****

حلقة بحث علمية في مادة الفيزياء بعنوان:

النَّظريَّة النِّسبيَّة الخاصَّة

تقديم الطّالبة: ليلى حمدون

الصف : الأول الثانوي

بتاريخ: 11-1-2015

للعام الدراسي: 2015-2014

بإشراف المدرّس :رشيد سيّو

**المقدمة**

علم الميكانيك هو ذلك العلم الذي نراه أينما نظرنا على الأرض في السماء وفي أجسامنا أيضاً وقد استمرَّ علم الميكانيك محدوداً حتى ولادة شيءٍ جديد اسمه النظرية النسبية حيث قلبت موازين الميكانيك رأساً على عقب و أظهرت شذوذاً خارقة للطبيعة سواءً في سرعة الضوء أو في تمدد الزمن وارتباط الكتلة بالطاقة ...

ينقسم الميكانيك إلى ميكانيك كلاسيكي تحكمه قوانين نيوتن بشكل أساسي وميكانيك نسبي تحكمه قوانين النظرية النسبية و الفرق بينهما أن الميكانيك النسبي يتعلق بالسرعات الهائلة ما يقارب سرعة الضوء أما الميكانيك الكلاسيكي فيتعلق بالسرعات الصغيرة و المتوسطة التي تحصل في الحياة اليومية كسرعة سيارة مثلاً لذا لا يمكن تطبيق قوانين النسبية على سيارة بسرعة عادية و بالمقابل لا يمكن تطبيق قوانين الحركة التي تطبق على السيارة ونستعملها لجسم يتحرك بسرعة الضوء لأنه جسم نسبي في هذه الحالة , و لكن ضمن تقريب السرعات الصغيرة تتطابق قوانين نيوتن مع النسبية.تعتبر النظرية النسبية الخاصة التي وضعها العالم أينشتاين في عام 1905 أساسا لكل علوم الفيزياء الحديثة و التكنولوجيا المتقدمة و تعتبر من أعظم الإنجازات العلمية للعقل البشري.

**-إشكالية البحث:**

من أهم أشكال النظرية النسبية تمدد الزمن و هكذا إن هناك علاقة ما بين النسبية والسفر بين الأزمان ,فهل يمكن السفر وتكرار حدث ما؟؟؟

ما مدى صحة الموضوع كتجربة؟؟؟

إننا في الحاضر ولكننا إن ذهبنا إلى الوراء وغيرنا الأحداث فهل يتغير فعلاً ويؤثر على الواقع ؟؟؟

وبما أننا لم نتمكن حتى الآن من جعل جسم يتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء ,كيف يمكننا الاستفادة من النظرية النسبية ؟؟؟

و في دراستنا للنظرية النسبية سوف نتعرض لمفهوم الطول و الزمن و السرعة و كمية الحركة و الطاقة وانية حدوث الأشياء وهي بالطبع تختلف عن المفاهيم التي سبق و أن أتت بها الميكانيكا الكلاسيكية فليس هناك طول مطلق أو زمن مطلق عند نيوتن.

**الباب الأوَّل : شرح النظرية النسبية الخاصة**

**الفصل الأول: مبادئ النظرية النسبية**

سميت النظرية بالنسبية الخاصة لأنها تتعلق بالقوانين الطبيعية المطبقة في مناطق تتحرك بحركات منتظمة ,فخصصت الحركات بالانتظام . أو قيدت بالانتظام لذا تسمى أحياناً ((بالنظرية النسبية المقيدة)) ويمكن وضع هذه الأسس تحت مبدأين هامين هما:

1. **المبدأ الأوَّل: إن سرعة الضوء ثابتة في جميع اتجاهات الفضاء ولها القيمة نفسها بالنسبة لجميع المراقبين، ولا تعتمد على الحركة**

**النسبية بين المراقب ومصدر الضوء**.

ومعنى ذلك أنه يمكننا أجراء تجربة فيزيائية معينة في مكان ساكن و نحصل على نفس النتائج تماما لو كان هذا المكان متحرك بسرعة منتظمة، طالما أننا طبقنا نفس القوانين الفيزيائية في الحالتين. ويعرف هذا المبدأ ب**مبدأ نسبية الحركة** و هو يعتبر أساس للميكانيكا الكلاسيكية.

**المبدأ الثاني: سرعة الضوء في الفراغ مقدار ثابتة لا تعتمد على المرجع القصوري أو على المصدر أو على الراصد.**

أي بمعنى أن قوانين الفيزياء تأخذ الشكل نفسه في جميع هياكل الإسناد العطالية ، حيث أن السرعة والاتجاه ثابتين. فكل قانون يتم إثباته في هيكل إسناد عطالي يكون صحيحًا في أي هيكل عطالي آخر و هو أساس الاختلاف بين الفيزياء الكلاسيكية و الفيزياء الحديثة.

**عن: النظرية النسبية د.عبد الرحمن مرحبا/النظرية النسبية لآلبرت أينشتاين**

قبل مجيء النظرية النسبية كان يفترض وجود زمان ومكان مطلق ولهما القيمة نفسها بالنسبة إلى جميع المراقبين وقد برهن آينشتاين على أنه لا يمكن اعتبار الزمان والمكان شيئين مستقلين عن بعضهما وعن المراقب، بسبب ثبات سرعة الضوء في جميع الأوساط.

و هنا تشكلت لدينا الأبعاد الأربعة حيث الأبعاد المكانية معروفة الطول و العرض و الارتفاع أما البعد الرابع فهو البعد (الزماني) وهذه الأبعاد لتعيين هيكل إسنادي عطالي.

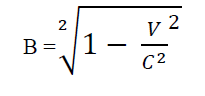
الضوء ينتشر على شكل أمواج و بقيت مشكلة هي أن الضوء ينتقل لذلك افترض العلماء مادة سموها الأثير( (Ether وبينما كانوا يتحدثون عن الأثير كان لا بد من إثبات وجوده. والفكرة بسيطة: إذا كان الأثير موجودًا فلا بد للأرض أن تنتقل خلاله كما تنتقل الطائرة خلال الهواء، أي بتشبيه الأثير بالهواء يجب تواجد نوع من الرياح الأثيرية حول الأرض , وإذا طبقنا قوانين نيوتن على الضوء فإن سرعة الضوء سوف تكون أعظم فيما لو كان الضوء يتجه نحو الناظر.

إنَّ هذين القانونين هما القانونان الرئيسيان في النظرية النسبية وتقوم عليهما هذه النظرية العميقة.

**عن: النظرية النسبية د.عبد الرحمن مرحبا/آلبرت أينشتاين النسبية الخاصة**

**الفصل الثاني: تباطؤ الزمن**

لقد استطاع العالم أينشتاين في بدايات القرن السابق (1905) من وضع النظرية النسبية التي استطاعت أن تزيل تلك المتناقضات التي نشأت من قصور النظرية الكلاسيكية. و تعد هذه النظرية واحدة من أعظم الإنجازات في القرن العشرين. و قد اشتهرت هذه النظرية بصعوبتها و في الواقع هذه الصعوبة لا ترجع إلى صعوبة المعالجة الرياضية لموضوعات هذه النظرية و لكن يرجع إلى وجوب إعادة النظر في مفاهيمنا عن الكثير من الأشياء مثل الزمن و الحركة و السكون و السرعة ...

لنفرض وجود هيكلين عطاليين(جسمان لكل منهما ثقل معين) نسبة السرعة بينهما تقارب سرعة الضوء فهنا يتباطأ الزمن بمعدل معامل الانكماشB : 

حيث Vسرعة الجسمين أما Cفهي سرعة الضوء التي تساوي حوالي 300000000Km/h

مثال: عند سفر رائد فضاء إلى نجم بعده 12.5 سنة ضوئية بسرعة ثابتة تساوي 0.999 من سرعة الضوء ثم العودة إلى الأرض يكون قد مضى على الأرض 25 سنة، ولكن عمر رائد الفضاء يكون قد زاد بمقدار سنة واحدة.

و هكذا نجد أنَّ هناك علاقة وثيقة بين سرعة الضوء و تباطؤ الزمن وهي علاقة سببية حيث أن حركة الجسم بسرعة تقارب سرعة الضوء تؤدي إلى أشياء عديدة منها تباطؤ الزمن .

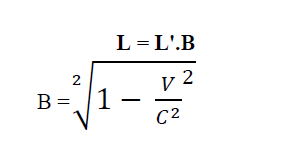
**النسبية الخاصة لآلبرت آينشتاين**

الشكل(1)يظهر قطع الضوء مسافات بعيدة بين الكواكب والنجوم في الفضاء مثلاً بين الأرض والشمس

**الفصل الثالث: تغيرات الطول والكتلة**

تخيل أنَّك مسافر في قطار تصل سرعته إلى 80% من سرعة الضوء مثلاً سوف ترى رصيف محطة القطار أقصر مما يراه الواقف على الرصيف و كذلك الواقف على الرصيف سوف يرى القطار أقصر مما تراه وأنت تركب القطار و هذا ما يعرف بتقلص الطول إذاً يمكن أن نقول إن انطلاق جسم ما بسرعة قريبة من سرعة الضوء ينتج عنها تقلص في الطول بالنسبة للجسم المنطلق, وتقلص الطول أو هذا الانكماش الظاهري لطول الجسم المتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء يعد من تنبؤات النظرية النسبية الخاصة.

يتقلص الطول بمقدار الجداء بالعامل B, وتعرف هذه الظاهرة بتقلص لورنتز، ويعطى بالعلاقة التالية:



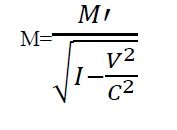
L: الطول في هيكل إسنادي متحرك بالسرعة **v.**

L: الطول مقاسا في هيكل إسنادي أخر.

استطاع العالم لورنتز في عام 1903 من وضع صياغة جبرية تحدد مقدار هذا الانكماش حيث السرعة تساوي سرعة الضوء.

لقد أصبح من الضروري إدخال معدل الانكماش هذا عند تحويل القياسات من منظومة مرجعية إلى أخرى عند تحرك الجسم بسرعة مقاربة لسرعة الضوء. وهذا الانكماش الخفي هو السبب في بقاء سرعة أشعة الشمس ثابتة سواء أكانت حركة الأرض في اتجاه الشمس أو تبتعد عنها.

تنبأت النظرية النسبية بأن الكتلة ليست ثابتة، ولكنها تزداد مع زيادة السرعة النسبية بين الكتلة والراصد وفقا للعلاقة التالية:



ومن ذلك يتبين أنه لا يمكن لجسم عطالي - حتى لو كانت كتلته صغيرة كالإلكترون- أن يتحرك بسرعة الضوء لأن كتلته تصبح لا نهائية. وتقتصر هذه السرعة على الجسيمات عديمة الكتلة كالفوتونات على سبيل المثال.

**النظرية النسبية د.عبد الرحمن مرحبا**

الفصل الرابع: **E=M.C2**

E=M.C2 علاقة شهيرة في الفيزياء النسبية وضعها ذلك العبقري الرائع أينشتاين و شكلت لغزاً محيراً للعلماء و الفيزيائيين وككل النظريات فقد قام أينشتاين باستنتاج هذه العلاقة بدءاً من فرضية و انتهاءً باستنتاج صحيح نسبياَ.

ويمكن شرح هذه العلاقة بالمثال الآتي: في الانشطار النووي تكون كتلة مجموع القوى الناتجة عن هذا الانشطار أقل من كتلة المواد الداخلة في الانشطار و ترتبط الطاقة الناتجة Eعن الانشطار بفرق الكتلة∆m وفق العلاقة: انطلاقاً من أن الكتلة تكافئ الطاقة، يشرح هذا القانون الشهير إمكانية تحويل المادة إلى طاقة E ومعناه في لغة الفيزياء أن الطاقة المحتواة في جزء من المادة تساوي كتلة هذا الجسم مضروبة في مربع سرعة الضوءC.

الشكل(2) علاقة الطاقة بالكتلة:

E=m.c2

وقد بين هذا القانون مصدر طاقة الشمس لأنها لو كان لها مصدر طاقة لكانت قد بردت منذ طويل ولكنها لا تبرد بسبب تحولات المادة إلى طاقة,

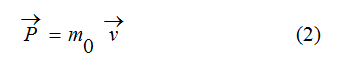
و ها هنا جاءت فكرة القنبلة الذرية حيث تستمد طاقتها من المواد التي بداخلها و كانت فتحاً كبيراً في فيزياء الطاقات العالية.

لا يوجد جسم عطالي وصل إلى سرعة الضوء حتى الآن ولذا فإن هذه الفرضية غير مثبتة تجريبياً و لا يمكن الحكم بصحتها عملياً لأنً الجسم الذي يتحرك بسرعة الضوء تتناقص كتلته حتى تنعدم.

**عن: أينشتاين والنسبية / كتاب الفيزياء الصف الثاني الثانوي العلمي المنهاج السوري**

الفصل الخامس: P=m .v

و تسمى m في هذه الحالة بالكتلة النسبية للجسم، و حسب التعريف تكون الكتلة النسبية هي تلك الكمية الفيزيائية التي يجب ضربها في متجه السرعة *v* لكى تعطى متجه كمية الحركة P.

بشرط أن يكون مجموع كمية الحركة ∑ P لنظام معزول كمية ثابتة (محفوظ). و لقد وجد انه لكى نحافظ على قانون بقاء كمية الحركة صالحا في الفيزياء النسبية يستلزم أن نطبق تحويلات لورنتز للسرعة و يجب أيضا أن تؤول كمية الحركة النسبية العلاقة (1) الى كمية الحركة الكلاسيكية و التي تعطى من:

حيث *m*0 هي الكتلة عند سرعات صغيرة حيث ( *v* < C) و ذلك بتطبيق مبدأ التناظر أو بمعنى آخر (الدليل الذي يرشدنا عن الطريقة التي تتناظر بها النظرية التي ندرسها مع النظرية الأقل عمومية) و ينص على أن: (أي نظرية فيزيائية جديدة أيا كانت مواصفاتها لابد و أن تؤول إلى النظرية الأقل عمومية منها كحالة خاصة من الأولى). و لكي يتحقق ذلك سوف نكون أمام خيار و حيد و هو مبدأ الكتلة النسبية، أي بصدد التعامل مع كتلة الجسم على أنها كمية ليست ثابتة و لكنها تعتمد بطريقة ما على سرعة الجسم و تتغير بتغيرها.

عن:النسبية الخاصة لألبرت أينشتاين

الباب الثاني: أبعاد النظرية النسبية

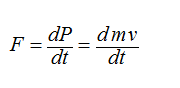
الفصل الأوَّل: نيوتن وأينشتاين أين يتفقان و كيف يختلفان؟

إن ميكانيك أينشتاين النسبي أوجد لكي يجد حلولاً لظواهر غريبة كتمدد الزمن على سبيل المثال و تمدد الزمن الذي ينافي قوانين نيوتن يوافق النسبية تماماً.

القوانين الرئيسية لنيوتن هي الجاذبية الأرضية و قوانين الميكانيك الأول و الثاني و الثالث الشهيرة وينص الأول على أنَّ الأجسام متحركة بسرعة ثابتة تبقى على حالها مالم تؤثر عليها قوى خارجية, وينص الثاني على أنَّ مجموع محصلات القوى المؤثرة على جسم تساوي الكتلة بتسارع الحركة أما الثالث فينص على أن لكل فعل رد فعل مساوٍ له بالقوة ومعاكس له بالاتجاه.

يمكننا إعادة صياغة قانون نيوتن الثاني من وجهة نظر النظرية النسبية الخاصة. حيث ينص هذا القانون على أن مقدار التغير في كمية الحركة يساوى القوة المؤثرة.

**عن: فلسفة الفيزياء**



و من وجهة نظر الفيزياء الكلاسيكية أن السرعة هي فقط التي تعتمد على الزمن و لكن من دراستنا السابقة للنظرية النسبية وجدنا أن كل من السرعة و الكتلة تتغير مع الزمن، و لذلك تأخذ المعادلة السابقة الشكل التالي (من وجهة نظر النسبية):



ولنفرض أننا أردنا الانتقال ما بين قوانين نيوتن وأينشتاين وجب علينا أن نغير العناصر البنيوية الأساسية التي يتألف منها قوانين العالم الذي تنطبق عليه فمن العبث مثلاً أن نبحث عن تفسير لظاهرة اضطرابات حركة القمر عن طريق النسبية.

ولنعرض الفرق بين نسبية يوتن ونسبية أينشتاين حيث قصد نيوتن عدم تغير القوانين الميكانيكية في أي منطقة عن الأخرى أما أينشتاين فقد قصد عدم تغير قوانين الطبيعة إطلاقاً ميكانيكية أو ضوئية أو كهربائية أو حتى مغناطيسية .

**عن: النسبية الخاصة**

**الفصل الثاني: البعد الرابع ... الزمنT**



الشكل(3)تمدد الزمن

فسرت النظرية النسبية العديد من الظواهر من مثل تمدد الزمن عند المسير بسرعة تقارب سرعة الضوء حيث يتباطأ الزمن عند التحرك بهذه السرعات فالوقت المقاس يختلف باختلاف الأطر المرجعية كما تختلف الفترات الزمنية بين حدثين.

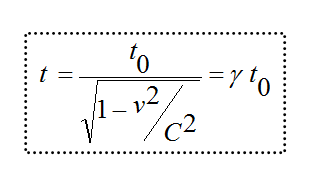
**الأدلة التجريبية على حقيقة تمدد الزمن:**

استطالة الوقت ظاهرة حقيقية تم التحقق من وجودها بالعديد من الأدلة لعل من أبرزها

1- وجود الميونات muons على سطح الأرض. و الميونات هي جسيمات أولية غير مستقرة لها شحنة تساوى شحنة الإلكترون و كتلتها أكبر من كتلة الإلكترون ب 207 مرة و تنتج من الأشعة الكونية في طبقات الجو العليا و فترة عمر النصف لها 2.2 ميكرو ثانية إذا قيست بساعة في إطارها المرجعي (أي ساعة تتحرك مع الميونات ).

إذا قسنا فترة عمر النصف بساعة على الأرض سنجد أنها تساوي γ t و بذلك تكون فترة عمر النصف طبقا للساعة الأرضية 15.59 ميكرو ثانية و المسافة التى يقطعها الميون خلال تلك الفترة هي 4631.82 m و هي مسافة كافية لكى يصل إلى سطح الأرض قبل أن تتحول كتلته إلى طاقة.

قام العالمان جوزيف هافل و ريتشارد كيتنج بوضع مجموعة من الساعات الذرية، و الساعة الذرية هي ساعة تصل دقتها إلى 1012 من الثانية و هي تستخدم كمقياس معيارى للوقت و تستخدم فيها ذرات السيزيوم داخل طائرة ركاب. و طافت هذه الطائرة مرتين حول الأرض و كان الهدف من ذلك هو اختبار صحة ظاهرة تمدد الزمن. وقد حصل العالمان على نتائج تتوافق مع المعادلة الآتية مما يؤكد ظاهرة تمدد الزمن.



**عن: أينشتاين والنسبية / النسبية الخاصة**

الباب الثالث: إمكانية تطبيق النظرية النسبية

كان آينشتاين بمفرده مسؤولاً عن اكتشاف النظرية النسبية كما أنه لعب دوراً هاماً في ميكانيكا الكم ,و لكنه انزعج بشدة بسبب أبحاث هايزنبرغ و بول ديراك و شرودينغر و الذين أنشأوا صورة جديدة للواقع تقوم على مبدأ الارتياب و ينص على أنه من غير الممكن قياس كل من موضع الجسم وسرعته بدقة تامة في الوقت نفسه , فكلما زادت الدقة في قياس أحد المقداريين تناقصت الدقة في قياس الآخر .

أي أن هناك دائماً عنصر من الارتياب أو عدم اليقين مما روَّع آينشتاين من هذا العنصر العشوائي في القوانين الأساسية. و قد عبر آينشتاين عن مشاعره في رسالة بعث بها إلى ماكس بورن :( أنت تؤمن بإله يلعب النرد و أنا أؤمن بقانون ونظام كاملين) لذا من غير الممكن تطبيق النظرية النسبية بشكل متناهٍ في الدقة بسبب الارتياب بالرغم من تأكيد أينشتاين وجود بعض القوانين الكاملة تماماً.

**عن: عمالقة العلم /فلسفة الفيزياء**

الفصل الأول: السفر عبر الزمن....هل هو حقيقة أم محض خيال؟؟؟

السفر عبر الزمن ... هل هو حقيقة؟؟؟ أم أنه قصة من قصص الخيال الذي اخترعته المخيلات الخصبة للمبدعين من البشر؟؟؟ أسئلة تطرق عقول الفيزائيين والباحثين في النظريات الفيزيائية وهل يمكن إثبات واقعيته أو نفيها بواسطة النسبية ؟؟؟

في الواقع...نعم يمكن التوصل إلى نتيجة باستعمال النسبية ...

لنأخذ مثالاً على جسم يتحرك بسرعة الضوء حقيقةً ..الفوتونات تلك المملكة العظيمة التي تسكن معنا كلما أشعلنا النور إنها موجودة في الواقع و لكنها لم تكن حين كان المصباح مطفأً منذ مدة.. إذاً هي لا تسافر عبر الزمن إلى الماضي وبالمقابل حين نطفئ الضوء لا نتمكن من رؤيتها فهي لا تسافر إلى المستقبل بتاتاً ...

هذا بالنسبة لجسم معدوم الكتلة .. و لكن ماذا عن الجسم العطالي ذو الكتلة هل يمكن له التحرك بالسرعات القريبة من سرعة الضوء بالتأكيد لا.. لأن الجسم العطالي له كتلة معينة وعند تحركه بسرعة الضوء تتحول كتلته إلى طاقة

**عن: النظرية النسبية الخاصة والعامة**

الشكل(4) بدلة تخيلها العلماء تساعد الإنسان على الجري بسرعة الضوء

**الباب الرابع :أثر النسبية على ولادة ميكانيكا الكم**

في بداية القرن العشرين وضعت نظريتان جديدتان هما النظرية النسبية الخاصةو العامة-التي اكتشفها أينشتاين بعد الخاصة- وميكانيكا الكم حيث تتعامل النسبية مع المكان والزمان وكيفية انحنائهما على المدى الواسع تحت تأثير المادة و الطاقة في الكون أما ميكانيكا الكم فيتعامل مع عالم الصغريات ورغم وجود ذلك الارتياب الذي تحدثنا عنه وافق معظم العلماء على صحة قوانين الكم الجديد و هي الأساس للتطورات في الكيمياء الحيوية والبيولوجية الجزئية وعالم الإلكترونيات ,وكانت أساس التكنولوجيا التي أحدثت تحولاً في العالم في السنين الخمسين الأخيرة.

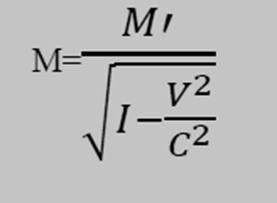
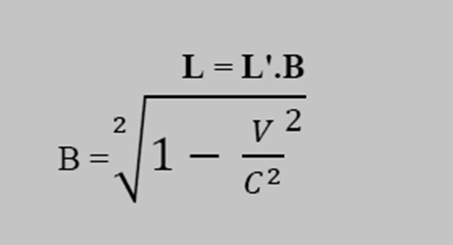
**عن: فلسفة الفيزياء/النظرية النسبية**



خلاصة

إن عالم النسبية له قوانينه الخاصة المستقلة و هو عالم متكامل بذاته رائع الجمال حيث تكون الفيزياء في أجمل صورها... كنظريات...

إن مملكة الفوتونات الكائنة في كل مكان تلك التي تعيش في عالمنا وتخضع لقوانين النسبية...هي من أعظم الممالك في التاريخ ... ولكن أعماقها العظيمة و أسرارها لم تكتشف بعد ولكن من يدري بعد حين ماذا يمكن أن يحدث؟؟ لربما أصبح بإمكاننا تحريك جسم عطالي بطريقة ما...و بالرغم من استحاليته الآن إلا أن العلم يخبئ أشياء جميلة...

إن حركة الجسم العطالي بسرعة الضوء هو أمر مستحيل تماماً لذا فالسفر عبر الأزمان مستحيل بالنسبة لجسم عطالي إذا أردنا استخدام سرعة الضوء للسفر عبر الأزمان حسب قانون أينشتاين()وهكذا تزداد كتلة الجسم لتصبح معدومة في اللانهايةأما بالنسبة للطول فحسب قانون أينشتاين()أي أن الطول لذا فسفر الأجسام العطالية عبر الزمن أمر مستحيل تماماً ...

المراجع

أينشتاين والنظرية النسبية الخاصة والعامة. د.عبد الرحمن مرحبا.

عمالقة العلم. فيليب كين.دمشق.

ألبرت أينشتاين .النظرية النسبية .

أينشتاين والنسبية .د. مصطفى محمود.

فلسفة الفيزياء .ماريو بونج. ترجمة حافظ الجمالي. كلية التربية السورية.

كتاب الصف الثاني الثانوي العلمي للفيزياء المنهاج الرسمي السوري.

الفهرس

العنوان رقم الصفحة

مقدمة.....................................................................................1

الباب الأول: شرح النظرية النسبية الخاصة...........................................2

الفصل الأول: مبادئ النسبية الخاصة..................................................2

الفصل الثاني:تباطؤ الزمن..............................................................3

الفصل الثالث: تغيرات الطول والكتلة..................................................4

الفصل الرابع: E=m.c2................................................................6

الفصل الخامس:p=m .v...............................................................7

الباب الثاني: أبعاد النظرية النسبية الخاصة...........................................7

الفصل الأول:نيوتن وأينشتاين أين يتفقان وكيف يختلفان.............................7

الفصل الثاني: البعد الرابع...الزمنT...................................................9

الباب الثالث: إمكانية تطبيق النظرية النسبية.........................................10

الفصل الأول: السفر عبر الزمن......................................................11

الباب الرابع:أثر النسبية الخاصة على ولادة ميكانيكا الكم..........................12

خلاصة.................................................................................12

المراجع................................................................................14