الجمهورية الجزائرية الديموقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي

الميدان :علوم المادة

تخصص : فيزياء نظرية

من إعداد الطالبتين :بن زوادة رونق

بوعافية فردوس

بعنوان :

التصحيحات الناتجة عن النسبية الخاصة والعامة في منظومة GPS

نوقشت بتاريخ : 2018/06/11

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

بن بيتورمحمد عبد الوهاب	أستاذ محاضر(أ)	جامعة ورقلة	مؤطرا
ثورية شهرة	أستاذ محاضر(أ)	جامعة ورقلة	رئيسا
بن طويلة عمر	أستاذ محاضر(أ)	جامعة ورقلة	ممتحنا

الموسم الجامعي :2017/ 2018

إهداء

إليك ربي علمي هذا خالصا لجلال وجهك وعظيم سلطانك والى نبيك الكريم هادي الأمة ومربيها

الأحمدي خاتم الأنبياء والمرسلين

أهدي هذا العمل المتواضع إلى أبي الذي لم يبخل علي يوماً بشيء

وإلى أمي التي ذودتني بالحنان والمحبة

أقول لهم: أنتم وهبتموني الحياة والأمل والنشأة على شغف الاطلاع والمعرفة

وإلى إخوتي وأسرتي جميعاً

ثم إلى كل من علمني حرفاً أصبح سنا برقه يضيء الطريق أمامي وعندما تكسوني الهموم أسبح في بحر حنانها ليخفف من آلامي .. أمي

واهدي لاحبتي روائع التقدير والتبجيل وثمرات هذا

النجاح والحمد الله دائما وابدا

شكر وعرفان

قبل كل شيء نحمد الله عز وجل و نشكره الذي أنعم علينا بنعمة العلم، و أنار طريقنا نحو سبل النور و المعرفة.

و من باب الاعتراف بالجميل لا يسعنا إلا أن نتقدم ببالغ عبارات الشكر و التقدير لأستاذنا "بن بيتور عبد الوهاب "، على قبوله مؤطراً لنا ، و على المجهودات الكبيرة، ونصائحه العلمية القيمة.

و أ شكر ايضا الأستاذ" ثورية شهرة "لقبوله ترؤس لجنة المناقشة، كما أشكر

الأستاذ "بن طويلة عمر "لقبوله مناقشة هذه المذكرة و أتمنى أن يفيدوني بآرائهم القيمة و البناءة.

فم لا يغيب عن خاطرنا إلا أن نتقدم بالشكر الجزيل إلى والدينا و تشجيعنا المتواصل لإكمال هذه ا لمذكرة و كل من ساهم ومدّ لنا يد العون في إنجاز هذا العمل المتواضع..

رونق- فردوس

فهرس المحتويات	صفحة
الاهداء الشكر	
فهرس الجداول والأشكال	I
مقدمة عامة	1
الفصل الأول: تقنية نظام ***GPS***	
مدخل عام لنظام ***GPS***	4
نبذة تاريخيه	4
تعريف نظام ***GPS***	4
التطور التاريخي والصناعي	4
تطور الساعات عبر التاريخ	5
شبكة ال***GPS***	13
فكرة عمل نظام ال GPS	16
الإشكالية	17
الفصل الثاني: النظرية النسبية العامة والخاصة	
ماهي النظرية النسبية	19
ما الفرق بين النسبية العامة والخاصة	19
الابعاد في نظرية النسبية	19
النظرية النسبية الخاصة	19
النظرية النسبية العامة	22
الفصل الثالث: تأثيرات النسبية العامة والخاصة	
تأثير الجاذبية على الزمن (النسبية العامة)	26
تأثير السرعة على الزمن (النسبية الخاصة	28
تأثير ظاهرة *Doppler*	29
ظاهرة سانياك	30
الحسابات النظرية والحسابات التجريبية	32
الخاتمة	
قائمة المراجع	

قائمة الجداول

الرقم	فهرس الجداول	صفحة
الجدول (3–1)	الجدول تمددات الزمنية محسوبة نظريا الاتجاه شرق وغربا ومقارنة مع قياسات تجريبية	32

قائمة الأشكال

الرقم	فهرس الأشكال	صفحة
الشكل (1–1)	الساعة الشمسية	6
الشكل (1–2)	الساعة المائية	6
الشكل (1–3)	الساعة الرملية	7
الشكل (1–4)	الساعة البخورية	7
الشكل (1–5)	الساعة الفلكية	8
الشكل (1–6)	الساعة الشمعية	8
الشكل (1–7)	ساعة الفيل	9
الشكل (1–8)	مضخم إشارات هيدروجيني يستعمل في الساعة الذرية.	11
الشكل (1–9)	محطات التحكم والمراقب	12
الشكل (1–10)	مستقبلات أل GPS	13
الشكل (1–11)	شريحة الفضاء	13
الشكل (1–12)	نماذج أقمار الصناعية للنظام GPS	14
الشكل (1–13)	التردد والشفرة في إشارة أقمار الصناعية	15
الشكل (1–14)	كيفية قياس زمن الاشارة	15
الشكل (1–15)	يعتمد تحديد الموقع على ثبات سرعة إشارة ضوئية	17
الشكل (3–01)	انحناء الفضاء نتيجة كتلة الأرض	26
الشكل (3–02)	نظامECI	27
الشكل (3–03)	رسم موضح لظاهرة دوبلر	29
الشكل (3–04)	كيفية قياس زمن اشارة	30
الشكل (3–05)	تصحيح Sagnac	31

مقدمة عامة

مقدمة العامة:

قبل نحو 100 سنة، كانت ميكانيكا الكم موضوعاً نظرياً بحتاً تمّ تطويره فقط لنفهم خصائص محددة للذرات. و لم يكن هناك تطبيقات على الإطلاق في أذهان آبائها المؤسسين مثل فيرنر هايزنبيرغ وإرفين شرودنغر ، حيث كانوا مدفوعين بالسعي لفهم ما يتكون منه عالمنا. وتشير ميكانيكا الكم إلى أنك لا تستطيع مراقبة منظومة ما دون أن تحدث بها تلك المراقبة تغييراً جذرياً، وكانت آثاره على المجتمع في البداية ذات طبيعة فلسفية وليست تجريبية. لكن اليوم أضحت ميكانيكا الكم الأساس في استخدامنا لجميع أنصاف النواقل في الحواسيب والهواتف النقالة، فلإنشاء نصف ناقل حديث قابل للاستخدام في الحاسوب، عليك استيعاب بعض المفاهيم مثل سلوك الإلكترونات في مادة صلبة، وهذا أمر موصوف بدقة فقط عن طريق ميكانيكا الكم. فمن دونه لعلقنا باستخدام حواسيب تعتمد الصمامات المفرغة . و قبل ا لتطورات الرئيسة في ميكانيكا الكم، كان ألبرت أينشتاين Albert Einstein يحاول فهم الجاذبية –القوة المهيمنة على الكون– بشكل أفضل. وبدلاً من النظر للجاذبية على أنها قوة بين جسمين، وصفها بأنها إنحناء في الزمكان space-time حول كل جسم، وهذا مشابه لكيفية امتداد صفيحة مطاطية عند وضع كرة ثقيلة في أعلاها. فكانت هذه النظرية النسبية العامة لأينشتاين general theory of relativityتعد النظرية النسبية من اهم النظريات العصرالحديث فقد جاءت وغيرت مفاهيم العالم حول المكان والزمان و من احد نتائج النظرية النسبية هو انه اذا كان هناك مراقبين يتحركان بسرعات مختلفة، فان كلا منهما يحصل على قياسات مختلفة لنفس الحدث. وبالرغم من ذلك فان كلا القياسات صحيحة. لانها نسبية. على سبيل المثال قد يقيس شخص على الارض فترة زمنية لحدث بمئات الاعوام وقد يقيس الفترة الزمنية لنفس الحدث بضعة ساعات اذا كان متحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء. لنأخذ مثالا اخر لشخص يقيس طول سيارة واقفة بالنسبة له ويجدها تساوي وحدة الطول مثلا ولكن عندما تتحرك نفس السيارة بسرعة قريبة من سرعة الضوء فان طولها سوف يبدو اقصر للشخص الواقف. هاتين النتيجتين تعرفان في النظرية النسبية بالتأخير الزمني *time dilation*والانكماش الطولي.*length contraction* .

قد يتساءل البعض عن أهمية وفائدة النظرية النسبية لآينشتاين فعلياً، فليس من الغريب أن نظن بأنها نظرية رياضية مجردة ليس لها أي عواقب في الحياة اليومية. ولكن في الواقع، هذا الظن بعيد جداً عن الحقيقة طالما انها تتحدث عن سرعات كبيرة تقارن بسرعة الضوء ومن هذا المنطلق قمت باعداد هذا الموضوع من اجل نوضح كيف استخدمت النظرية وبالاخص في تكنولوجيا الحديثة مثل نظام تحديد المواقع *GPS*.

تقريبا كل شخص استخدم الهواتف الذكية يعلم انها تستخدم انظمة تحديد المواقع والتي تعرف بتقنية *global positioning system* وتختصر بـــ *GPS* في كل مرة تخطط لمسار طريقك ابتداءا من موقعك الحالي فان هاتفك الذكي يتصل مع قمر صناعي ليعرف بالتحديد اين انت على الارض. تدور الاقمار

الصناعية حول الارض بسرعة كبيرة تصل إلى 10,000 كيلومتر في الساعة. هذا قد يبدو سريع جدا الا ان هذه السرعة لا تعادل واحد على الف من سرعة الضوء، وبالتالي سوف تعتقد ان هذه السرعة ليست سرعة كبيرة وان النسبية هنا ليس لها تأثير على الاطلاق. لكن حتى عند هذه السرعة الصغيرة بالمقارنة مع سرعة الضوء، الا ان القمر الصناعي يتعرض لظاهرة التأخير الزمني بمقدار يصل إلى 4 ميكروثانية كل يوم. اي ان الزمن بالنسبة للقمر الصناعي يتحرك اسرع من الزمن على الارض واذا اخذنا تأثير الجاذبية والتي تؤدي ايضا إلى زيادة التأخير الزمني – هذا ايضا تنبأت به النظرية النسبية العامة – فاننا نحصل على حوالي 7 ميكروثانية تأخير في كل يوم[1].

تتضمن هذه المذكرة ثلاث فصول و خلاص عاة حيث يشمل كل فصل مايلي :

- **الفصل الأول:** تطرقنا لتعريف منظومة *GPS وكذلك تطور التاريخي وصناعي له* وقمنا بدراسة تقنية للنظام حيث تعرفنا لمكونته وشرائحه وتناولنا فكرة عمل هذا نظام (*GPS*) وطرحنا إشكالية موضوعنا .
- **الفصل الثاني:** تضمن حول مفهوم النسبية بشكل عام وكذا تعريف النسبية العامة والخاصة وطرحنا المعدلات التي أتت بها النظرية النسبية لتساعدنا على إيجاد حلول للمشاكل التي تواجه نظام *GPS*.
- **الفصل الثالث:** الفصل الثالث قمنا بأخذ جميع التأثيرات النسبية سواء الخاصة والعامة على نظام *GPS* حيث أوجدنا معادلة تمدد الزمني راجع للحركة عبر تحويلات لورنتز ومعادلة تمدد الزمني بفعل ألجاذبي عبر إيجاد المترية الموافقة لمعادلات اينشتاين للمجال ألجاذبي وكذا التمدد الراجع لظاهرة سانياك الذي يدخل ضمن النسبية الخاصة في المعالم الدورانية وكذا المقارنة بين الحسابات التجريبية والحسابات النظرية .

الفصل الأول

تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع

GPS

I–1مدخل عام لنظام *GPS*

I–1–1 نبذة تاريخية:

قبل اكتشاف *GPS* كان إنسان قديما يستخدم لتحديد الاتجاهات والموقع بآلة إسطرلاب وهي آلة فلكية قديمة أطلق عليها العرب" ذات الصفائح "وهو نموذج ثنائي البعد للقبة السماوية، يظهر كيف تبدو السماء في مكان محدد عند وقت محدد .وقد رسمت السماء على وجه الإسطرلاب بحيث يسهل إيجاد المواضع السماوية عليه .بعض الإسطرلابات صغيرة الحجم وسهلة الحمل، وبعضها ضخم يصل قطر بعضها إلى عدة أمتار .وقد كانت تعتبر حواسيب فلكية في وقتها، فقد كانت تحل المسائل المتعلقة بأماكن الأجرام السماوية، مثل الشمس والنجوم، والوقت أيضا .لقد كانت تستخدم كساعات جيب لعلماء الفلك في القرون الوسطى . بهِ تمكنوا أيضا من قياس ارتفاع الشمس في السماء، وهذا مكنهم من تقدير الوقت في النهار أو الليل .آلة الإسطرلاب المعقدة تُبنى عليها في وقتنا الحالي آلية عمل البوصلة والأقمار الصناعية ومشابهة لطريقة عمل النظام التموضع العالمي الذي ظهر في عصرنا الحالي[6].

I–1–2 تعريف نظام GPS :

كلمة *GPS*هي اختصار *Global position system* نظام تحديد المواقع العالمي .وقد طورت هذه المنظومة من قبل وزارة الدفاع الأمريكية عام 1973، وبكلفة مقدارها (12) مليار دولار امريكي.كان الهدف الاساسي من شبكة الاقمار الصناعية عسكريا بحتا ، ولكن في عام 1980م سمحت الحكومة الأمريكية بأن يكون هذا النظام متاحا للاستخدامات المدنية .يعمل هذا النظام في كافة الظروف الجوية وفي كل مكان في العالم وعلى مدار 24 ساعة في اليوم ، ولا يشترط الاشتراك من الاجل الحصول على هذه الخدمة لأنها مجانية [5]

I–1–3 التطور التاريخي والصناعي :

إن تصميم GPSيستند بشكل جزئي على أنظمة ملاحة لاسلكية أرضية مماثلة مثل: الإبحار طويل المدى LORAN، ونظام إبحار دكا Decca Navigation الذي تم ابتكاره في أوائل الأربعينيات وتم استخدامه في الحرب العالمية الثانية. في عام 1956 قدم " فريدقاردت قينتربرك " مقترحاً باختبار لنظرية النسبية العامة باستخدام ساعات ذرية دقيقة يتم وضعها في المدار عن طريق زرعها في الأقمار الصناعية. ولدواعي الدقة تستخدم تقنية GPSمبادئ النسبية العامة لتصحيح وضبط الساعات الذرية للأقمار الصناعية. ولقد أتى المزيد من إلهام GPSعندما أطلق الاتحاد السوفيتي أول قمر صناعي يدوي الصنع: "سبوتنيك" في 1957.[1]

إن الساعات الموجودة على الأقمار الصناعية هي ساعات الذرية قد يطرح البعض أسئلة عن الساعة الذرية وبماذا تتميز عن غيرها من الساعات سنتطرق الآن للحديث عنها لكن قبل ذلك سنتناول تطور ساعات على مر التاريخ .استخدم الإنسان عدة سبل لقياس مرور الوقت، فقبل ظهور الساعات في شكلها المتعارف عليه حالياً، اعتمدت الحضارات القديمة سواء الفرعونية أو الإغريقية أو الرومانية، على أدوات غريبة لمعرفة الوقت؛ مثل الأجرام السماوية، والماء، والبخور.. وغيرها.

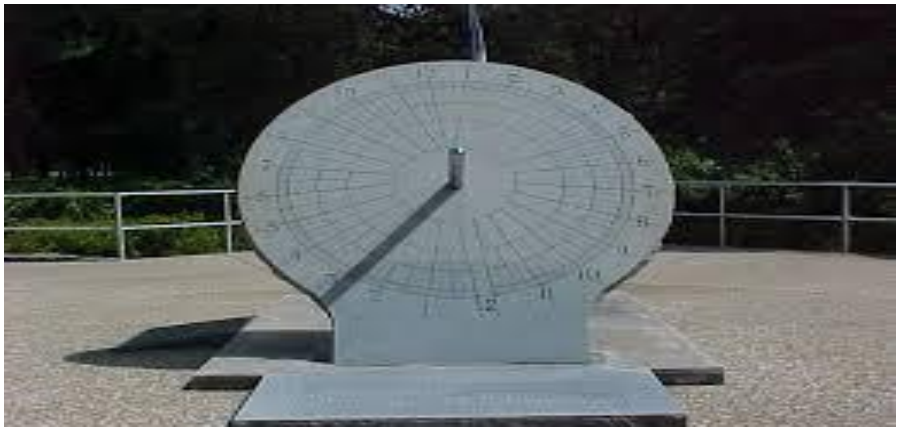
ورغم بدائية تلك الساعات، إلا أنها تكشف عن عبقرية الإنسان القديم، الذي سعى لتحديد الوقت رغم ضعف الإمكانيات المتاحة له، على عكس ما نحن عليه الآن. فيما يلي، نرصد كيف تطورت أدوات قياس الوقت من ''الشمسية'' إلى ''الذرية'' .

I-2 تطور الساعات عبر التاريخ:

I-2-1- الساعة الشمسية:

أقدم الساعات هي تلك التي كانت تعكس ببساطة الدورات التي تحدث في السماء ليراها الناس وقد كانت عبارة عن دوائر عملاقة من الحجر أو أية مادة أخرى تحدد تعاقب الفصول أو حركة النجوم أو شواهد صخرية.

ويَعتقد العلماء أن هذه الشواهد الصخرية ، وهي مجموعات من الأحجار الضخمة القديمة التي وجدت في انكلترا.. كانت تستخدم في وقت من الأوقات كساعة من تلك الساعات ففي أوقات معينة من السنة تكون الشمس والقمر على خط واحد مع بعض الصخور وعندما يحدث ذلك يدرك القدماء أن فصلاً جديداً قد بدأ. ولم يخطر على بال البشر مطلقاً تقسيم الأيام إلى وحدات متساوية حتى ما يُقرب من 4000 سنة مضت حينما ظهرت فكرة تقسيم اليوم إلى أربع وعشرين ساعة وربما كان ذلك عند البابليين الذين ابتكروا المزولة أو الساعة الشمسية لمعرفة الوقت (وهي عبارة عن دائرة عليها علامات تبيـــّن الساعات فيما بين شروق الشمس وغروبها وتغرس في وسط الدائرة ساق خشبية صغيرة حيث يقع ظلها على العلامات ومع حركة الشمس عبر السماء يتحرك الظل مشيراً إلى الوقت .



شكل (1-1): الساعة الشمسية

I-2-2- الساعة المائية:

نتيجةً لصعوبة قياس الوقت ليلاً بواسطة "المسلة"، صنع قدماء المصريين ما يعرف بالساعة المائية، وهي عبارة عن وعاء به ثقوب صغيرة في القاع، ويطفو على سطح الماء، وكان يعرف الوقت من خلال الـــ 12 سطراً رأسياً منقوش على جانب الوعاء الذي يملأ بمعدل شبه ثابت.

أما أقدم نموذج من هذا الساعات، فقد عثر عليه في مقبرة أمنحتب الأول فرعون مصر في الفترة (1525-1504) قبل الميلاد، نقلت بعد ذلك تلك الساعة إلى اليونان القديمة على يد افلاطون، وكذلك عرفها باقي حضارات العالم القديم، وهي الإغريق، وبابل، وفارس ، والصين، والهند على أيدي علمائها في ذلك الوقت.

شكل(1-2): الساعة المائية

I-2-3- الساعة الرملية:

عرفت الحضارة السومرية ما يعرف بالساعة الرملية في العام 3300 قبل الميلاد، وهي عبارة عن غرفتين زجاجيتين متقابلتين رأسياً متصلتين بواسطة فتحة صغيرة، تتساقط حبات الرمل من الغرفة العلوية إلى السفلية بمعدل ثابت. وهي من الساعات الموثوق بها لقياس الوقت في الرحلات البحرية، وظلت قروناً عدة تستخدم على متن السفن.

شكل(3-1): الساعة الرملية

I-2-4- الساعة البخورية:

عرفت الصين واليابان هذا النوع من الساعات في القرن الـ 6 الميلادي تقريباً، وهي عبارة عن عصا للبخور ذات قياسات محددة، ويوجد فيها مجرى محفور يشبه المتاهة، يحتوي على أنواع متعددة من البخور، وكان مستخدمو الساعة يشعلون البخور عند أحد الأطراف فلا ينتهي اشتعال أحد أنواع البخور حتى تكون قد انقضت ساعة كاملة. ظل هذا النوع من الساعات يستخدم حتى بدايات القرن الـ 20.

شكل (1-4): الساعة البخورية

I-2 – 5- الساعة الفلكية:

خلال القرن الـــ 11 وفي عهد أسرة سونغ، ابتكر عالم الفلك والمهندس الصيني سوسونغ ساعة فلكية تدار بالماء، واستخدم فيها تقنية ميزان الساعة، بالإضافة إلى سلسلة نقل حركة لتدير الحلقات بها.

في بداية القرن الـــ 12، بدأ الفلكيون المسلمون تطوير هذا النوع من الساعات، واستخدامها في المساجد، ومن أشهر من ساهم في تطويرها وتحسين أدائها، هم الجزري، وابن الشاطر، وأبو الريحان البيروني.

شكل(1–5): الساعة الفلكية

I-2 –6- الساعة الشمعية:

لا أحد يعرف على وجه التحديد متى بدأ استخدامها، لكنها كانت منتشرة في الصين واليابان وبلاد فارس، وظلت على حالها حتى طورها إسماعيل الجزري في العام 1206 ميلادية، فجعل لها عقرباً لعرض الوقت، حيث كان يمثل إذابة الشمعة ساعة واحدة فقط.

شكل(1–6): الساعة الشمعية

I-2 -7-ساعة الفيل:

من الساعات العجيبة التي صنعها الجزري هي ساعة الفيل، وهي ساعة مائية على شكل فيل ضخم، يعلوه بيت صغير، ويقوده رجال آليون، وتمتاز بأنها دمجت حضارات العالم القديم في تصميمها، فالفيل يمثل الحضارة الهندية، والتنين الحضارة الآسيوية، وطائر العنقاء الحضارة المصرية القديمة.

وكانت تضبط هذه الساعة مرتين في اليوم، عند شروق الشمس وعند غروبها.

شكل (1-7): ساعة الفيل

I-2 -8- الساعة الميكانيكية:

أول من عرفها كان هم الرهبان في الكنائس بأوروبا، ففي خلال القرنين أل 9 والـــ 15، تم صناعة الكثير من الساعات، وتعد من أشهر الساعات هي ساعة ميلان، وساعة روان، وساعة براغ، أما أقدم ساعة ميكانيكية ما زالت تحتفظ بحالتها منذ صناعتها في العام 1386، فهي ساعة كاتدرائية سال زيري.

ثم عرف العثمانيون هذا النوع من الساعات، وشرعوا في تطويرها، وتم صناعة أول ساعة ميكانيكية تحتوي على ثلاثة مؤشرات للساعات والدقائق والثواني بواسطة العالم تقي الدين الشامي خلال القرن الـــ 16.

I-2 -9- الساعة البندولية:

رغم أن أول من فكر في وضع البندول للساعة العالم الفلكي غاليليو غاليلي، إلا أن أول من ابتكر الساعة البندولية هو العالم الهولندي المتخصص في الرياضيات والفلك كريستيان هوغيتز في العام 1656، وخلال أشهر انتشر هذا النوع من الساعات.

I-2 -10- ساعة اليد:

في العام 1675، ابتكر كريستيان هوغيتز ما يعرف بـــ "النابض الشعر" أو "نابض الاتزان"، وكان لهذا الاختراع أثر مهم في تطور صناعة الساعات، فتم صناعة الساعة صغير الحجم المحمولة في اليد بدلاً من الساعات كبيرة الحجم التي كانت تعلق بالحائط أو توضع على الأرض.

لكن في منتصف القرن أل 19، انتشر ساعات اليد على يد آروندينسون، وادوارد هوارد، حيث أنتجا ما يزيد عن 1000 ساعة يد.

I-2 -11- ساعة البحر:

في العام 1759، استطاع جون هاريسون حل مشكلة دامت عدة قرون، وهي كيفية العثور على خطوط الطول في البحر، من خلال صناعة ساعة بحرية عرفة بـــ H-1.

I-2 -12- ساعة الكوارتز:

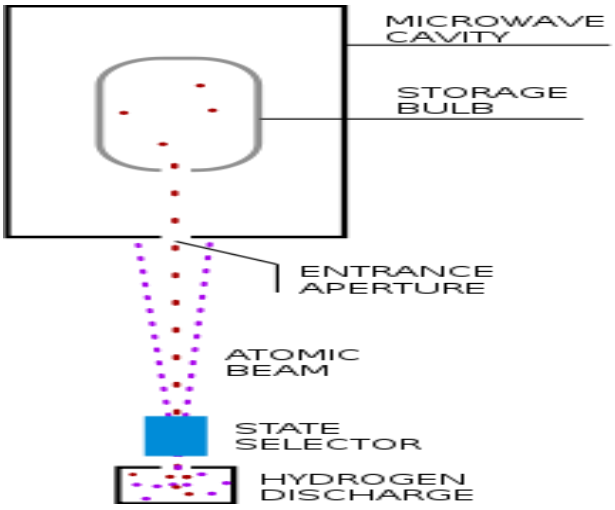
وهي تطوير تم إدخالها على ساعة اليد، واعتمد هذا النوع من الساعات على الكهربية الانضغاطة لبلورات الكوارتز، التي اكتشفها العالمان بيير وجاك كوري في العام 1880، وقد صنعت أول ساعة من هذا النوع في كندا في بداية القرن الـــ 20، ثم انتشرت على مستوى العالم، وما زالت تصنع حتى اليوم.

I-2 -13- الساعة الذرية:

الساعة الذرية: هي ساعة إخترعها العالم الأمريكي وليام ليبي في عام 1948 والتي تعتمد على تردد الرنين الذري لضبط الوقت وتستخدم لمعايرة الثانية وتعتبر الساعات الذرية أدق ساعات توقيت حتى الآن حيث يصل مقدار الخطأ ثانية كل 30 مليون سنة تقريبا وفقا للإحصائيات الحديثة، الأمر الذي جعل منها معيارا للتوقيت العالمي.

أ- طريقة عملها:

تعتمد فكرة عمل الساعات الذرية على الإشعاع الراديوي وليس كما يعتقد البعض على النشاط الإشعاعي. تنتج هذه الإشارات الراديوية عند تغير مستويات الطاقة في ذرة السيزيوم-133 . وبالتحديد عند انتقال الإلكترون في تلك الذرة من مستوى أعلى إلى مستوى أدنى للطاقة.



شكل (1-8) مضخم إشارات هيدروجيني يستعمل في الساعة الذرية.

يعتبر عنصر السيزيوم-133 من أوائل العناصر التي استعملت في الساعات الذرية حين تم الاتفاق على تعريف الثانية عام 1967 على أنها الفترة اللازمة لـــ9,192,631,770 ذبذبة كاملة (دورة) من الإشعاع الذي يصدره انتقال الإلكترون بين مستويين معينين للطاقة في ذرة السيزيوم-133. مع أن هذا التعريف قد تم الاستعاضة عنه بالتعريف الضوئي للثانية بسبب النظرية النسبية إلا أن التعريف التقليدي لا زال صحيحا كون القياسات مستخدمة في إطار المجموعة الشمسية (نفس الإطار مرجعي)

ب-دقة الساعة الذرية:

في المتوسط تبلغ دقة الساعة الذرية بحدود 1 نانو ثانية في اليوم أي ما يعادل خطأ مقداره ثانية كل 2.7 مليون سنة.

- في سويسرا، بدأت الساعة الذرية *FOCS 1* والمصنوعة من السيزيوم المبرد باستمرار عملها رسميا عام 2004 ويقدر مقدار الخطأ بحدود ثانية واحدة كل 30 مليون سنة.

ج–تطبيقات:

تستعمل الساعة الذرية في الكثير من خوادم الوقت*Time Servers* كما أنها تستعمل في التطبيقات التي تتطلب مقاييس زمنية غاية في الدقة مثل أقمار تحديد الإحداثيات نظام التموضع العالمي، الاتصالات السلكية واللاسلكية والشبكات الضوئية.

I–3 شبكة GPS : تتكون من ثلاثة شرائح رئيسية, و هي كالآتي

I–3–1 قسم التحكم والمراقبة :

شكل (1–9) محطات التحكم والمراقب

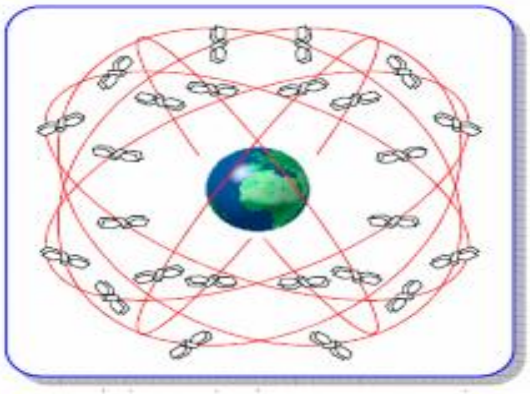
يتكون قسم التحكم والمراقبة من محطة التحكم الرئيسة في ولاية كلورا دو الأمريكية وأربعة محطات مراقبة في عدة مواقع حول العالم . تستقبل محطات المراقبة كل إشارات الأقمار الصناعية وتحسب منها المسافات لكل الأقمار المرصودة وترسل هذه المعطيات بالإضافة لقياسات الأحوال الجوية إلى محطة التحكم الرئيسية والتي تستخدم هذه البيانات في حساب المواقع اللاحقة للأقمار وسلوك (تصحيحات) ساعاتها وبالتالي تكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي .تقوم محطة التحكم الرئيسية بعمل التصحيحات اللازمة لمدارات الأقمار الصناعية وكذلك تصحيح ساعات الأقمار ،ثم تقوم بإرسال هذه المعلومات للأقمار الصناعية (مرة كل 24ساعة)والتي تقوم بتعديل مساراتها وأزمانها وبعد ذلك ترسل هذه البيانات المصححة كإشارات إلى أجهزة الاستقبال الأرضي [5] .

I-3-2 شريحة المستخدم:

شكل (1-10): مستقبلات GPS

أجهزة استقبال *GPS* (مستخدمو النظام) التي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية وتقوم بحساب موقع – إحداثيات –المكان الموجود به مستقبل سواء على الأرض أو في الجو أو في البحر ,بالإضافة لسرعة واتجاه الحركة المستقبل إن كان متحركا أثناء فترة الرصد ،بصفة عامة يتكون جهاز الاستقبال من :هوائي مع مضخم إشارة ,ولاقط إشارة ,مولد ترددات ،وحدة تامين الطاقة الكهربائية ,وحدة تحكم للمستخدم ،بإضافة إلى وحدة ذاكرة لتخزين القياسات ،تتعدد أنواع أجهزة الاستقبال بصورة كبيرة جدا طبقا لعدد من العوامل [6]

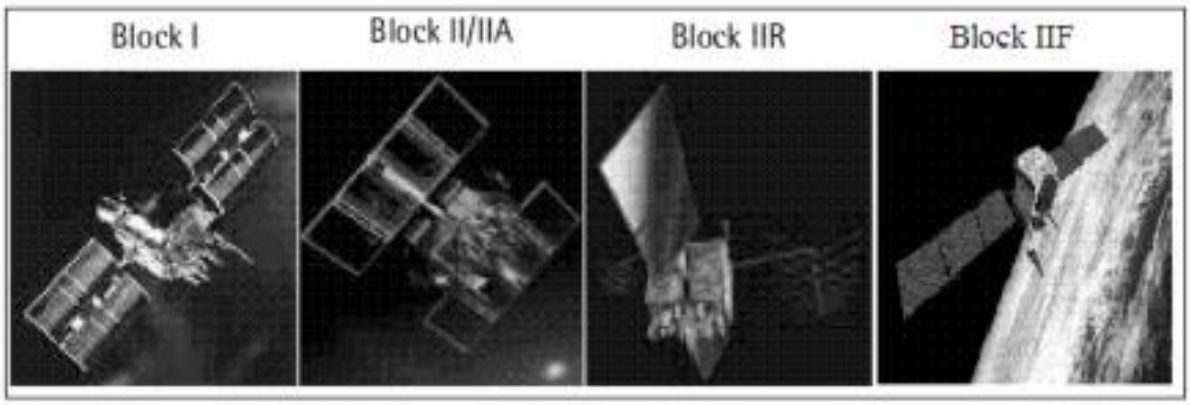
I-3-3 شريحة الفضاء :



شكل (1-11) شريحة الفضاء

هذه الأقمار تدور في مدارات حول الأرض بسرعة تبلغ 11265.10km في الساعة، وتعتمد على الطاقة الشمسية، كما أنها مزودة ببطاريات قابلة للشحن من أجل ضمان استمرار عملها في حالة انعدام الطاقة الشمسية الأطراف الجانبية للقمر هي من تقوم بعملية الشحن ويوجد على كل قمر صاروخ صغير من أجل أن يسيّر القمر في طريقة الصحيح أقمار صناعية تدور حول الأرض مرتين يوميا، موزعة على 8 مستويات دوران

كل مستوى يصنع 55 درجة مع الآخر ويوجد في كل مستوى 3 أقمار صناعية أذن 3 أقمار × 8 مستويات = 24 قمر صناعي في كل المستويات + 3 أقمار احتياطيه إذن الناتج = 27قمر صناعي.



شكل: (1-12) نماذج أقمار الصناعية للنظام *GPS*

I-3-3-1 بعض الحقائق عن تلك الأقمار الصناعية:

- أول قمر صناعي أطلق كان في عام 1978م.
- تم الانتهاء من إطلاق جميع الأقمار وعددها 24 قمراً في عام 1994م.
- عمر الافتراضي لكل قمر هو عشر سنوات.
- علماً بأن البدائل لهذه الأقمار أطلقت في مداراتها.
- يزن القمر الصناعي ما يقارب الطن الواحد ، وقطره 6 أمتار تقريباً بما في ذلك شرائح الطاقة الشمسية الممتدة على جانبي القمر.
- يستهلك القمر فقط 50 وات أو أقل من الطاقة في حالة الإرسال[6] .

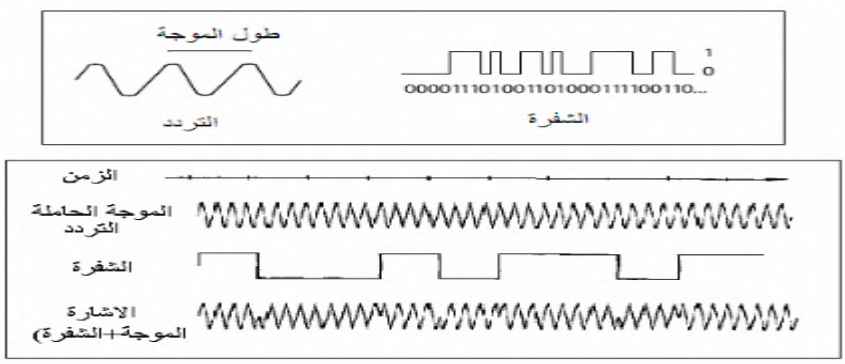
I-3-3-2 إشارات أقمار الصناعية في GPS

كل قمر صناعي من أقمار الصناعية في *GPS* يقوم بإرسال إشارتين راديويتين على ترددين في نطاق ترددي L ومحمل عليها نوعين من الشفرات الرقمية بالإضافة لرسالة ملاحية ويبلغ تردد الأولى –تسمى L1 - 1575.42 *MH* أي 1.5 جيجا هرتز وطول موجتها 19سنتمتر ويبلغ تردد الثانية –تسمى L2 - 1227.60 *MH* أي 1.2 جيجا هرتز وطول موجتها 24.4سنتمتر السبب وراء وجود ترددين هو تقدير وحساب الخطأ الذي تتعرض له الإشارات عند مرورها بطبقات الغلاف الجوي كل قمر صناعي له شفرة معينة *Code* خاصة به ترسل مع الإشارة الحاملة

من اجل تقليل أخطاء تداخل الإشارات. [6]

تتكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي من مجموعات بيانات ,وهي تضاف على كلا الترددين L2،L1 تحتوي على التالي:

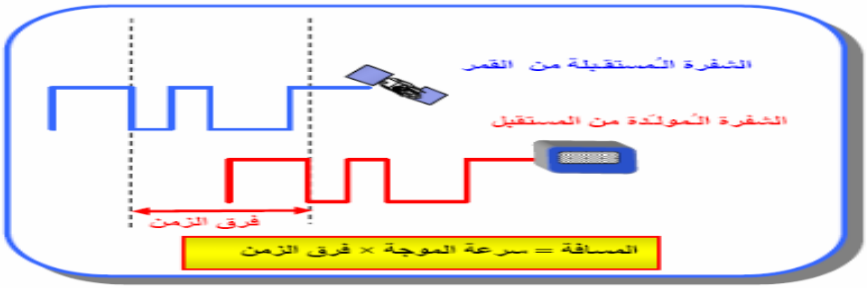
- وقت إرسال الرسالة
- المعلومات المدارية الدقيقة
- السلامة العامة للنظام والمدارات العليلة لكل أقمارGPS . [4]



الشكل(1-13) التردد والشفرة في إشارة أقمار الصناعية

I-3-3-3 كيف يمكن معرفة بث الإشارة من القمر الصناعي:

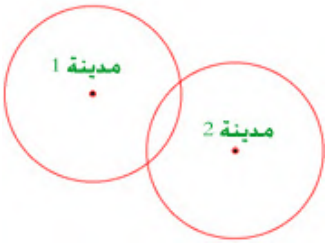
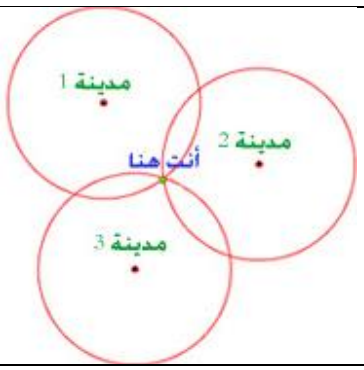
يتوقف قياس زمن الإشارة من القمر الصناعي حتى يستقبلها جهاز الاستقبال على معرفة وقت بث هذه الإشارة من القمر الصناعي ـــ خاصة وأن هذه الفترة الزمنية لا تتجاوز أجزاء من الثانية ـــ وللتغلب على ذلك قام مصممو نظام تحديد المواقع بجعل كل من القمر الصناعي وجهاز الاستقبال يتزامنا تزامناً دقيقاً في توليد أو إظهار شفرة معينة، ثم يتلقى بعد ذلك جهاز الاستقبال الإشارات المُرسلة من القمر الصناعي، وعليه يتم حساب الوقت الذي استغرقته الإشارة منذ أن قام جهاز الاستقبال بتوليد الشفرة وإظهارها حتى استقباله لإشارة القمر الصناعي. أي أن زمن إرسال الشفرة من القمر الصناعي هو الفرق بين وقت توليد الشفرة في جهاز الاستقبال واستقباله لإشارة القمر الصناعي[4]



شكل (1-14) كيفية قياس زمن الاشارة

I-4 فكرة عمل نظام *GPS*:

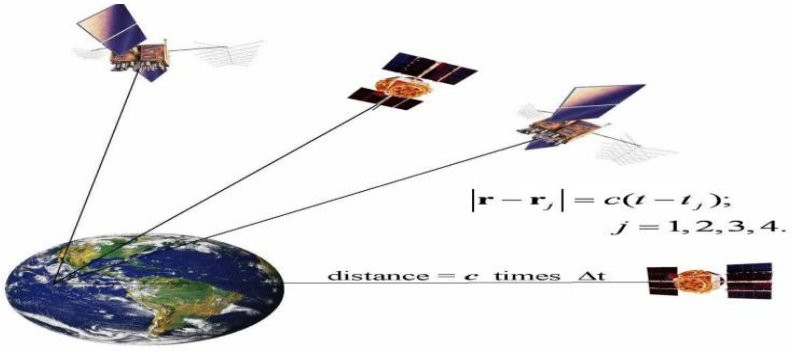
يتوقف نظام تحديد المواقع على معرفة المسافة الفاصلة بين الراصد والأقمار الصناعية، ومما يثير الدهشة أن الفكرة الأساسية وراء قياس المسافة إلى القمر الصناعي هي المعادلة نفسها القديمة وهي "المسافة = السرعة × الزمن "ويعني هذا أن النظام *GPS*يعتمد على حساب الزمن الذي تستغرقه إشارة راديوية فردية من القمر حتى تصل إلى الراصد، ومن ثم تُحسب المسافة من خلال الزمن، خاصة وأن الموجات الراديوية تسير بسرعة الضوء، فإذا أمكن معرفة بداية بث القمر الصناعي لهذه الموجات ومعرفة وقت استقبالها بدقة، يكون من السهل معرفة المسافة التي قطعتها، وذلك بضرب هذا الزمن في سرعة الضوءc ومما سبق يتضح أن معرفة الزمن هو الأساس في معرفة المسافة. مثال:تخيل انك فقدت الاتجاهات تماما في احد المناطق في الصحراء وعندما قابلت احد الأشخاص سألته أين أنا الآن ؟فأجابك أنت على بعد 500كيلو متر من المدينة 1.لاشك إن هذه المعلومة لن تفيدك كثيرا في تحديد موقعك بدقة لأنك تستطيع رسم دائرة حول المدينة 1نصف قطرها 500كيلومتر يمكن أن تكون في إي جزء فيها ولكن لو سالت شخص أخر وأخبرك بأنك على بعد 550كيلو متر من مدينة 2فهنا تصبح الأمور أسهل لأنك ستكون في احد نقطتي التقاطع بين الدائرتين حول المدينة 1 وحول المدينة 2،وتحتاج إلى معلومة إضافة من شخص ثالث لتعرف بالضبط أي النقطتين أنت موجود الآن على الأرض .

		
معلومة واحدة من شخص تعطي أبعاد كبيرة لمكان تواجدك على الأرض.	معلومتان من شخصين تحدد مكانك بدقة أكثر.	ثلاث معلومات من ثلاث اشخص تعطي مكانك بالضبط.

وبهذه الفكرة تعمل الأقمار الثالثة لتحديد موقعك على سطح الأرض حيث يصنع كل قمر سطح كروي ومن التقاطعات هذه الأسطح مع سطح الكرة الأرضية يتم تحديد المواقع بدقة كبيرة.

إذا كان المستقبل موجود في الإحداثيات x_0, y_0, z_0 وبمعرفة أن سرعة انتشار الإشارة ثابتة (سرعة الضوء) وأن الإشارة تنتشر خطيا على خط مستقيم بين القمر الصناعي والمستقبل.

و إذا سلمنا أن الأقمار الصناعية الأربعة الباثة موجودة في الإحداثيات x_n, y_n, z_n وأنها تبث في اللحظة t_n موقعها ولحظة البث. فإننا نتحصل على المعادلات الأربع التالية:



شكل (1-15) يعتمد تحديد الموقع على ثبات سرعة إشارة ضوئية

$$(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2 = [c(t_1 - t_0)]^2 \quad (1)$$
$$(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + (z_2 - z_0)^2 = [c(t_2 - t_0)]^2 \quad (2)$$
$$(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 + (z_3 - z_0)^2 = [c(t_3 - t_0)]^2 \quad (3)$$
$$(x_4 - x_0)^2 + (y_4 - y_0)^2 + (z_4 - z_0)^2 = [c(t_4 - t_0)]^2 \quad (4)$$

حيث c هي سرعة انتشار الإشارة (سرعة الضوء) وذلك لتحديد المجاهيل الثلاث z_0، y_0، x_0 أي موقع المستقبل والمجهول الرابع t_0 أي لحظة الاستقبال دون الحاجة لساعة ذرية. [1]

هذه المعادلات غير خطية و معقدة. فأي ارتياب صغير و لو صغير في تقدير الزمن $\Delta t = 3ns$ يؤدي إلى ارتياب كبير في تحديد الموقع لكن تتنبأ النسبية الخاصة أنه نظرًا لأن ساعات الأقمار الصناعية تتحرك بالنسبة لساعة الأرض ، فإنها ستظهر بشكل أبطأ ، علاوة على ذلك تتنبأ النسبية العامة بأن الوقت سيبدو وكأنه يعمل بشكل أبطأ في ظل قوة الجاذبية الأقوى – وبالتالي فإن الساعات الموجودة على متن الأقمار الصناعية ستبدو أسرع من الساعة على الأرض وبعبارة أخرى سيكون هناك عدم تزامن مابين الساعة موجودة في القمر والساعة موجودة في الأرض يجب على شبكة GPS بأكملها أن تقدم تصحيحات لهذه التأثيرات – ما يثبت أن النسبية لها تأثير حقيقي.

الإشكالية:

ما هي التأثيرات التي يمكنها آن تؤثر في تقدير الزمن و المكان مما ينتج إرتيابات أصلها خطاء في تقدير الزمن وما هي التصحيحات اللازمة من أجل الحد من إرتياب الزمن .

الفصل الثاني

النظرية النسبية العامة والخاصة

II–1 ما هي النظرية النسبية:

هي نظرية فيزيائية طبيعية تبحث في المواضيع التي تبحثها الفيزياء العادية كالزمان والمكان وسرعة والكتلة وجاذبية وتسارع ولكن تنظر إلى الأمور بوجه أخر. في عام 1905م نشرها الفيزيائي الألماني ألبرت انشاتين التي دعيت بالنظرية النسبية الخاصة اتبعها عام 1916بالنظرية النسبية العامة وقد غيرت وصححت النظرية النسبية المفاهيم فيزياء الكلاسيكية لنيوتن في خصوصا مفهوم الحركة والزمان [2]

II –2 ما الفرق بين النسبية العامة والخاصة

_النسبية الخاصة:تبحث فقط في الأجسام أو الأنظمة التي تتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة للمراقب.أي التي تتحرك حركة منتظمة بدون تسارع وان سرعة الضوء في الفراغ مستقلة عن حركة جميع المراقبين .

_النسبية العامة:فإنها تبحث في الأجسام التي تتسارع بالنسبة لمراقب أي الأجسام أو المجموعات التي تتحرك بسرعة متزايدة أو متناقصة وتنص على أن الجاذبية والتسارع هم نفس الظاهرة .

II –3 الأبعاد في النظرية النسبية :

II –3–1 المكان:

النظرية تقول ليس في هذا كون مكان مطلق فالحركة هي أمر نسبي.عكس ما كان عليه الحال في نظرية نيوتن حيث كان من الممكن تعريف معلم مرجعي مطلق تحسب بالنسبة له سرعات أي متحرك .

II –3–2 الزمان:

إن مفهوم نسبية الزمن يشبه بعض الشيء نسبية المكان إذ تقول النسبية أن الزمان نفسه لا يجري في جميع أنحاء الكون بالتساوي كما قال نيوتن بمعنى أن الزمن يطول ويقصر حسب أمرين الأول حسب السرعة (النسبية الخاصة)وثاني حسب الجاذبية (نسبية العامة)حيث غيرت نظرية النسبية من مفهومي الحركة والزمن مطلقين عند نيوتن فأصبحت الحركة والزمن نسبيان وجعله يندمج كبعد رابع [2]

II –4 النظرية النسبية الخاصة:

في عام 1905 وضع ألبرت آينشتاين النظرية النسبية الخاصة وهي تتعلق بقوانين الفيزياء .وقد كانت قوانين الفيزياء مبنية على قوانين الحركة التي صاغها نيوتن قبل ذلك بمائتي عام والتي قدمت الحلول لمعظم مسائل الفيزياء .لكن بعض الصعوبات نشأت عند تطبيق قوانين نيوتن على الضوء كما مر معنا في التجربة التي أجرها مايكل سون و مورلي، والتي أسس آينشتاين نظريته بناءا على نتائجها.

وتقوم نظرية آينشتاين على فرضيتين هما:

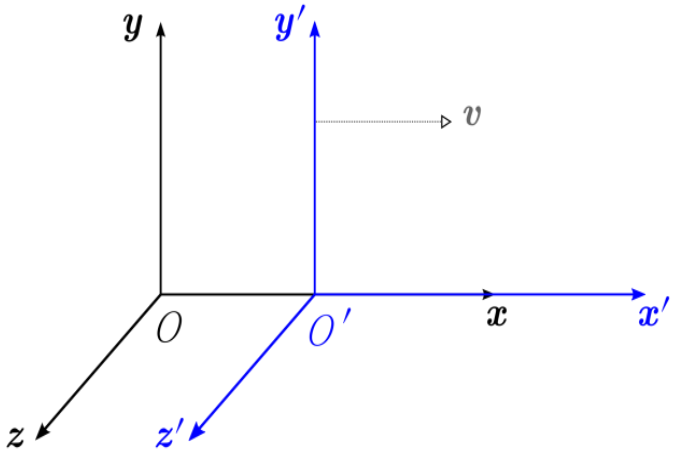
II –4–1 سرعة الضوء ثابتة في جميع اتجاهات الفضاء ولها القيمة نفسها بالنسبة لجميع المراقبين، ولا تعتمد على الحركة النسبية بين المراقب ومصدر الضوء .وهذا المبدأ يتعارض مع فكرة السرعة النسبية للضوء في الميكانيكا التقليدية. وقد تم إثبات فرضية ثبات سرعة الضوء تجريبًا.

II –4–2 تأخذ قوانين الفيزياء الشكل نفسه في جميع المعالم العطالية، ويعرف المعلم العطالي كمعلم يتحرك بسرعة ثابتة .فكل قانون يتم إثباته في معلم العطالي يكون صحيحًا في أي معلم العطالي آخر.

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، ويأتي ذلك نتيجة لثبات سرعة الضوء .لذا يتعين وصف أي حادث في هيكل إسنادي العطالي بدلالة الإحداثيات الأربعة حيث يكون ثلاثة منها مكانية وأما الرابع فهو زماني .وتختلف إحداثيات الزمان والمكان للحادثة نفسها حين قياسها في هيكلين مختلفين ولكن يمكن تحويلها من هيكل إلى آخر يتحرك بالنسبة له بسرعة ثابتة باستخدام تحويلات لورنتز.التي تؤمن ثبوت سرعة الضوء بالنسبة لكل المعالم العطالية [2]

II – 5 معدلات تحويل لورانتز :

نفترض لدينا حدث في المعلم o ذو إحداثيات التالية $\begin{pmatrix} ct \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ وحدث في المعلم o' ذو إحداثيات التالية $\begin{pmatrix} ct' \\ x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}$



نتحصل على معدلات تحويل لورانتز بهذه الطريقة :

$$\begin{pmatrix} \gamma & -\gamma\beta & 0 \\ -\gamma\beta & \gamma & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ct \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ct' \\ x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}$$

حيث $\beta = \frac{V}{C}$ ويمكن كتابة المصفوفات بشكل التالي

$$t' = \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right)$$
$$x' = \gamma(x - vt)$$
$$y' = y$$
$$z' = z$$

حيث X و Y و Z هي إحداثيات مكان

t: إحداثية الزمن

t': زمن الجسم المتحرك

t: زمن المراقب على الأرض

V :سرعة الجسم المتحرك

C: سرعة الضوء في الفراغ

حيث يمثل معامل لورانتز $\gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{-1}{2}}$

II – 5–1 تباطؤ الزمن:

عند اقتراب السرعة V بين هيكلين عطاليين من سرعة الضوء يتباطأ الزمن حسب المعادلة

$$t' = \gamma(t - \frac{vx}{c^2})$$

حيث يعطى الزمن t في هيكل يتحرك بسرعة V بالنسبة إلى زمن t' الراصد في هيكل إسنادي أخر

مثال: مفارقة التوءمين 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.

II – 5–2 تقلص الطول:

والتنبؤ الثاني للنظرية النسبية الخاصة هو الانكماش الظاهري لطول الجسم المتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء .فيتقلص الطول ، وتعرف هذه الظاهرة بتقلص لورنتز، ويعطى بالعلاقة التالية :

$$\acute{x} = \gamma(x - vt)$$

x : الطول في هيكل إسنادي متحرك بالسرعةV .

$\acute{x}$: الطول مقاسا في هيكل إسنادي أخر.

II – 5–3 ازدياد الكتلة:

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

$$M=\frac{\acute{M}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

ومن ذلك يتبين أنه لا يمكن لجسم أن يتحرك بسرعة الضوء لأن كتلته تصبح لا نهائية .وتقتصر هذه السرعة على الجسيمات عديمة الكتلة كالفوتونات على سبيل المثال .

II – 5–4 العلاقة بين الكتلة والطاقة:

يشرح هذا القانون الشهير إمكانية تحويل المادة إلى طاقة $E=MC^2$ ومعناه في لغة الفيزياء ان الطاقة E المحتواة في جزء من المادة تساوي كتلة هذا الجسم M مضروبة في مربع سرعة الضوء C وقد برهن هذا القانون للمرة الأولى مصدر طاقة

II –6 النظرية النسبية العامة:

تمثلت رؤية أينشتاين في أن هذا الحقل مؤلف من شيء نعرف عنه جيداً: المكان والزمن. تخيل أنه لديك جسم ثقيل مثل الشمس موجود في الفضاء، أدرك أينشتاين أن الفضاء ليس سلبياً، وإنما يستجيب للأجسام الثقيلة بالانحناء، وسينحني جسم آخر مثل الأرض أثناء عبوره بالتجويف الناجم عن وجود جسم أثقل. وبدلاً من التحرك على طول خط مستقيم، سيبدأ الجسم بالدوران حول الجسم الأكبر كتلة، أو في حالة كان بطيئاً كفاية، فسيتحطم داخله، وتطلب الأمر العديد من الأعوام التي ناضل خلالها أينشتاين للوصول إلى نظريته هذه. تُقدم نظرية النسبية العامة لأينشتاين درسا آخر وهو أن المكان والزمن ينحنيان على بعضهما البعض، فهما غير قابلين للفصل أبداً ويُمكن بالتالي تشويه الزمن جراء وجود الأجسام فائقة الكتلة، ولذلك لا نتحدث عن انحناء المكان فقط وإنما عن انحناء الزمكان تُوصف نظرية النسبية العامة بمعادلة بسيطة:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

حيث

$R_{\mu\nu}$ تمثل موتر ريشتي

R موتر سلمي

$g_{\mu\nu}$ موتر المترية

$T_{\mu\nu}$ موتر الاجهاد –الطاقة

II – 1-6 انحناء الزمكان :

نحتاج إلى كل تلك الأشياء من أجل معرفة كيف ينحني الزمن والمكان، ويُعرف $T_{\mu\nu}$ تقنياً بموتِّر كمية الحركة–الطاقة، و Gالذي يظهر في المعادلة يُعرف بثابت نيوتن أيضاً، أما c فهو سرعة الضوء. ماذا عن الأحرف الإغريقية [μ] و [ν]التي تظهر كأحرف سفلية؟ لفهم ما تعنيه هذه الأحرف، لاحظ في البداية أنّ للزمكان أربعة أبعاد، فهناك ثلاثة أبعاد للمكان (تعود إلى الاتجاهات الثلاث: يمين–يسار، وأعلى–أسفل، وأمام–خلف) وبُعد واحد للزمن الذي يجري في اتجاه واحد دوما. إذا أردت فهم كيف يؤدي تحريك جزء من كتلة إلى التأثير على الزمكان، فأنت بحاجة إلى فهم كيف يؤثر ذلك على كلٍ من هذه الأبعاد الأربعة وعلى توليفاتها المتنوعة. لتشبيه الأمر، فكر بالطريقة التي ستصف فيها جسم يتحرك بسرعة ثابتة على طول خط مستقيم باستخدام فيزياء نيوتن الكلاسيكية. تحتاج حينها إلى قسمين من المعلومات: الاتجاه وسرعة الحركة، ويُعطى الاتجاه بالاعتماد على ثلاثة أرقام يُخبرنا كلٌ منها عن مقدار ما يتحركه الجسم في كلٍ من الاتجاهات الثلاث للمكان، ولذلك تُوصف الحركة بعدد إجمالي يصل إلى أربعة: ثلاثة تعود إلى المكان وواحد إلى السرعة. وطالما أن السرعة ترتبط بوحدة الزمن، فإننا بحاجة إلى ثلاثة بتات من المعلومات المرتبطة بالمكان وواحدة بالزمن لوصف الحركة.

طالما أنه بإمكان [μ] و [ν] أخذ أربع قيم، فإن ذلك يؤدي إلى الحصول على 16 معادلة 4×4=16.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = K T_{\mu\nu}$$

علما أن الموترات متناظرة

نأخذ $\mu > \nu$ ويصبح لدينا 10 معدلات فقط

المترية هي انحناء لزمكان ونحسب منها تمدد الزمن وتقلص المسافات بفعل الجاذبية

تعين المترية الفضاء وكتابتها في نظام إحداثي مناسب (كروي ,كارتيزي ,قطبي,,,)والأفضل أن تكون متناظرة لسهولة الحساب وترضى بخصائص الهندسية الفيزيائية للفضاء الذي نريد الحساب فيه.

_تعين المتغيرات المترية مثلا إذا كانت الإحداثيات كروية يجب تعين r و Vو Ø وإذا كانت رباعية الأبعاد نعين بعد الزمن وإذا كانت كارتيزية نعين المتغيرات X و Y و Z و t وهكذا

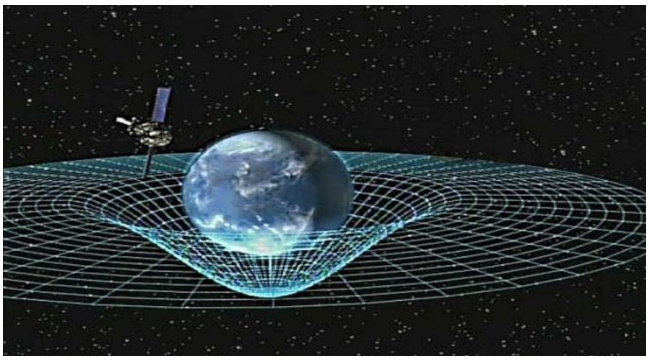
_تعين عامل للمترية الأفضل $ds^2 = g_{\mu\nu}\, dx^{\mu}\, dx^{\nu}$ أن تكون المترية قطرية وذلك لسهولة المحاسبة[3]

الفصل الثالث

تأثيرات النسبية العامة والخاصة على منظومة GPS

III – 1 تأثير الجاذبية على الزمن (النسبية العامة)

يصف التباطؤ الزمني المتعلق بالجاذبية الاستغراق الزمني النسبي لأنظمة مختلفةحيث تجري على مسافات مختلفة من مركز جاذبية وتكون ثابتة بالنسبة له. مع العلم بأن تباطؤ الزمن الناتج عن الجاذبية ليس بسبب تأثير ميكانيكي على الساعات ولكنه بسبب هندسة الفضائية للزمكان نفسه. فكل راصد ثابت بالنسبة إلى مركز الجاذبية يقيس الاستغراق الزمني لعملية معينة طبقا لمرجعه الزمني الخاص به الذي يتغير بتغير بعده عن مركز الجاذبية



شكل(3-1) انحناء الفضاء نتيجة كتلة الأرض

نستعمل معادلات اينشتاين التي طرحها عام 1915م التي تصف التأثر الأساسي للثقالة جراء تقوسا الزمكان مع كل من المادة والطاقة لإيجاد هندسة الفضائية للزمكان من وجود كتلة والطاقة وكمية الحركة أي أنها تعطي الموتور المتري للزمكان بدلالة ترتيب الإجهاد.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = K T_{\mu\nu} \quad \text{.....(1)}$$

الجانب الأيسر من المعادلة $T_{\mu\nu}$ يصف انحناء الزمكان الذي نستقبل تأثيره على أنه قوة الجاذبية. يصف الرمز الموجود في الجانب الأيمن من المعادلة R $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}$ كل شيء موجود ونعرفه حول الكتلة والطاقة وكمية الحركة والضغط المتوزعين في الكون .

المعطيات k ثابت $T_{\mu\nu}$ توزيع طاقة وكمية الحركة في الزمكان R انحناء سلمي

$g_{\nu\mu}$ موتور المترية $R_{\mu\nu}$ انحناء ريتشي

المجهول في هذه المعادلة هو المترية (شبه المسافة) $g_{\nu\mu} \Leftarrow ds^2$

$$ds^2 = g_{\mu\nu}\, dx^{\mu}\, dx^{\nu}$$

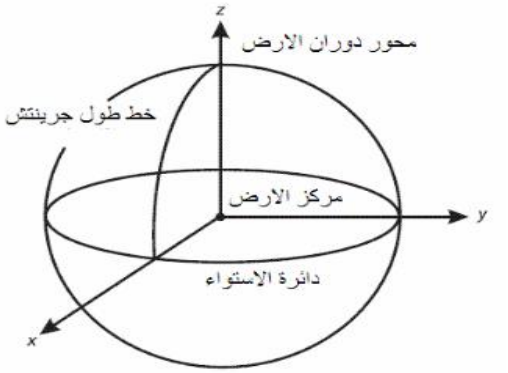
لو كان $T_{\mu\nu} = 0 \Longleftarrow$ فراغ R= 0 $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}$ نجد ان المترية محسوبة هي مترية منكوسفكي

$$ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

عندما يكون $T_{\mu\nu} \neq 0$

نستخدم نظام احداثيات (ECI)لنتحصل على شكل بسيط ل $T_{\mu\nu}$

ECI: هو أحد نظم الإحداثيات الذي مركزه هو مركز الأرض ومحاوره ثابتة ولذلك يطلق عليه نظام مركزي ارضي عطالي حيث مركز النظام يقع في مركز جاذبية الأرض ،وينطبق محوره الرأسي Z مع محور دوران الأرض ، وينطبق محوره الأفقي الأول X ناحية خط طول غرينتش بينما محوره الأفقي الثاني Y يكون عموديا على محور X.[4]



شكل (3-2) نظام ECI

$\begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix}$هي الاحداثيات في (ECI) نحل معادلات الحقل في نظام ECI و نتحصل على المترية

$$ds^2 = \left(1+\frac{2\phi}{c^2}\right)(cdt)^2 - \left(1-\frac{2\phi}{c^2}\right)(dx^2+dy^2+dz^2)$$
$$= \left(1+\frac{2\phi}{c^2}\right)(cdt)^2 - \left(1-\frac{2\phi}{c^2}\right)dr^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

ϕ : دالة الكمون الجاذبي

t: إحداثية الزمن لكن ليس بالزمن على الارض لكن في (ECI) هو الزمن الذي يجري في ساعة خارج الحقل ألجاذبي، لذا نضع

$$t = \bar{t}(1-\frac{U}{c^2})$$

وتصبح المترية كما يلي

$$ds^2 = \left(1+\frac{2\phi}{c^2}\right)\left(1-\frac{U}{c^2}\right)dt^2 - \left(1-\frac{2\phi}{c^2}\right)dr^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

المعامل U ثابت ويعبر على تأثير دوران الأرض وعدم تجانس الكتلة $U\ (M_t;\ \emptyset\ ;\ \Omega)$

$$ds^2 = \left(1+\frac{2(\phi-U)}{c^2}\right)(cdt)^2 - \left(1-\frac{2\phi}{c^2}\right)dr^2 - r^2d\theta^2 - r^2sin\theta^2d\varphi^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

و تكون المترية في مستوي معين يدور فيه القمر الصناعي

$$ds = \sqrt{\left(1+\frac{2(\phi-U)}{c^2}\right)\ c^2dt^2 - \left(1-\frac{2\phi}{c^2}\right)dr^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

ds في معلم القمر الصناعي

$$c\overline{dt} = dt\sqrt{\left(1+\frac{2(\phi-U)}{c^2}\right)c^2 \ -\left(1-\frac{2\phi}{c^2}\right)\frac{dr^2}{dt^2}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

لحساب التأخر الزمني بين القمر الصناعي و الأرض نكامل المعادلة (6) على طول المسار, يتغير الكمون ألجاذبي على المسار حسب $\phi(r,\theta,\varphi)=\phi(t)$ علما أن $\frac{dr^2}{dt^2}=V_r{}^2$ و نجد الفارق الزمن

$$\overline{\delta t}=\int_A^B\sqrt{\left(1+\frac{2(\phi-\mu)}{C^2}\right)-\left(1-\frac{2\phi}{C^2}\right)\frac{V_r{}^2}{C^2}}\,dt \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

BوA نقطتان من المسار $\overline{\delta t}$: هو زمن على قمر الاصطناعي dt:هو زمن على الأرض V_r :السرعة في معلم (ECI)

III – 2 تأثير السرعة على الزمن (النسبية الخاصة)

أوجدنا المعادلة تمدد الزمن نتيجة السرعة في الفصل الثاني عبر تحويل لورانتز

$$.\Delta t' = \Delta t.\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

حيث

v سرعة القمر الصناعي

t' الزمن على القمر الصناعي

t زمن المراقب على الأرض

وتعني هذه المعادلة أن الزمن في قمر الصناعي وكما يقيسه ملاحظ على سطح الأرض يمضي أبطأ من المعهود. أي أن الملاحظ الأرضي يرى عقارب ساعة على قمر الصناعي وكأنها تتحرك ببطء مقارنة مع عقارب ساعته، ولا يعود ذلك لعطب في الساعة ولكن لأن الزمن يمضي أبطأ من المعهود، أي أن الزمن قد تمدد. وتزداد أهمية هذه الظاهرة بزيادة سرعة القمر و اقترابها من سرعة الضوء.

III – 3 تأثير ظاهرة *Doppler*

ظاهرة دوبلر من الظواهر الفيزيائية المعروفة والتي نلاحظها في حياتنا العملية و هذا يمكن تعريف ظاهرة دوبلر على إنها إزاحة للتردد نتيجة للحركة النسبية بين المصدر والمراقب. فعندما يكون المصدر مقترب من المراقب يكون التردد المقاس أعلى من التردد الأصلي أي مزاح ناحية الترددات الأعلى بينما يكون التردد اقل من التردد المقاس أي مزاح ناحية الترددات الأقل إذا كان المصدر مبتعدا عن المراقب وظاهرة دوبلر تعتمد على السرعة

النسبية بين المصدر والمراقب.[1]

عندما يتحرك القمر الصناعي يكون تواتر الموجة الصادرة ثابتا ولكن التواتر الذي يتلقاه جهاز الاستقبال هو الذي يختلف بمعنى التواتر الحقيقي لا يساوي التواتر الظاهري

حسب المعادلة التالية (قانون تغير التردد بتأثير ظاهرة Doppler) نستطيع حساب التواتر الظاهري الذي يستقبله جهاز الاستقبال

$$\gamma' = \gamma \frac{1-\beta}{1+\beta}$$

γ' التوتر الظاهري

γ التواتر الحقيقي

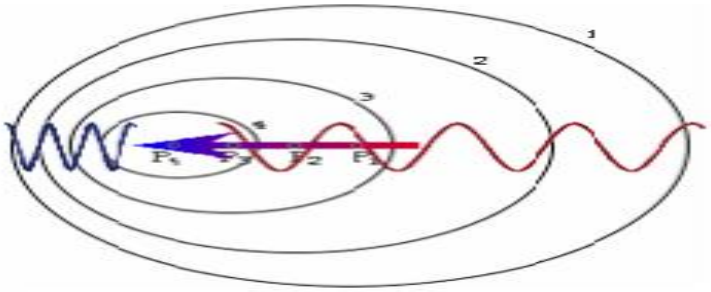
بحيث $\beta = \frac{v}{c}$

v سرعة القمر الصناعي تكون $\beta \approx 10^{-5}$

نلاحظ أن $\beta \approx 10^{-5}$ صغيرة نستطيع استعمال الصيغة النسبية مع اهمال β^2

تتغير الموجة الصادرة حسب حركة قمر صناعي مقتربا أو مبتعدا

- عندما يتحرك القمر الصناعي مقتربا من المراقب الثابت فان التردد المقاس بواسطة المراقب يزداد
- وعندما يبتعد القمر الصناعي فيصبح التردد المقاس اقل من التردد المصدر

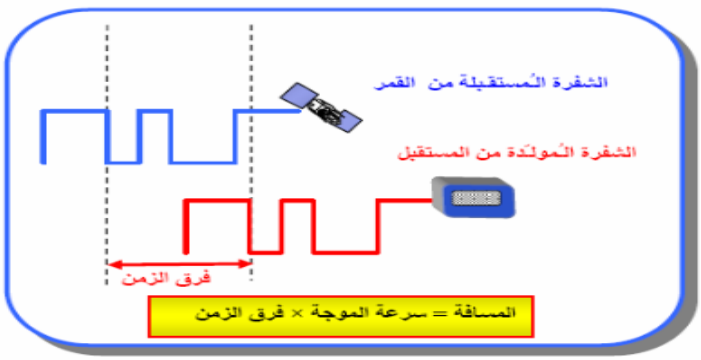


شكل (3-3): رسم موضح لظاهرة دوبلر

السؤال هو كيف يستطيع المستقبل تتبع الموجة ؟

يتم تتبع الموجة الآتية من القمر الصناعي في مجال من الأمواج وبمقارنة codeالشفرة (وهي عبارة عن سيل من الأرقام صفر وواحد يتم توليدها من خلال نموذج رياضي وهناك نوعين من الإشارة C/A للاستخدام المدني و للاستخدام العسكريC/P وطريقة وضع الشفرة على التردد تختلف من قمر لأخر حتى يتم التقليل من أخطاء تداخل الإشارات) يستقبل الجهاز معلومة الزمن بمقارنة من الزمن عند الجهاز t_r والزمن في الموجة t_i

يتم حساب $c(t_r - t_i)$



شكل (3-4): كيفية قياس زمن اشارة

نجد β ونعوضه في

$$\gamma' = \gamma \frac{1-\beta}{1+\beta}$$

III-4 ظاهرة سانياك :

يظهر في الحركة الدورانية في الفيزياء النسبية مسائل معقدة مثال قرص دوراني نقاطه البعيدة عن المركز تصبح لديها سرعة نسبية تفوق سرعة الضوء cولو بحركة دورانية بطيئة .

من الظواهر النسبية الخاصة في المعالم الدورانية يواجه نظام GPS ظاهرة سانياك

عندها لا نستعمل ECIونحول إلى الإحداثيات تدور وفق دوران الأرض WGS-84

لحساب موقع القمر الصناعي نستعمل الإحداثيات WGS-84

الزمن المستغرق لقطع الموجه محيط الأرض

$$\Delta t_0 = \frac{2\pi R}{c}$$

لكن بسبب دوران الأرض يكون المراقب قطع مسافة

$$\delta = \omega R \Delta t_0$$

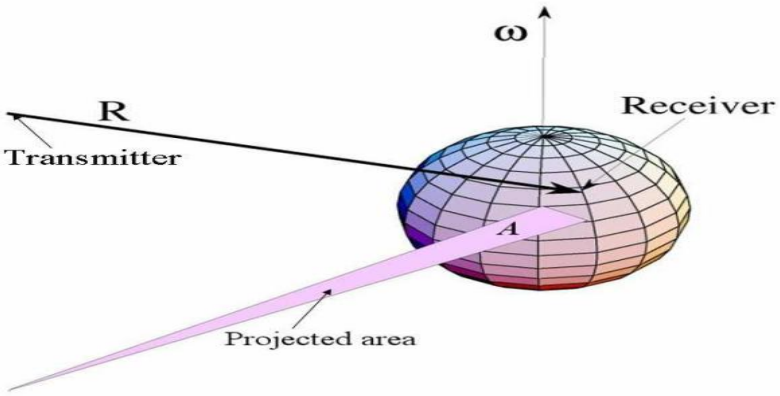
زمن وصول الضوء إلى المحطة:

$$\Delta t = \Delta t_0 + \frac{\delta}{c} = \frac{2\pi R}{c} + \frac{\omega R}{c} . \frac{2\pi R}{c}$$

دائرة كاملة

$$\Delta t = \frac{2\pi R}{c} + 2\pi \frac{\omega R^2}{c^2}$$

حيث $A = \pi R^2$ هي المساحة الممسوحة أثناء حركة القمر الصناعي (منبع الإشارة)



الشكل (3-5) تصحيح Sagnac

$$\Delta t_{saynac} = \frac{2\pi R}{c} + 2\frac{\omega A}{c^2}$$

وفي لاتجاه العكس

$$\Delta t_{saynac} = \frac{2\pi R}{c} - 2\frac{\omega A}{c^2}$$

ωسرعة زاوية

Rنصف قطر الأرض

$\delta t_{saynac} = \frac{2\omega A}{c^2}$ يعطى التمدد

III-5 الحسابات النظرية والحسابات التجريبية:

يلخص الجدول تمددات الزمنية محسوبة نظريا الاتجاه شرق وغربا ومقارنة مع قياسات تجريبية

	شرقا	غربا
تأخر الزمن الجاذبي	+144 ns	+179 ns
تأخر الزمن السرعة	-51 ns	-74 ns
تأخر زمني لظاهرة سانياك	-133 ns	+143 ns
جمع لتأخيرات		
قياسات التجريبية		

بالرغم من أن هذه التأخيرات الزمنية صغير جدا والذي يعادل الفترة الزمنية لرمشة عين إلا انه إذا لم يؤخذ في الحسبان في أنظمة GPS فان كل نظام يفشل في تحديد مكانك على الأرض وقد يصل مقدار الخطأ في تحديد المكان لمسافة تصل إلى 8كليومتر بعيدا عن موقعك الفعلي ، لحسن الحظ فإن الأقمار الصناعية مبرمجة لتأخذ هذا التأخير الزمني بالحسبان عندما تقوم بتحديد موقعك على الأرض .ونلاحظ كذلك إن القياسات التجريبية تقارب القياسات المحسوبة هذا ما يثبت فعلا صحة نتائج النظرية.

الخاتمة

الخاتمة

قمنا في هذا العمل بدراسة تأثيرات النسبية العامة والخاصة في نظام تحديد المواقع العالمي *GPS* ، لأجل هذا قدمنا العمل في ثلاثة فصول على النحو التالي . الفصل الأول تطرقنا لتعريف منظومة *GPS وكذلك تطور التاريخي وصناعي له* وقمنا بدراسة تقنية للنظام حيث تعرفنا لمكونته وشرائحه وتناولنا فكرة عمل هذا نظام *(GPS)* وطرحنا إشكالية موضوعنا .

الفصل الثاني تضمن حول مفهوم النسبية بشكل عام وكذا تعريف النسبية العامة والخاصة وطرحنا المعدلات التي أتت بها النظرية النسبية لتساعدنا على إيجاد حلول للمشاكل التي تواجه نظام *GPS*.

الفصل الثالث قمنا بأخذ جميع التأثيرات النسبية سواء الخاصة والعامة على نظام *GPS* حيث أوجدنا معادلة تمدد الزمني راجع للحركة عبر تحويلات لورنتز ومعادلة تمدد الزمني بفعل ألجاذبي عبر إيجاد المترية الموافقة لمعادلات اينشتاين للمجال ألجاذبي وكذا التمدد الراجع لظاهرة سانياك الذي يدخل ضمن النسبية الخاصة في المعالم الدورانية وكذا المقارنة بين الحسابات التجريبية والحسابات النظرية .

قائمة المراجع

المراجع :

1. *N · Ashby , TSpikierjr ,in gps :theory and application .vol*
2. النظرية النسبية "العامة والخاصة "البرت انشتاين _مكتبة ملحدين العرب _بقلم د.محمود احمد الشربيني
3. النظرية النسبية العامة البرت انشتاين –جلال الحاج عبد الله
4. مدخل الى نظام العالمي لتحديد المواقع _ د.جمعة محمد داود_ نسخة الاولى 2010 م
5. نظام تحديد المواقع _د.اوراس محي الدين _2008
6. نظام تحديد المواقع العالمي _مهندس هيثم نوري حموي

الملخص :

يهدف بحثنا هذا إلى إظهار اهمية وفائدة نظرية النسبية حيث أصبحت النسبية العامة والخاصة واقع معاش لأن تكنولوجيا الحديثة وصلت إلى استخدام أقمار صناعية تتحرك بسرعات كبيرة ومجالات جاذبية لا تتوفر على سطح الأرض وقد اخذ المهندسون الذين صمموا نظام تحديد المواقع العالمي هذه التأثيرات النسبية بعين الإعتبار .فإن كل مستقبل *GPS* يحمل بداخله خوارزمية تقوم بفك شفرة الإشارة الآتية من الأقمار . ويوجد محطة تقوم بالإتصال الدائم مع الأقمار الصناعية للإعادة التزامن في كل لحظة .النسبية ليست مجرد نظرية رياضية مجردة :ففهمها أمر في غاية الأهمية من أجل أن يعمل نظام تحديد المواقع العالمي بطريقة صحيحة .

كلمات المفتاحية : المترية –سانياك – تحويلات لورانتز – شفرة –تنسور –زمكان

***Abstract**:*

This research aims at showing the importance and usefulness of the theory of relativity as public and private relativity becomes a pension reality because modern technology has reached the use of high speed moving satellites and attractive areas are not available GPS engineers have taken these impacts into accont . Each GPS receiver carries an algorithm that decodes the signal from the satellites. There is a station that constantly communicates with satellites to reconnect at every moment. Relativity is not just an abstract mathematical theory: it is important to understand that GPS works correctly.

***Keywords**: Metric - Sanyak - Lorentz Transformations - Code- Tensor - Zamkan*

***Sommair**:*

Notre exposer a pour objectif d'expliquer les intérêt de La relativité général est une réalité vécu parce-que la technologie actuel est arrivée a utilisé des satellite qui ce déplace dans le ciel avec une pesanteur plus élevé que celle de la terre
Et les ingénieur en pris en considération tous ses facteur pour le développement de GPS.Alors chaque GPS a un code arithmétique qui déchiffré les codes reçu par satelliteEt que il y a des station qui sont en contact permanent avec les satellitePour une mise a jour permanenteAlors la relativité n'est pas une simple théorie mathématiques .Sa compréhension et très.important pour que le système GPS marche correctement

***les Mots clés**: Métrique - Sanyak - Transformations de Lorentz - code- Tenseur - Zamkan*