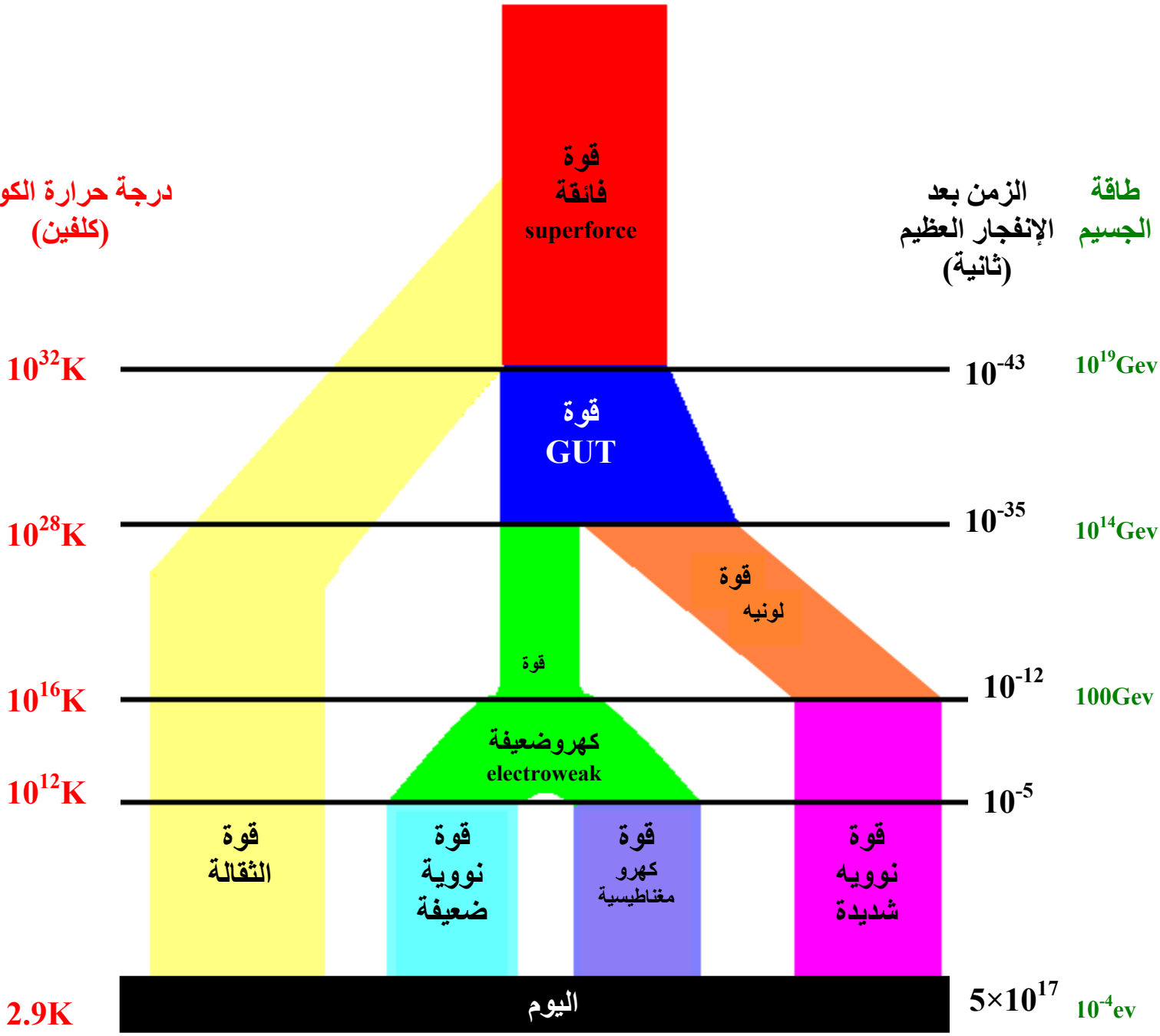


نظرية الثقالة الكمومية (Quantum Gravity)هي فرع من فروع الفيزياء النظرية تسعى لتوحيد ميكانيك الكمّ (الذي يوصف القوى الأساسية الثلاثة و هي الكهرومغناطيسية و النووية الضعيفة و النووية الشديدة) مع النسبية العامة (و التي هي نظرية القوة الأساسية الرابعة ، الثقالة)

الهندسة الكمومية (Quantum Geometry)هي مجموعة من المفاهيم الرياضية مبنيّة على المفاهيم الهندسية و الظواهر الفيزيائية ذات الطول القصير جداً ، في حد طول بلانك:

$$L_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1.616252 \times 10^{-35} m$$

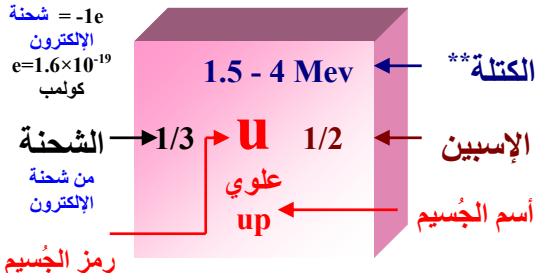
تاريخ و منشأ القوى الأساسية



القوة اللونية (color force) هي قوة بين الكواركات و هي منشأ القوة النووية الشديدة .

GUT force هذه القوة هي منشأ القوة النووية الضعيفة ، و القوية و الكهرومغناطيسية .

القوى و الجُسيمات الأساسية



* الهادرونات تتشكل من الكواركات و تتفاعل مع القوة النووية الشديدة
الباريونات تتشكل من ثلاثة كواركات .
الميزونات تتشكل من كوارك و كوارك مضاد .
يوجد حدود 120 نوع من الباريونات كذلك يوجد حدود 140 نوع من الميزونات

** الكتلة حسب
Mev/c^2
Gev/c^2
$1Gev/c^2 = 1.78\times10^{-27}kg$

	Fermions الفرميونات			Force Carriers (Gauge Bosons) البوزونات المعيارية حاملات القوة	القوة و شدتها
Quarks الكواركات	1.5 - 4 Mev, 2/3 u 1/2, علوي up	1.15 - 1.35Gev, 2/3 c 1/2, مفتون charm	~174 Gev, 2/3 t 1/2, ذروي top	0, 0 γ 1, فوتون photon	كهرومغناطيسية 10^{36} ضعف الثقالة
	4 - 8 Mev, -1/3 d 1/2, سفلي down	80 - 130 Mev, -1/3 s 1/2, غريب strange	4.6 - 4.9 Gev, -1/3 b 1/2, قعري bottom	0, 0 g 1, غلويون gluon	نووية شديدة 10^{38} ضعف الثقالة
Leptons اللبتونات	< 3 ev, 0 ν_e 1/2, إلكترون نيوترينو ele. neutrino	< 0.19 Mev, 0 ν_μ 1/2, ميون نيوترينو muon neutrino	< 18 Mev, 0 ν_τ 1/2, تاو نيوترينو tau neutrino	91.19 Gev, 0 Z^0 1, بوزون Z Z boson	نووية ضعيفة 10^{25} ضعف الثقالة
	0.511 Mev, -1 e 1/2, إلكترون electron	105.6 Mev, -1 μ 1/2, ميون muon	1.777 Gev, -1 τ 1/2, تاو tau	80.4 Gev, ±1 $W^\pm$ 1, بوزونW W boson	
Family العائلة	I	II	III		

* Hadrons هادرونات	Baryons باريونات	938Mev, +1 p 1/2, بروتون proton	940Mev, 0 n 1/2, نيترون neutron	1.11Gev, 0 Λ^0 1/2, لامبدا lambda	1.67Gev, -1 Ω^- 3/2, أوميغا omega	1.18Gev, +1 Σ^+ 1/2, سيغما sigma
	Mesons ميزونات	140Mev, +1 π^+ 0, بايون pion	494Mev, -1 k^- 0, كايون kaon	770Mev, +1 ρ^+ 1, رو roh	5.27Gev, 0 B^0 0, بي- صفر B-zero	2.98Gev, 0 η_c 0, إتا- سي eta-c

الثقالة و هي مؤثرة على جميع الذرات لو فرضنا شدتها 1	0, 0 G 2, غرافيتون Graviton
بوزون هيغز لم يتحسس وجوده عملياً الى اليوم	< 200 Gev, 0 H 0, بوزون هيغز Higgs boson

الغرافيتون جُسيم أفتراضي حامل الثقالة

كتلة الجُسيمات الأساسية هي نتيجة تفاعلها مع حقل هيغز كذلك كتلة z و w و g ، إسبين جسيم هذا الحقل صفر ، و قيمة هذا الحقل في أي مكان لا تساوي صفر

جلال الحاج عبد 22.2.2009

مفهوم الثنائيات في نظرية الأوتار

تعتبر الثنائيات من المفاهيم الأساسية في نظرية الأوتار ، و ذلك لأن نظرية الأوتار ليست نظرية واحدة و إنما خمسة نظريات ترتبط ببعظها من خلال هذه الثنائيات . مفهوم هذه الثنائيات هو إعطاء تفسيرين مختلفين لحالة واحدة . أهم الثنائيات في نظرية الأوتار :

- T-Duality ثنائية - تي
- S-Duality ثنائية - أس
- U-Duality ثنائية - يو

T-Duality

تحجب الثنائية – تي ، قدرة التشخيص بين القياسات الصغيرة و الكبيرة . نفرض الجهة ل x^9 (البُعد التاسع لا أس تسعة) في زمكان ذو عشرة أبعاد مضغوطة في دائرة نصف قطرها R :

$$x^9 \approx x^9 + 2\pi R$$

الزخم أو كمية الحركة لذرة متحركة حول هذه الدائرة عبارة عن كمات من $\frac{1}{R}$ مربع كتلة هذه الذرة في حالة n عدد صحيح عدد الكمات ، يساوي :

$$m_n^2 = \frac{n^2}{R^2}$$

الوتر يلتف حول هذه الدائرة زخم كتلة الوتر كما هو للذرة . الوتر المغلق يلتف حول الدائرة و أحياناً الذرة لا تستطيع . عدد لفات الوتر حول الدائرة يعرف بعدد اللفات و يرمز له w و هو كذلك عدد صحيح .

شدة سحب الوتر عبارة عن طاقة في وحدة طول الوتر ،

شدة السحب في الوتر : $T_{string} = \frac{1}{2\pi\alpha'}$

الطاقة : $E_w = 2\pi w R T_{string} = \frac{wR}{\alpha'}$

طول الوتر : $\alpha' = L_s$

مربع كتلة أي وتر مغلق تساوي : $m^2 = \frac{n^2}{R^2} + \frac{w^2 R^2}{\alpha'^2} + \frac{2}{\alpha'}(N + \bar{N} - 2)$

N و $\bar{N}$ ذبذبات الوتر المغلق في الحركة ذات اليمين و الشمال

في هذا التطبيق اللا متغير هو

$$R \leftrightarrow \frac{\alpha'}{R} \quad \text{و} \quad n \leftrightarrow w$$

أي يمكن تحويل (إنضغاط) نصف قطر R الى $\frac{\alpha'}{R}$ إذا حولنا صيغة الإلتفاف الى صيغة الزخم الكمّي . هذا التحويل في الصيغة يعتمد على ثنائية تعرف **بثائية – تي** .

إذا كان نصف القطر المضغوط R أصغر بكثير من طول الوتر L_s ، في هذه الحالة يصبح طول نصف القطر المضغوط أكبر بكثير من طول الوتر L_s بعد التحويل . ثنائية – تي تزيل الأختلاف بين هذه المقايس المضغوطة التي ينتج عنها تعاظم في الكبر و الصغر.

S-Duality

يبين الثابت المزدوج (coupling constant) شدة التفاعلات . مثلاً G ثابت نيوتن ، يظهر في قانون الجذب العام لنيوتن و معادلات أنشتاين هو ثابت مزدوج . في الكهرومغناطيسية الثابت المزدوج للشحنة الكهربائية يظهر من خلال ثابت التركيب الدقيق α (fine structure constant) .

$$g_{QED}^2 = \alpha = \frac{2\pi e^2}{hc} = \frac{1}{137}$$

في الفيزياء الذرية و نظرية الأوتار الفائقة سعة أو نطاق الإنتشار (و القيّم الأخرى) تحسب على شكل متتاليات أسية ، المتغير فيها الثابت المزدوج و بهذه الصورة g^2

$$A(g^2) = A_0 + g^2 A_1 + g^4 A_2 + \cdots$$

في الكهرومغناطيس الثابت α و في الميكانيك ثابت الجاذبية هما صغيران ، لذلك تظهر قيمة هذه النظريات . تعاظم الثابت المزدوج يقلل من أهمية النظرية ، وذلك لأن كلما كبرت قيمة الثابت المزدوج بالنتيجة تكبر قيمة المتتالية الأسية لذلك الثابت و تصبح النظرية غير عملية .

نظريتين من الأوتار الفائقة عندما يرتبطان بثائية – أس ، يعني ذلك إن أحد هذه النظريتين مع ثابت مزدوج قوي و الأخرى مع ثابت مزدوج ضعيف .

الثابت المزدوج للديلاتون[1] (dilaton) لحقل $\varphi(x)$ عبارة عن : $g_{st}^2 = e^{2\varphi(x)}$

لحقل مثل $\rho(x) = \chi(x) + ie^{-\varphi(x)}$ مجموع قيمتين حقيقية و خيالية ، إذا كان تأثير الحقل الحقيقي لا شئ ، في هذه الحالة التحويلات :

1- الديلاتون في فيزياء الجسيمات ذرة إفتراضية بلا كتلة و بلا إسبين ، تظهر في بعض نماذج نظرية الأوتار، و في الحقل السلمي φ

$$\rho \to \frac{a\rho + b}{c\rho + d} \quad \text{و} \quad ad - bc = 1$$

في حالة $b = 1$ و $c = -1$

$$ad - bc = 1 \Rightarrow ad + 1 = 1 \Rightarrow a = d = 0$$

$$\rho = ie^{-\varphi(x)} \Rightarrow \rho e^{\varphi(x)} = i \Rightarrow \rho = \frac{i}{e^{\varphi(x)}} = \frac{i}{g_{st}}$$

إذن :

$$\rho \to \frac{-1}{\rho} \quad \text{و} \quad g_{st} \to \frac{1}{g_{st}}$$

و هذا يعني النظرية مع الثابت المزدوج g_{st} هي نفس النظرية مع الثابت المزدوج $\frac{1}{g_{st}}$

يعرف هذا التحويل بثنائية – أس ، S-Duality

U-Duality

ثنائية – يو ، في نظرية الأوتار أو في نظرية – إم هي عبارة عن دمج الثنائيتين ، ثنائية - تي و ثنائية - أس .

كما لاحظنا في شرح الثنائيتين تي و أس ، فالثنائية – تي للمقايس و الثنائية – أس للثوابت، مفاهيم الثنائيات في نظرية الأوتار شبيهة بمفاهيم الطوبولوجية في الهندسة . كيف يتعامل الخبير في الطوبولوجيا مع الأشياء و الأشكال الهندسية ؟ كيف يفكر ؟ كيف يرتقي التفكير الطوبولوجي بالأشياء من الشكل الظاهري الى مفهوم يتحرر من قيودالشكل الظاهري . نظرية الأوتار الفائقة هي نظرة طوبولوجية لمجرى الفيزياء و المفاهيم الفيزيائية.

أنواع نظريات الأوتار الفائقة

في النموذج المعياري (standard model) للفيزياء الذرية ، الذرة عبارة عن نقطة تتحرك في الفضاء على خط يعرف بالخط العالمي (world line) . في هذا النموذج يمكن محاسبة مكان و سرعة و كتلة و إسبين الذرة . إطار هذا النموذج هو الحقل الكمومي . إستطاع هذا النموذج بموفقية عالية شرح و تفسير القوى الكونية الأساسية (الكهرومغناطيسية و النووية الشديدة و الضعيفة) لكنه عجز أمام القوة الرابعة (الثقالة) حيث تصبح نتائج هذا النموذج للغرافيتون و هو الذرة الحاملة للثقالة ما لا نهاية و رياضياً و فيزيائياً هذه النتيجة غير مقبولة . أستطاعت نظرية الأوتار من إعطاء تفسير للقوة الرابعة هذه و ربطها بسائر القوى الأساسية الأخرى . نظرية الأوتار البوزونية هي أول نظريات الأوتار لكن هي فقط للبوزونات حاملات القوى ذات الإسبين الصحيح . تعميم نظرية الأوتار لتشمل البوزونات و الفرميونات تحت إسم نظرية الأوتار الفائقة لتشمل ثلاث نظريات إثنان منها الشئ الأساسي فيها الوتر المغلق و الأخرى الشئ الأساسي فيها الوتر المفتوح . دمج نظرية الأوتار البوزونية مع نظرية الأوتار الفائقة هي نظريتين متوائمتين للأوتار بإسم نظرية الأوتار الهيتروتيكية (heterotic string theory) . النظرية التي جمعت هذه النظريات الخمسة (الأوتار الفائقة ثلاثة نظريات و الهيتروتيكية نظريتان) هي نظرية - إم . أضافت نظرية – إم بُعداً آخراً لتصبح هذه النظرية ذات 11 بُعداً ، البُعد الحادي عشر هذا هو عبارة عن غشاء (membrane) معارض للوتر . الأغشية هي مشابهة للأوتار عندما نلف البُعد الحادي عشر في دائرة صغيرة .

جدول الصفحة القادمة ملخص نظريات الأوتار الفائقة و عدد أبعادها و خصائصها و جزئياتها .

نظريات الأوتار الفائقة		
الخصائص	عدد الأبعاد	النوع
فقط للبوزونات ، بلا فرميونات ، فقط قوى بلا مادة ، للأوتار المفتوحة و المغلقة، مع ذرة إفتراضية تسمى التاكيون يفترض سرعتها أكبر من سرعة الضوء	26	البوزونية
تناظر فائق بين القوى و المادة مع أوتار مفتوحة و مغلقة ، بلا تاكيون ، من مجموعة التناظر SO(32)	10	I
تناظر فائق بين القوى و المادة مع أوتار مغلقة و مفتوحة حدية D-brane ، بلا تاكيون (tachyon) ، بلا تماثل مرآوي (chiral)	10	IIA
تناظر فائق بين القوى و المادة مع أوتار مغلقة و مفتوحة حدية D-brane ، بلا تاكيون ، مع تماثل مرآوي (chiral)	10	IIB
تناظر فائق بين القوى و المادة فقط مع الأوتار المغلقة ، بلا تاكيون ، هيتروتيكية أي يوجد إختلاف بين حركة الوتر من اليمين و اليسار . من التناظر SO(32)	10	HO
تناظر فائق بين القوى و المادة فقط مع الأوتار المغلقة ، بلا تاكيون ، هيتروتيكية أي يوجد إختلاف بين حركة الوتر من اليمين و اليسار . من التناظر $E_8 \times E_8$	10	HE

الأبعاد و دي – برانه (D-brane) في نظرية الأوتار

أول نظرية في نظرية الأوتار لكي تصبح قادرة على محاكاة تناظر لورنتس هي بحاجة الى 26 بُعد ، وجود ذرات أسرع من الضوء حرف هذه النظرية عن مجراها الطبيعي لكنها من النظريات القوية في تفسير الظواهر الفوتونية و الغرافيتونية لكنها عاجزة عن تفسير الظواهر الإلكترونية .

عدد أبعاد الفضاء في أكثر نظريات الأوتار الفائقة 10 أبعاد ، تسعة أبعاد مكانية و بُعد زمني واحد ، و في نظرية – إم عدد الأبعاد 11 بُعد . تبرر نظرية الأوتار الفائقة وجود ستة أبعاد مكانية إضافية على إنها مضغوطة ، و تُشبّه هذا الإنضغاط بالأبعاد المختفية لجسم حجيم من فاصلة جداً بعيدة ، و كلما أقترب منا هذا الجسم تظهر و تتجلى أبعاده المختفية . الأنبوب من فاصلة بعيدة نرآه مثل الخط و هكذا في سائر الأشكال .

من الأشياء (objects) المهمة في نظرية الأوتار D-brane ، يتحرك (أو ينزلق) رأسي أو أحد رؤس الوتر المفتوح على هذه الأشياء . و لتعيّن عدد أبعاد الفضاء تكتب D-brane بهذه الصورة Dp-brane ، الحرف p يعيّن عدد أبعاد الفضاء المكانية ، بالتالي عدد الأبعاد المكانية و الزمانية (p+1) ، و الحرف D هو أول حرف من أسم عالم الرياضيات Dirichlet .

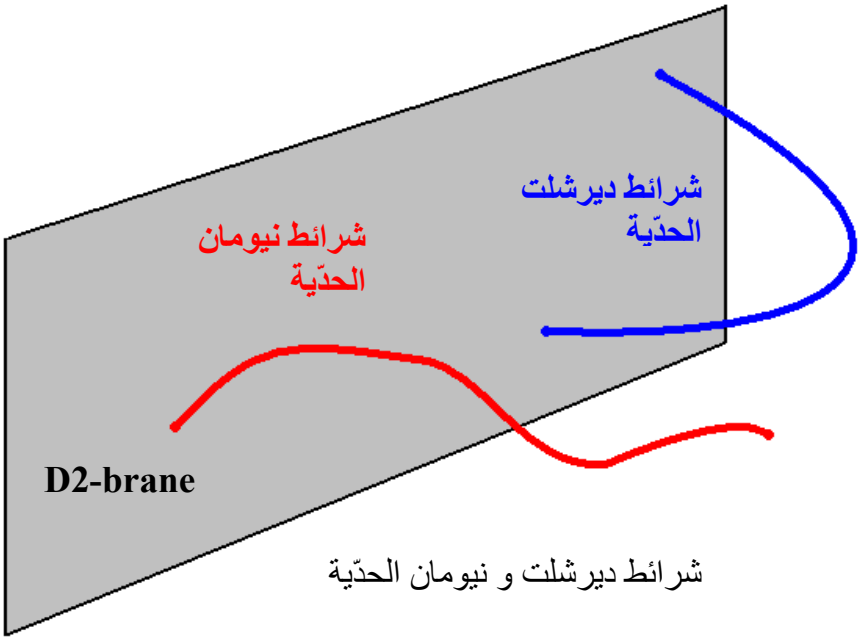
- D0-brane (D-particle) نقطة أو جُسيم
- D1-brane الخط أو وتر
- D2-brane الصفحة أو الغشاء
- D3-brane الحجم

- D25-brane أكثر عدد للأبعاد المكانية في الفضاء لنظرية الأوتار البوزونية

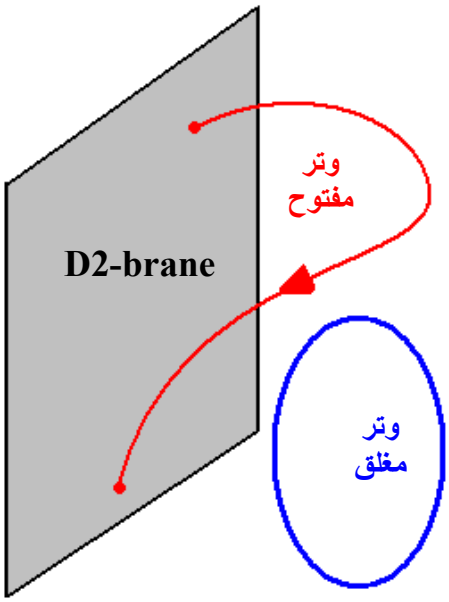
في نظرية الأوتار الغير حرجة (Non critical string theory) عدد أبعاد الفضاء أربعة أبعاد ، كعدد أبعاد الفضاء في النسبية . عادة لا تدعم هذه النظرية لا متغير لورينتز و هي غير مناسبة لنظرية كل شئ .

الأوتار نوعان مفتوحة لها نقطتان إنتهائيتان و طوبولوجياً هي متكافئة مع الخط . و مغلقة، نقاطها الإنتهائية متصلة ببعضها و طوبولوجياً هي متكافئة مع الدائرة أي الوتر المغلق دائرة . ليس كل أنواع نظريات الأوتار ، أوتارها مفتوحة ، لكن كل نظرية من نظريات الأوتار الفائقة يجب أن تكون فيها أوتار مغلقة . طول الوتر في نظرية الأوتار الفائقة هو طول الثقالة الكمومية أو طول بلانك الذي كتبنا طوله و رابطته في الصفحة 11 .

يتمتع الوتر بعدة شرائط حدّية[1] ، على سبيل المثال الوتر المغلق يتمتع بشرط حدّي دوري أي يرجع الوتر الى ما كان عليه . و الوتر المفتوح له شرطان حدّيان هما شرط ديريشلت و نيومان . شرط ديريشلت النقطة الإنتهائية ثابتة ، و شرط نيومان النقطة الإنتهائية تتمتع بحرية الحركة . (يمكن مطالعة بحث الشرائط الحدّية في المعادلات التفاضلية الجزئية و العادية) .



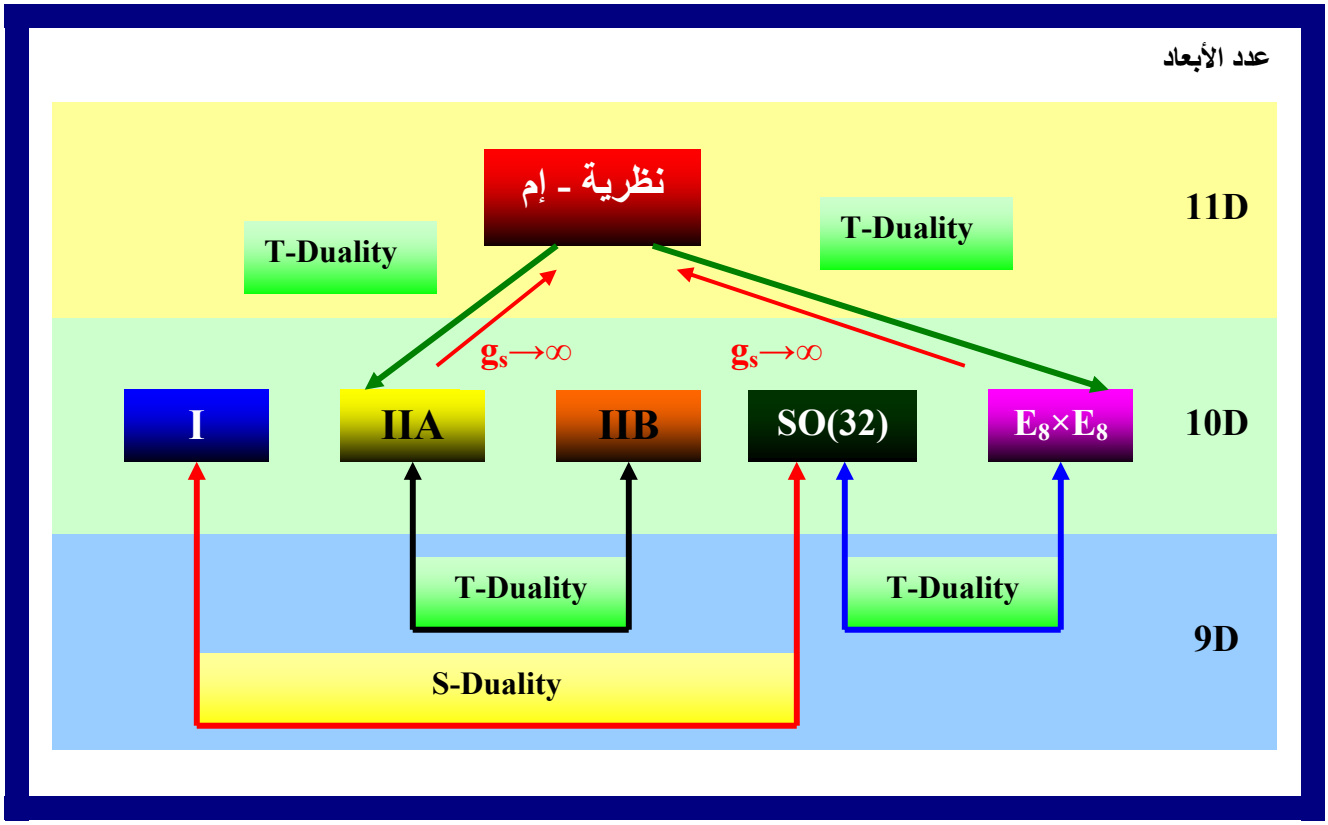
شرائط ديرشلت و نيومان الحدّية



إبتداء و إنتهاء الوتر المفتوح (مع شرائط ديريشلت الحدّية) على Dp-brane (الناحية الرمادية) في الزمكان p+1 بُعد

1- boundary conditions

ملخص نظرية الأوتار



فضاء هيلبرت

في نظرية الأوتار الفائقة مفهوم الفضاء يتعدى مفهوم الفضاء الإقليدي و التقليدي ذو ثلاثة أبعاد ، و كذلك يتعدى مفهوم الزمكان رباعي الأبعاد . في نظرية الأوتارالفائقة الفضاء متعدد الأبعاد تصل أبعاده الى 9 و 10 و 11 بُعد ، و في النظرية البوزونية تصل أبعاد الفضاء الى 26 بُعد ، لذلك رياضياً لا يمكن التعامل مع هذا الفضاء وفق قوانين الفضاء التقليدي و نحن بحاجة الى فضاء جديد فيه إمكانية الأبعاد اللا متناهية ، و الفضاء المناسب لهذه الخصائص و هذه النظرية هو فضاء هيلبرت .

فضاء هيلبرت عبارة عن فضاء متجهي H مع جداء داخلي $< f,g >$.

مثلاً فضاء هيلبرت لا متناهي الأبعاد ($L^2(x)$ أو $l^2(x)$) مجموعة كل الدوال(f و g) بحيث $f:R\to R$ و تكامل f^2 معين في هذه الحالة الجداء الداخلي عبارة عن :

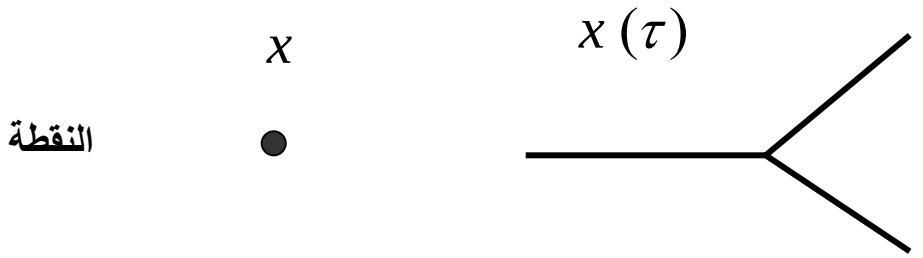
$$< f , g >= \int_{-\infty}^{\infty} f(x)g(x)dx$$

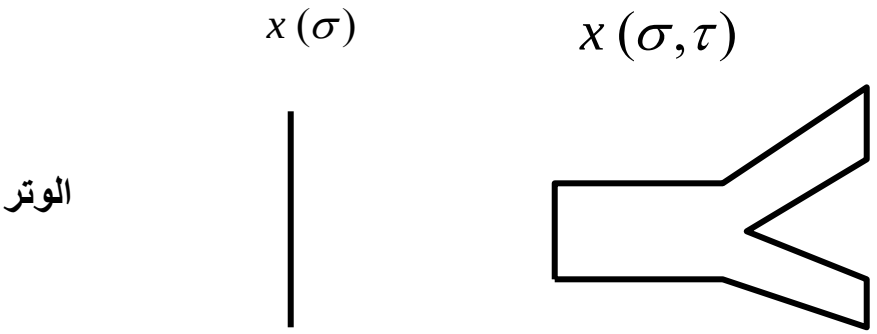
يمكن الإستعانة بفضاء هيلبرت لمطالعة حركة الذبذبات التوافقية (harmonic) في الحركات الإهتزازية للأوتار .

ترجع تسمية هذا الفضاء الى عالم الرياضيات David Hilbert . هذا الفضاء هو عبارة عن توسيع طريقة الجبر المتجهي من بُعدين الصفحة ، و ثلاثة أبعاد الفضاء الى فضاء لا متناهي الأبعاد .

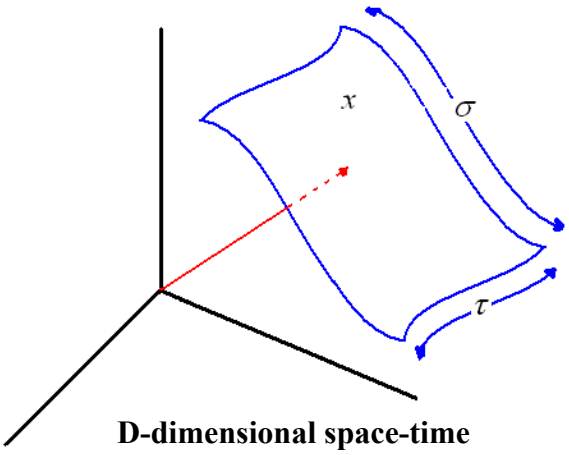
الفرق بين النقطة و الوتر

النقطة point (أو الجسيم particle) شئ بُعده صفر في فضاء ، الخط العالمي (world line) فيه أحادي البُعد (هذه النقطة على هذا الخط العالمي) في مسار الزمكان ، بينما الوتر (المفتوح أو المغلق) شئ بُعده واحد في فضاء ، الصفحة العالمية (world sheet) فيه ذات بُعدان (هذا الوتر على هذه الصفحة العالمية) ينتشر في الزمكان .





الصفحة العالمية $x_\mu(\sigma,\tau)$ و $\mu = 0,1,2,\cdots,D-1$ الدليل السفلي الصفر هو للزمن ، σ متغيرالمكان و τ متغير الزمن .



$$x = (x_0, x_1, x_2, \cdots x_\mu(\sigma,\tau), \cdots x_{D-1})$$

مبدأ العمل في نظرية الأوتار الفائقة

عادة تبدأ قوانين الفيزياء النظرية بمبدأ العمل (Action Principle) و في الميكانيكا الكلاسيكية تستنتج معادلة حركة الذرة من هذا المبدأ . العمل (action) في هذه الحالة هو:

$$S = \int_{t_2}^{t_1} L(q(t),\dot{q}(t))dt$$

في هذه المعادلة L (لاغرانج) هو دالة من مكان q و سرعة $\dot{q} = \frac{dq}{dt}$ الذرة .

لاغرانج الطاقة والزخم وفقاً لقانون الطاقة في النسبية

$$\left.\begin{aligned} E &= mc^2 \\ p &= mv \end{aligned}\right\} \Rightarrow L = pv - E = mc\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$S = -mc\int_{t_i}^{t_f} dt\sqrt{1-\frac{|\dot{x}|^2}{c^2}}$$

$$S = -m\int_{t_i}^{t_f} dt\sqrt{1-|\dot{x}|^2}$$

$$S = -m\int\sqrt{dt^2-|dx|^2}$$

$$S = -m\int ds$$

تعتبر هذه الرابطة من الروابط المهمة التي يمكن من خلالها إستنتاج رابطة للعمل في نظرية الأوتار .

Nambu – Goto Action عمل نامبو – غوتو

$$S = -m\int ds$$

$$-ds^2 = -(cdt)^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$$

$$X(\tau,\sigma) = (X^0(\tau,\sigma), X^1(\tau,\sigma)\cdots X^d(\tau,\sigma)) \qquad \text{الصفحة العالمية}$$

$$dA = d^2\sigma\sqrt{-g} \qquad \text{مساحة الصفحة العالمية}$$

$$d^2\sigma = d\sigma d\tau$$

$g = \det(g_{ab})$ ، g_{ab} محددة

$$g_{ab} = \eta_{\mu\nu}\frac{\partial X^\mu}{\partial\sigma^a}\frac{\partial X^\nu}{\partial\sigma^b}$$

$$\dot{X} = \frac{\partial X}{\partial\tau} \qquad \text{و} \qquad X' = \frac{\partial X}{\partial\sigma}$$

$$g_{ab} = \begin{bmatrix} \dot{X}^2 & \dot{X}X' \\ \dot{X}X' & X'^2 \end{bmatrix} \Rightarrow g = \dot{X}^2X'^2 - (\dot{X}\cdot X')^2$$

$$S = -\frac{T_0}{c}\int d^2\sigma\sqrt{-g} \Rightarrow S = -\frac{T_0}{c}\int d^2\sigma\sqrt{(\dot{X}\cdot X')^2 - \dot{X}^2X'^2}$$

في هذه الرابطة T_0 شدة سحب الوتر .

في نظرية الأوتار الفائقة لتسهيل العمليات الحسابية و لبعض الأغراض يستغنى عن المقادير العددية لأهم الثوابت الفيزيائية و تستبدل بقيمة الواحد لها ، و تبديلها الى وحدات عددية . هذه الثوابت : سرعة الضوء $c = 1$ ثابت بلانك (هايزنبرغ) $\hbar = 1$ ثابت نيوتن $G = 1$

في نظرية الأوتار يستعان بالثابت (Regge Slop) α' بهذه الصورة

$$T = \frac{1}{2\pi\alpha'}$$

الرابطة النهائية لهذا العمل في نظرية الأوتار البوزونية هي :

$$S = -\frac{1}{2\pi\alpha'}\int d^2\sigma\sqrt{(\dot{X}\cdot X')^2 - \dot{X}^2 X'^2}$$

تبدأ نظرية الأوتار الفائقة بمبدأ العمل . حركة الوتر (كمسح) ينتج عنه الصفحة العالمية بأقلّ مساحة ، أشبه بأقصر فاصلة بين نقطتين . ويرمز لهذا العمل بالحرف S .

توجد عدة صيّغ لهذا المبدأ و من أهمها (**Polyakov Aaction**)

$$S = -m\int ds$$

$$S = -m\int d\tau\sqrt{-\eta_{\mu\nu}\dot{x}^{\mu}\dot{x}^{\nu}}$$

هنا $\eta_{\mu\nu} = diag(-1,+1,+1,+1)$ (مصفوفة قطريه)

إذن عمل بلايكوف عبارة عن

$$S = \int d\tau\sqrt{g_{\tau\tau}}\left(\frac{1}{2}g^{\tau\tau}\partial_{\tau}x^{\mu}\partial_{\tau}x^{\nu}\eta_{\mu\nu} - \frac{1}{2}m^2\right)$$

بعض التعاريف التي يستفاد منها في نظرية النسبية العامة[1] ، و لا متغير لورينتز ، للوصول الى رابطة العمل في نظرية الأوتار .

$$\Delta\tau = \sqrt{\frac{\Delta s^2}{c^2}} \quad ، \quad \Delta s^2 > 0$$

$$\partial_a = \left[\frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t}, \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}\right]$$

$$\eta = diag\,(1,-1,-1,-1)$$

مترية مينكوفسكي في فضاء خالي وفقاً لنظرية النسبية العامة

$$\eta_{\mu\nu} = \eta^{\mu\nu} = \begin{cases} 1 & \text{If} \quad a=b=0 \\ -1 & \text{If} \quad a=b=1,2,3 \\ 0 & \text{If} \quad a\neq b \end{cases}$$

$$\Box = \eta^{\mu\nu}\partial_\mu\partial_\nu = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2} - \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\partial^2}{\partial y^2} - \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

$$x^a = [ct, x, y, z]$$

صيغة أخرى لعمل بلايكوف هي :

$$S = \frac{T}{2}\int d^2\sigma\sqrt{h}h^{ab}g_{\mu\nu}(X)\partial_a X^\mu(\sigma)\partial_b X^\nu(\sigma)$$

في هذه الرابطة T شدة السحب في الوتر ، و $g_{\mu\nu}$ مترية المانيفولد (manifold) ، و h^{ab} مترية الصفحة العالمية و h محددة h^{ab} .

1- لمطالعة رياضيات النسبية العامة و حساب التينسور يرجى مراجعة كتابي **نظرية النسبية العامة لأنشتاين** الموجود على الموقع

مستقبل النظرية الشاملة للفيزياء في ظلّ الرياضيات المعاصرة

تتجلى عظمة و صعوبة النسبية العامة في رياضياتها المتطورة و المعقدة ، هذه الرياضيات المعقدة جعلت هذه النظرية العامة للخواص (أي لمتخصصيها) . مطالعة النسبية العامة بعيداً عن محتواها و مفاهيمها الرياضية يحوّلها الى نظرية فلسفية و خيالية، و هذا ما نلاحظه عند التعامل مع ميكانيك النسبية العامة و ميكانيك نيوتن . كذلك الرياضيات المعقدة في نظرية الأوتار الفائقة و التي تفوق في التعقيد رياضيات النسبية العامة جعلت هذه النظرية تجتاز الواقع و تصبح ضرباً من الخيال .

بنظري ستصبح الرياضيات أحد أهم العقبات و الموانع في الوصول الى نظرية شاملة و جامعة للعلوم الفيزيائية ، و أمامنا هذه الخيارات مع هذه العقبة :

- بناء نظم رياضية جديدة مغايرة و متطورة على جميع النظم المتداوله

إما بسيطه فنتائجها كذلك بسيطة ، و إما أكثر تعقيد إذن فلا من جديد !

- تحويل النظرية العلمية الفيزيائية الى نظرية فلسفية و كلامية

مهما تطورنا في هذا المجال لا يمكن الإعتماد عليه و ذلك لعدم خضوعه للتجربة

- الإستعانة بعالم الغيب و القوى الغيبية !

لم يجرب الإنسان هذا المجال في القضايا العلمية ، و هذا مرهون التحديات الزمنية القادمة

- دمج العلوم الرياضية بالعلوم الفلسفية

هذا ما جربناها ، و كانت نتائجه نظرية الأوتار الفائقة و بنظري عُدنا من حيث بدأنا !

- دمج العلوم الرياضية و الفلسفية و الغيبية !

ربما نصل الى مقصد أسمى من ما نقصده ، نصل الى البُعد الثاني عشر !

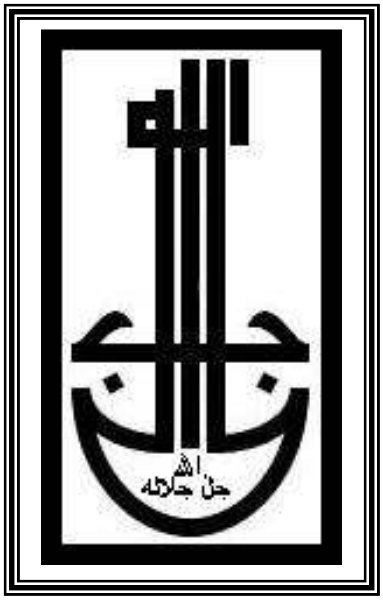
المصـــادر

الكتب

- INTERODUCTION to STRING FIELD THEORT, Warren Siegel
- An Introduction to String Theory and D-brane Dynamics, Richard J Szabo

المواقع

- http://www.superstringtheory.com/index.html
- http://www.theory.caltech.edu/people/jhs/strings/index.html
- http://universe-review.ca/F15-particle.htm#superstrings
- http://universe-review.ca/R15-18-string.htm#types
- http://www.damtp.cam.ac.uk/user/gr/public/qg_ss.html
- http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_string_theory_topics
- http://www.newton.ac.uk/webseminars/mondays/2000/10/16/dijkgraaf/



موقع جلال الحاج عبد

www.jalalalhajabed.com

البريد الألكتروني :

jalal.alhajabed@hotmail.com

jalal.alhajabed@yahoo.com