الوحدة رقم 05: تطور جملة ميكانيكية.

تمهيد:

ظهر مصطلح الميكانيك لأول مرة في مؤلفات أرسطو، و هو مشتق من الكلمة اليونانية $(\mu\eta\chi\alpha\nu\eta)$ التي تقرأ بالعربية ميكاني و معناها الألة.

فالميكانيك هو أحد فروع الفيزياء يحمل مظهرين:

المظهر الأول: نظري ويدرس القوانين العامة التي تتحكم في حركة الأجسام.

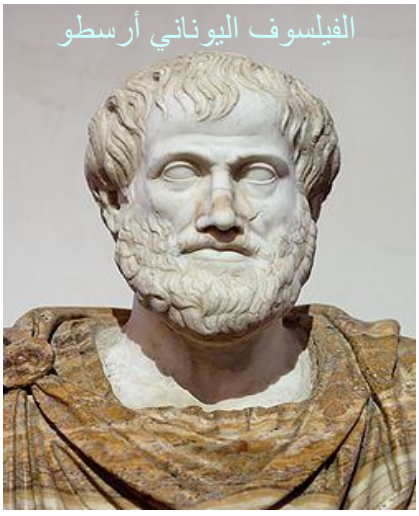
المظهر الثاني: تقني يعتني بحل مشكلة الآلة، تصميمها، صناعتها والسيطرة عليها.

1- تطور الميكانيك عبر التاريخ:

لقد شغلت الحركة بال الإنسانية منذ فجر التاريخ، فقط ثلة من الفلاسفة و العلماء أنبروا في محاولة لحل لغزها الكبير ومن ثم تفسيرها، وخاضوا في ذلك كفاحا مضنيا شاقا إستغرق قرابة 2000سنة، تميزوا بروعة الأداء و مجابهة المعارضين و المشككين في دراستهم.

- نقوم الآن بعرض أهم المبادئ التي وضعت في الميكانيك.

1- أرسطو: (384 ق م-322 ق م)


الفيلسوف اليوناني أرسطو

فيلسوف يوناني، تتلمذ على يد أفلاطون اشتهر بنظريته للكون وللمادة (فيزياء أرسطو)، وضح أرسطو نظريته في الميكانيك، و قسمها إلى: ميكانيك سماوية (فلكية مثالية)، و ميكانيك أرضية.

- **الميكانيك السماوية(الفلكية):** وقد قال في هذا الصدد:

- إن الكون محدود، ولا يمكن أن يمتد إلى مالا نهاية.

-الكون كروي الشكل.

-الكواكب السبعة(المعروفة آنذاك)، وهي الشمس، القمر، عطارد، الزهرة، المريخ، زحل و المشتري تدور حول الأرض في حركة دائرية في مدارات (أفلاك) مثالية، و الأرض مركز الكون و الكواكب تدور حولها.

- **الميكانيك الأرضية**: فيها نوعان من الحركات، الحركات الطبيعية (كالسقوط الحر) و الحركات العنيفة (كحركة القذائف).

- تسقط الأجسام و الحجارة و الماء (المطر) على الأرض (أي نحو الأسفل) لتأخذ مكانها الطبيعي وهو الأرض. أما الهواء و النار فإنهما يتصاعدان إلى السماء (نحو الأعلى) لأن مكانهما الطبيعي هو السماء.

- تسقط الأجسام الثقيلة بسرعة أكبر من الأجسام الخفيفة.

- الجسم المتحرك يتوقف عن الحركة عندما تنعدم القوى المؤثرة عليه.

- لقد بقيت أفكار أرسطو سائدة في أوربا منذ حوالي 300 ق.م إلى عهد غاليلي حوالي القرن السادس عشر أي لمدة 19قرن، و المدهش في الأمر أن الكنيسة تبنت أفكاره و أدخلتها في عقيدتها. وكان لأفكار أرسطو التأثير الواضح على العلماء الذين جاءوا من بعده، ومنهم علماء العرب و المسلمون مما أدى إلى تعطيل تطور الميكانيك. كما لا نستغرب عندما نجد عوام الناس ، يعتقدون بدوران الشمس حول الأرض، و سقوط الأجسام الثقيلة بسرعة أكبر من الأجسام الخفيفة في الهواء، وكذلك وجود قوة لبقاء الجسم في حركة.

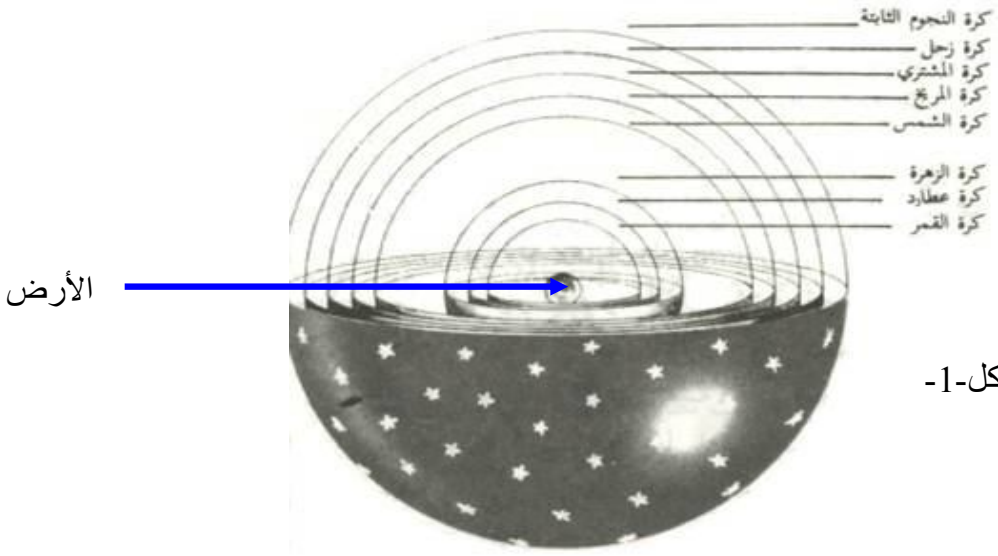
2- بطليموس:(140م)

فلكي رياضي و جغرافي هيليني من مدرسة الإسكندرية في مصر، عاش في القرن الثاني للميلاد و هو صاحب**"المجستي"** الذي رسخ فيه النظام الجيومركزي للكون لقرون عديدة. الذي إعتبر فيه أن:

- الأرض هي مركز الكون. كما هو مبين في الشكل -1-.
- الكواكب السبعة حسب بطليموس لكل واحد منها حركتان دائريتان:

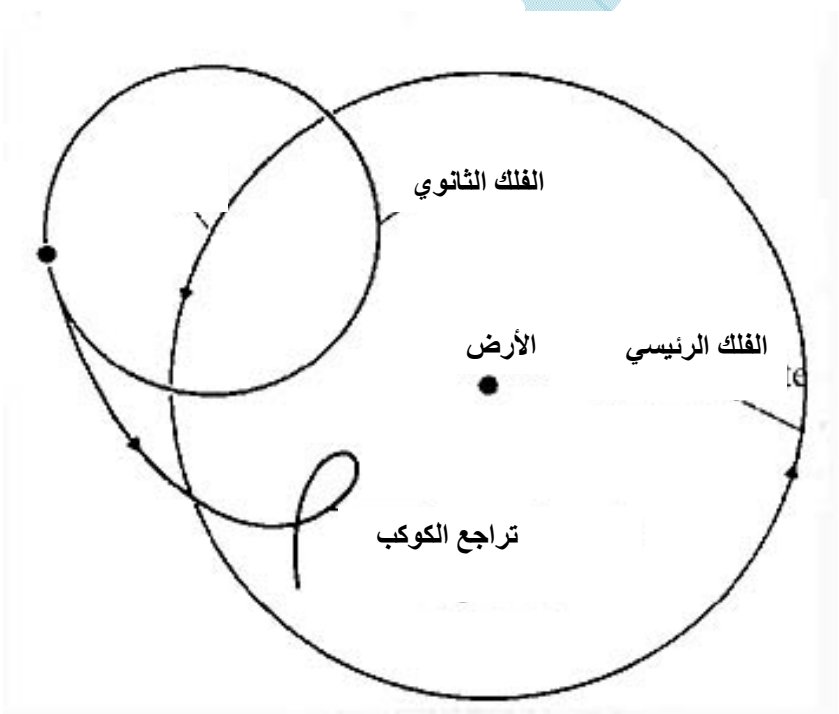
الأولى: هي حركة الكواكب في دوائر صغيرة تدعى فلك التدوير(الفلك الثانوي).

الثانية: هي حركة الكواكب حول الأرض في فلك رئيسي يدعى الفلك المركزي. كما هو مبين في(الشكل-2-)، وتمكن بطليموس بذلك من تفسير الحركة التراجعية المعروفة للكواكب.



الشكل-1-

نموذج بطليموس للعالم



الشكل -2-

3- الفلكيون العرب و المسلمون(800م-1400م):

كانت نظرة العرب المسلمون إلى الكون علمية وواقعية حيث كان للإسلام تأثيرا قويا عليهم فحثهم على طلب العلم و التدبر في الكون، و كان لحاجتهم الدينية في معرفة أوقات الصلاة و إختلافها حسب الموقع الجغرافي و معرفة إتجاه الكعبة في صلواتهم، وحاجتهم في رؤية هلال رمضان لبدء الصيام.

و بعد أن إستقرت أمور الدولة الإسلامية في زمن العباسيين بدأت الدراسات الجادة للنجوم في زمن أبي جعفر المنصور وغيره، و من أشهر علماء العرب و المسلمون في علم الفلك:

الإخوة بنو موسى (800م):

وهم أحمد و محمد والحسن اصطلح على تسميتهم الإخوة بنو موسى، قاموا في عهد الخليفة المأمون بقياس درجة واحدة من محيط الأرض القطبي و ذلك إعتمادا على تغير زاوية إرتفاع النجم القطبي الشمالي مع خط عرض المكان. أي كلما إتجهنا شمالا على نفس خط الطول تزداد زاوية إرتفاع النجم القطبي الشمالي فوق الأفق الشمالي و كانت النتيجة(66.66 ميل تقابل درجة واحدة من سطح الأرض).وظهرت إسهاماتهم في مجال الميكانيك بإختراعهم لعدت آلات ومن بين مؤلفاتهم كتاب علم الحيل وعدت كتب أخرى في الهندسة و الفلك.

الشيخ ابن سينا

إبن سينا:

هو أبو علي الحسن بن عبد الله (980-1037م)، الذي لقبه أتباعه بالشيخ الرئيس و حجة الحق، وهو من أعظم الشخصيات العلمية في تاريخ الحضارة الإسلامية، ومن أعقدها. وقد عرف بالمعلم الثالث للإنسانية بعد أرسطو و الفارابي، وكل من درس أعمال إبن سينا خرج مقتنعا أن الرجل كان عبقريا فذا، وكان لا شك من أندر ما أنجبته الإنسانية، حتى أن بعض دارسيه كانوا إذا وجدوا خاطئة في كتابات الشيخ قالوا "إن ذلك من أغاليط النساخ" أو إن الطبيعة حادت عن مجراها"، ولقد ألف 276 كتابا و رسالة في حياته، ومن بين مؤلفاته: كتاب"الشفاء" و كتاب "النجاة" ومن أهم كتبه المعروفة و التي تطرقت إلى مسألة تطور الكون ما يلي: "المجموع" و "الحاصل و المحصول"(21 جزء) و"قيام الأرض في وسط السماء" و" الأرصاد الكلية".

ومن بين العلماء الآخرين: الرازي، البيروني، أبو الوفاء ، نصير الدين الطوسي وإبن الشاطر و البتاني و إبن الهيثم. و قام العرب بصناعة الكثير من الآلات الفلكية حيث أقام هؤلاء في مراصد منتشرة في بغداد، الشام، أنطاكيا، القاهرة، الأندلس و القيروان.

وفي الحقيقة كان للعرب و المسلمين بصمات واضحة على تطور علم الفلك حيث سميت النجوم بأسماء عربية مازالت مستخدمة إلى يوما هذا.

و أضافوا الكثير إلى علم الفلك والرياضيات و الهندسة وغيرها و مهدوا السبيل لهدم نظريات بطليموس المعقدة على يد علماء أوربيون أمثال كوبرنيك وتايكوبراهي و كبلر، الذين اعتمدوا على بعض الأرصاد و القياسات التي قام بها العرب و المسلمون في عهدهم.

- جدول لأسماء بعض النجوم المسماة من طرف علماء العرب و المسلمون:

• الطائر.....ALTAIR	• سهيل.....SOUHAIL
• الذئب.....DENEB	• الغول.....ALGOL
• فم الحوت.....FAMALHOT	• الغراب.....ALGORAB
• بنات نعش.....BENETNACH	• الكأس.....ALKES
• إبط الجوزاء.....BETELGEZE	• ظهر.....DAHIR
• ذنب الجدي.....DENEB ALGEDI	• قوس.....KAUS
• القائد.....ALKAID	• سبيكة.....SPICA
• سيف.....SAIF	• ثعبان.....THUBAN

كوبرنيك

4- كوبرنيك Copernicus (1473-1543م): ومن إنجازاته

أ- تبنى نظرية مركزية الشمس، أي أن الكواكب تدور حول الشمس في مدارات دائرية تامة.

ب-إستطاع أن يحدد المسافات النسبية بين الكواكب و الشمس، و سرعتها النسبية، و زمن دورتها حول الشمس، كما وجد أن سرعة الكوكب تزداد كلما كان قريبا من الشمس.

جـ- أكد على دوران الأرض حول محورها الوهمي أثناء حركتها الإنتقالية حول الشمس وتميل هذا المحور حول القطب الفلكي الشمالي، مما يؤدي إلى تغير نقطتي الإعتدالين الربيعي و الخريفي.

د- فسر الحركة التراجعية لبعض الكواكب على أنها نتيجة لإختلاف سرعة الكواكب و الأرض.

تايكوبراهي

5- تايكوبراهي Tycho Brahe (1546-1601م):

كان مسؤولا عن أحد المراصد المهمة في الدنمارك،حيث صمم الكثير من الآلات و الأجهزة الفلكية لقياس مواضع النجوم و الكواكب، واستطاع خلال 20 سنة من العمل المتواصل أن يسجل نتائجه في سجلات خاصة، وعرف عنه الدقة في القياس و أخذه لمتوسط القراءات و شاهد نجم فوق متفجرSUPER NOVA عام 1572م و شاهد مذنب **هالي** عام 1577م و كانت نتائجه لمراحل حركة المريخ مهمة جدا لمن تسلم مسؤولية المرصد من بعده و هو جوهانس كبلر.

ولم ينكر تايكوبراهي إستعماله لنتائج وحسابات العرب و المسلمون في أعماله.

جوهانس كبلر

6- جوهانس كبلر Johannes Kepler (1571-1630م):

توصل كبلر بعد أن حلل نتائج زميله تايكوبراهي حول كوكب المريخ إلى أن مدار المريخ حول الشمس ليس دائريا بل إهليليجيا مغلقا، و إلى إحتمالية وجود كوكب بين المريخ و المشتري، حيث كشف الرصد الأخير عن وجود حزام من الكويكبات Asteroids بين الكوكبين المذكورين.

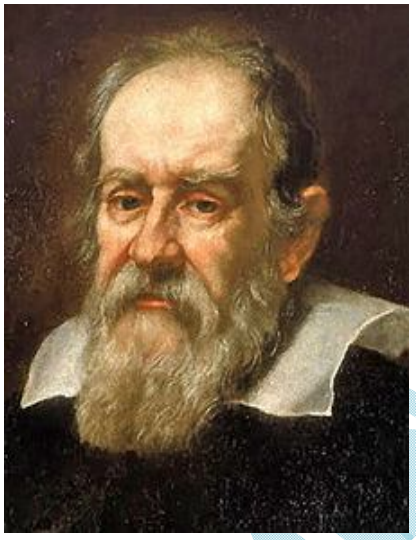
والحقيقة أن كبلر وضع الأساس لعلم الفلك الحديث و قضى نهائيا على أفكار بطليموس المعقدة، وتتلخص نظريته حول المجموعة الشمسية بثلاثة قوانين هي:

القانون الأول: تدور الكواكب كلها حول الشمس في مدارات إهليليجية مغلقة (قطع ناقص حيث تحتل الشمس إحدى بؤرتيها).

القانون الثاني: يمسح الخط الوهمي الواصل بين مركز الكوكب و مركز الشمس أثناء دوران الكوكب حول الشمس مساحات متساوية في أزمنة متساوية.

القانون الثالث: يتناسب مربع زمن دوران الكوكب حول الشمس طرديا مع مكعب نصف القطر الكبير للمدار الإهليليجي.

غاليلو غاليلي



7- غاليليو غاليلي Galilleo Galiléi (1564-1642م):

قام غاليلي بأبحاث تتعلق بحركة الأجسام على الأرض، و وضح أنها تسقط بسرعة واحدة إذا أهملنا مقاومة الهواء لها، و إن تسارع هذه الأجسام ثابت بغض النظر عن كتلتها، فتقدم علم الميكانيكا و رسخت أركانه و مفاهيمه الأساسية. كما اخترع منظارا فلكيا، حيث إكتشف به أقمار المشتري الأربعة، وشاهد وجود الزهرة حيث ترى كهلال، وكشف عن البقع الشمسية وقال إنها مناطق حرارتها أخف مما حولها و لذلك تبدوا معتمة.

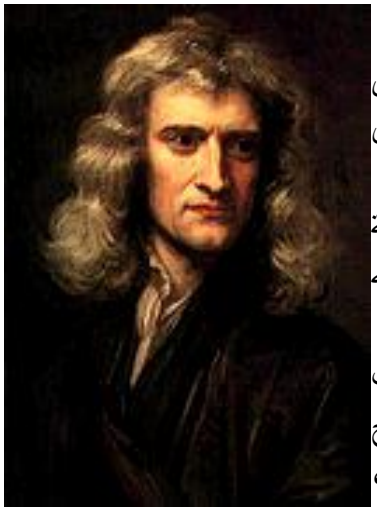
كان من الصعب على غاليلي إقناع كل قساوسة وسكان أوربا ببطلان أفكار أرسطو، فاعتمد على التجربة لإقناعهم. وصرح في كتابه "محادثة حول عالمين جديدين" فقال:

"إن أية سرعة تنحفض تماما، طالما بقيت الأسباب الخارجية للتسارع أو التباطؤ غائبة، و هو شرط لا يتحقق إلا في المستوي الأفقي، لأنه في المستوي اللاأفقي سبب للتسارع بإتجاه النزول، وسبب للتباطؤ بإتجاه الصعود. ومن هذا ينتج أن الحركة على المستوي الأفقي متواصلة،و السرعة ثابتة لعدم وجود سبب يضعفها أو يعدمها".

و لكي يثب للناس و الكنيسة خطأ أرسطو في قوله: "أن الأجسام الثقيلة تسقط بسرعة أكبر من الأجسام الخفيفة" أحضر عدة كرات متساوية الحجوم تقريبا لكنها مختلفة الأثقال، فهي مصنوعة من مواد مختلفة (خشب،حديد،رصاص،...) وتركها تسقط من قمة برج بيزا بإيطاليا ، فانبهر الناس عندما رأوا أن هذه الكرات تترافق في حركتها، رغم إختلافها، وسقطت في أسفل البرج في نفس الوقت. بهذه التجربة دحض غاليلي نظرية أرسطو في سقوط الأجسام، ووضع قانون السقوط الحر" تتحرك الأجسام الساقطة سقوطا حرا بحركات متطابقة".

- كما تمكن غاليلي بفضل تجاربه من إعطاء مبدأ النسبية الغاليلية، فأصبحت للحركة طابع نسبي، بحيث لا توجد حركة إلاّ بالنسبة لمرجع.

8- إسحاق نيوتن Isaac Newton (1642-1727م):



إسحاق نيوتن

يعتبر نيوتن أكبر فيزيائي عرفه التاريخ دون منازع. فهو لم يكن فقط واضع أسس الميكانيك، التي هي الفرع المحوري للفيزياء، بل وضع كذلك منهجا علميا تبنته كل فروع المعرفة و اعتبر هو المنهج العلمي نفسه.

نشر نيوتن عام 1687م كتابه **"المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية"**(الفلسفة الطبيعية هي ما نسميه اليوم بالفيزياء)، و هو أعظم كتاب له،و يعرف بعنوانه المختصر" **المبادئ**". و فيه وضع نيوتن قوانينه الثلاثة للحركة.

و قد ناقش في كتابه " **المبادئ**" العديد من الظواهر الطبيعية كتطبيقات لقوانينه.فبالإضافة إلى برهنته على قوانين حركة الكواكب الثلاثة لكبلر كنتائج مباشرة لقانون الجاذبية العام،فقد تناول كذلك حركة المذنبات، ومبادرة الإعتدالين، المد و الجزر، الإنتفاخ الإستوائي للأرض، و الإضطرابات الأساسية لحركة القمر.

9- ماير Mayer (1814-1878م):

هو طبيب وفيزيائي ألماني، تحصل على شهادة الدكتوراه في الطب عام 1838م، توظف كطبيب على متن الباخرة التي تسافر إلى شرق آسيا، من خلال مجموعة من الأبحاث والأعمال إستنبط أن الطاقة الميكانيكية للعضلات و الكيميائية للأغذية و الحرارة متساوية و قابلة للتحويل.

في عام1843 قام بقياس العمل الميكانيكي للدينامو وذلك بإرتفاع درجة حرارته وهو موضوع في حمام مائي.

في عام1848 حاول ماير تطبيق مبدأ حفظ الطاقة على علم البيولوجيا والكهرباء، الكثير من أفكاره نشرت بفضل أعماله الإبداعية، خاصة المعلومات الحالية في الفيزياء والكيمياء.

بعد سنة1860 أعترف بأفكار الطبيب ماير حول الترموديناميك بإنجلترا، بعد هذا قام بنشر مجموع أعماله بعنوان"Die Mechanik der warme" الذي يشرح فيها ميكانيزمات الحرارة وحركتها.

10- جول (1837-1874م):

شارك جول مع الكثير من الفيزيائيين، خصوصا ويليام طومسن، بتأسيس المبدأ الأول للترموديناميك ، و مبدأ حفظ الطاقة. جميع أشكال الطاقة سواء كانت ميكانيكية، كهربائية،كيميائية....إلخ تستطيع التحول من شكل إلى آخر دون ضياع، عندما تكون الحرارة مرتبطة بحركة الذرات المكونة للمادة و ليس مائع الكالوريك كما كان يعتقد.

11- هرمان فون هلمهولتز (1821-1892م):

هو طبيب ألماني كرس نفسه للفيزياء، قدم إسهامات كثيرة في العديد من فروعها، و هو أول من أدخل مفهوم الطاقة بصفة عامة سنة 1847 بنشر عمله تحت عنوان (über die Erhaltung der Kraft) حول حفظ "القوة" و تعتبر هذه المذكرة خطوة مهمة في إكتشاف مبدأ حفظ الطاقة.

ماكس بلانك

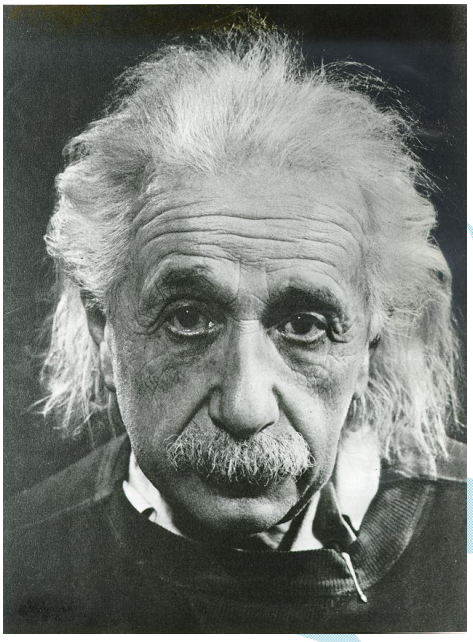
ثانو

- ماكس بلانك (1858-1947م):

يعتبر مؤسس نظرية الكم، و أحد أهم فيزيائيّ القرن، و في ديسمبر 1900 إستطاع أن يهز الأوساط العلمية عندما أعلن أن طاقة الموجات الضوئية تقفز بصفة غير متصلة، و أنها مكونة من كموميات، أي مكممة.وهوالذي تمكن من إيجاد الثابت h الذي سمي بثابت بلانك،حيث $h = 6.62 \times 10^{-34} J/s$.

12- ألبارت آنشتاين (1879-1955م):

تعتبر فكرة الفضاء و الزمان المطلقان من صميم ميكانيك نيوتن، إذ صرح في كتابه "المبادئ"، أن الزمن يسيل بصفة مستمرة و منتظمة لا يؤثر فيه أي شيء خارجي.أمّا الفضاء فيبقى غير قابل للتغيير ، فهو ثابت مستقر لا تربطه أي علاقة بأي شيء خارجي. ويقول في حركة الأجسام أنها مطلقة و هي عبارة عن إنتقال متسلسل لجسم من مكان مطلق إلى مكان مطلق.



آلبرت آنشتاين

أمّا آنشتاين تأثر بأفكار ماخ (E.Mach) الذي رفض مفهوم الزمان و الفضاء المطلقين، فوضع آنشتاين جانبا كل خواص الميكانيك و الكهرطيسية المرتبطة بالفضاء و الزمان المطلقين ، و جاء سنة 1905 بالمسلمتين اللتين ترتكز عليهما النسبية الخاصة:

1. مبدأ النسبية: تتخذ قوانين الطبيعة نفس الصيغة في معلم ساكن، و معلم متحرك بإنتظام.
2. مبدأ ثبات سرعة الضوء: إن سرعة الضوء في الفراغ هي نفسها بالنسبة لمشاهد ساكن وآخر يتحرك بإنتظام.

إن نسبية الفضاء و الزمان التي تسمح بالمحافظة على ثبات سرعة الضوء تسمى بالزمكان النسبوي و إلتحام الكلمتين هنا يدل على أنه لا بد من إعتبار الزمان و المكان معا ، ولا يصح معالجة الواحد دون الآخر، بالإضافة إلى هذا فالمعالم التي يصح إستعمالها هي المعالم العطالية. ومن أجل هذا سمية نظرية آنشتاين بالنسبية الخاصة و التي أدت إلى نتائج وهي:

- لا يمكن لسرعة أي جسم مادي أن تتجاوز سرعة الضوء.
- يبدو طول جسم متحرك عندما يقاس من طرف راصد ساكن أطول مما هو عليه في الواقع.
- يتدفق الزمن بصفة مختلفة في المراجع العطالية ذات السرعات المختلفة.
- تملك الأجسام المادية حتى في سكونها طاقة ذاتية تعطى بالعلاقة $E = mc^2$.

- في سنة 1911 تمكن آنشتاين من وضع مبدأ مهم يعتبر الحجر الأساسي للنسبية العامة، وهو مبدأ التكافؤ، والذي يتمثل في أن الكتلة التجاذبية و العطالية متساويان، ولا يمكن التمييز بينهما.

إن النسبية الخاصة و العامة أعطت لآنشتاين شهرة منقطعة النظير، وحاز هذا الأخير على جائزة نوبل للفيزياء سنة 1921.

2- بعض المفاهيم الأساسية في الميكانيك.

الحركة نسبية، أي أن الأجسام لا تتحرك إلاّ بالنسبة لأجسام أخرى.إذن لدراسة حركة جسم يجب إختيار جسم مرجعي، ولتحديد موضع المتحرك في لحظة زمنية معينة t، يجب إختيار معلم للفضاء و معلم للزمن مرتبطين بالجسم المرجعي.

تعريف المعلم العطالي:

هو معلم فضائي محدد بمبدأ و ثلاثة محاور متقاطعة فيه، وغير قابلة للتشوه. يتم تعيين مبدأ و محاور معلم بإختيار 4 نقاط (لا تقع في مستوي واحد) من جملة معزولة. و كل معلم ينسحب بحركة مستقيمة منتظمة بالنسبة لمعلم عطالي، فهو أيضا معلم عطالي.

- عمليا يمكن إعتبار معلم، مبدأه يتحرك بحركة تقريبا مستقيمة و بتسارع صغير جدا أنه عطالي، هذه الخصائص مطبقة على المعالم التالية، المرتبة من أحسن عطالة إلى أقل عطالة: لمعلم المركزي في مجرتنا، ثم معلم كوبرنيك الممركز في النظام الشمسي، ثم المعلم الأرضي المركزي، ثم السطحي الأرضي، ثم المعلم الذري المبني على بلورات لدراسة حركة الذرات أو الإلكترونات. و لدراسة حركة أي جسم لابد من إختيار المعلم الناسب للدراسة. مثلا: هل يمكن إستعمال المعلم السطحي الأرضي لدراسة حركة إلكترون في الذرة؟ هل يمكن إستعمال المعلم المركزي الشمسي لدراسة حرة طائرة مثلا؟.

أنواع المعالم العطالية: المستعملة كثيرا في الميكانيك هي:

1. **المعلم الهيليومركزي: (Référentiel Heliocentrique)**

إسمه مشتق من الكلمة(Helios) التي تعني الشمس باليونانية، ويسمى أيضا معلم كوبرنيك(Copernic). هو معلم ذو ثلاثة محاور موجهة نحو ثلاثة نجوم نعتبرها تقريبا ساكنة بالنسبة للشمس خلال مدّة طويلة (قرون)، ومبدأه مركز النظام الشمسي(يمكن إعتباره مركز الشمس). يعتبر هذا المعلم معلما عطاليا إلى حد كبير، ويعتمد عليه في دراسة حركة الكواكب و المذنبات، وبعض المركبات الفضائية.

2. **المعلم المركزي الأرضي: (Référentiel géocentrique)**

هو معلم مبدأه مركز الأرض ، ومحاوره موازية لمحاور المعلم الشمسي أي موجهة لنفس النجوم (معناه أنها لا تدور مع دوران الأرض). و إعتباره كمرجع غاليلي أقل دقة من حالة المرجع الشمسي إذ ليس لمركزه حركة مستقيمة (لأنه يدور حول الشمس) و هو عطالي بكفاية لدراسة حركة القمر و الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض ، وبعض الحركات الأرضية.

3. **المعلم السطحي الأرضي: (Référentiel terrestre)**

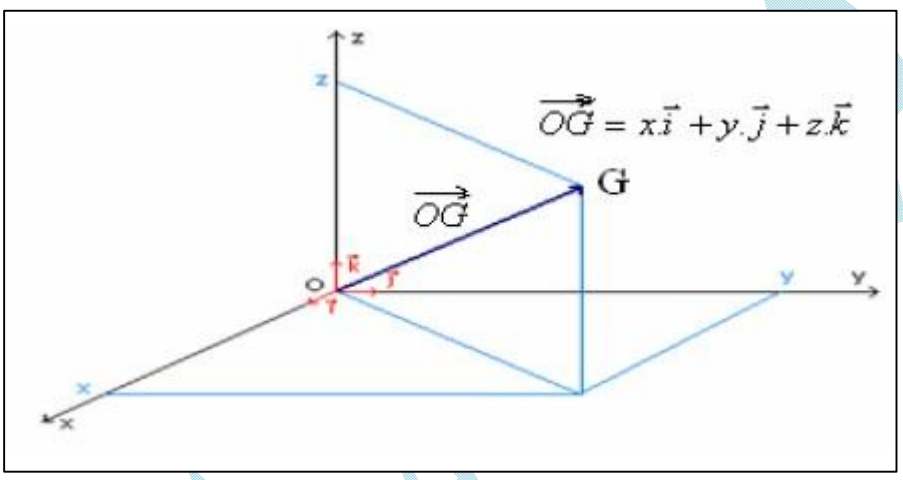
و هو معلم مرتبط بسطح الأرض(ركن مخبر مثلا، شجرة، رصيف...) و إعتباره كمعلم عطالي أقل دقة من سابقيه، ولكنه عطالي بكفاية لدراسة معظم الحركات التي ندرسها خلال مدّة زمنية قصيرة جدا أمام دوران الأرض حول نفسها.

3- قوانين نيوتن الثلاثة:

1- شعاع الموضع:

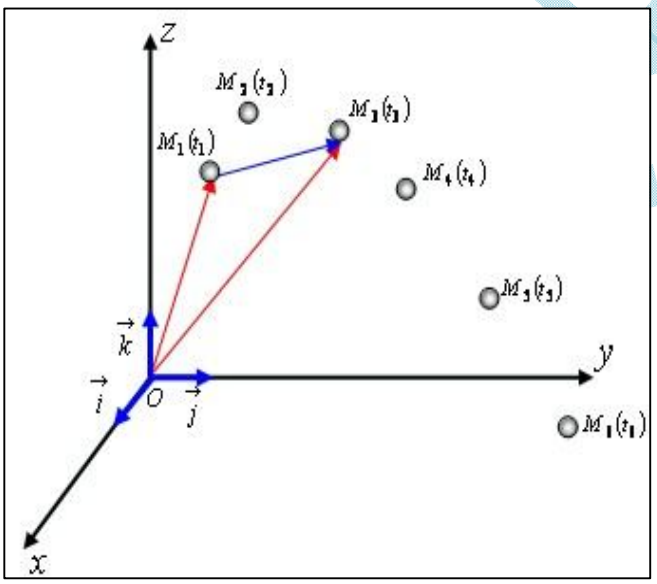
في معلم ديكارتي $(o,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$، منسوب إلى معلم مناسب، موضع مركز العطالة G للمتحرك(S) يحدد في كل لحظة t بشعاع موضع $\overrightarrow{OG}$ حيث: $\overrightarrow{OG}=x(t)\vec{i}+y(t)\vec{j}+z(t)\vec{k}$. x,y,z تمثل الإحداثيات الديكارتية لمركز عطالة الجسم (S) في معلم الفضاء $(o,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ وهو عبارة عن دوال زمنية تكتب كما يلي: $x=f(t)$، $y=f(t)$، $z=f(t)$ وتسمى المعادلات الزمنية للحركة.

و طويلة شعاع الموضع $\overrightarrow{OG}$ هي: $\left\|\overrightarrow{OG}\right\|=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$.



المسار:

هو مجموعة المواضع المتتالية التي يشغلها المتحرك، و يمكن أن يكون مستقيما أو دائريا أو منحنيا.



2-شعاع السرعة:

أ- شعاع السرعة المتوسطة:

يمثل شعاع السرعة المتوسطة حاصل النسبة بين التغير الذي يطرأ عل شعاع الموضع و المدة الزمنية التي حدث فيها هذا التغير.

في اللحظة t_1 يكون الجسم المتحرك في الموضع M_1.

و يكون شعاع الموضع عند هذه النقطة هو: $\overrightarrow{OM_1}$.

في اللحظة t_3 يصبح الجسم في الوضع M_3. ويكون شعاع الموضع عند هذه اللحظة هو: $\overrightarrow{OM_3}$.

يعطى شعاع السرعة المتوسطة بالعلاقة: $\overrightarrow{v_m} = \dfrac{\overrightarrow{OM_3} - \overrightarrow{OM_1}}{t_3 - t_1}$

كما يمكن كتابة هذه العبارة على الشكل: $\overrightarrow{v_m} = \dfrac{\overrightarrow{OM_3} - \overrightarrow{OM_1}}{t_3 - t_1} = \dfrac{\overrightarrow{OM_3} - \left(-\overrightarrow{M_1O}\right)}{t_3 - t_1}$

و منه نجد العبارة: $\overrightarrow{v_m} = \dfrac{\overrightarrow{M_1M_3}}{t_3 - t_1}$. و وحدة السرعة هي m/s.

ب ـ شعاع السرعة اللحظية:

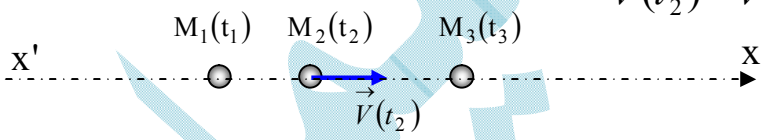
السرعة اللحظية هي أيضا سرعة متوسطة لكن المجال الزمني يكون صغيرا جدا إلى درجة أننا لا نستطيع عمليا أن نفرق بين اللحظتين. نقول إن السرعة اللحظية هي قيمة السرعة المتوسطة لما يؤول المجال الزمني إلى الصفر.

و بهذا تعرف السرعة اللحظية بأنها نهاية السرعة المتوسطة لمّا يؤول المجال الزمني إلى الصفر. $\vec{v} = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \dfrac{\Delta \overrightarrow{OM}}{\Delta t} = \dfrac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$.

جـ ـ كيف يمكن تحديد السرعة الحظية؟:

- في الحالة التي يكون لدينا تسجيل لمختلف أوضاع الجسم أثناء حركته، وكان هذا التسجيل قد تمّ في مجالات زمنية متساوية، فإنه لتعيين السرعة اللحظية عند اللحظة t_2 الموافقة للموضع M_2 الذي شغله المتحرك، نعتبر أن هذه السرعة تساوي السرعة المتوسطة بين اللحظتين t_1 و t_3.

ونكتب العلاقة التالية: $\vec{v}(t_2) = \overrightarrow{v_m} = \dfrac{\overrightarrow{M_1M_3}}{2\tau}$



د ـ خصائص شعاع السرعة $\vec{v}$ هي:

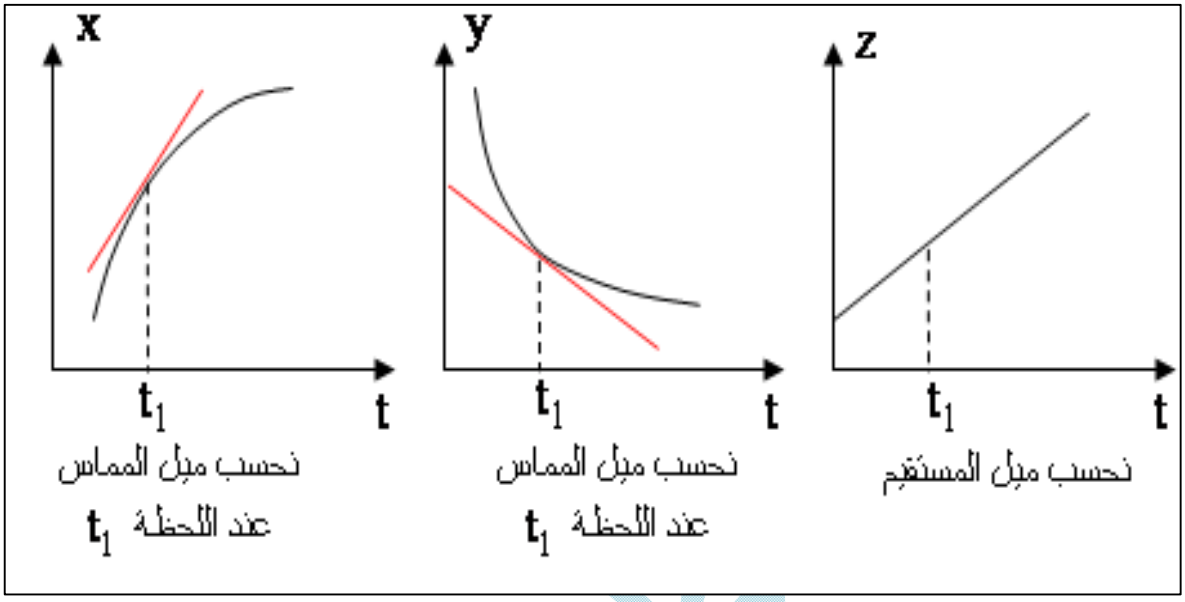
- دائما مماسي للمسار عند النقطة المعتبرة G_i.
- شعاع السرعة (بشرط أن لا يكون معدوما) يشير دائما إلى جهة الحركة.
- طويلته: $\left\|\overrightarrow{v_G}(t)\right\| = v_G(t) = \sqrt{v_x^2(t) + v_y^2(t) + v_z^2(t)}$

- في الحالة التي تكون لدينا المعادلة الزمنية للحركة في المعلم $(o,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ المرتبط بالمرجع الذي أختير لإجراء دراسة الحركة، فإن شعاع الموضع $\overrightarrow{OM}$ معرف بالإحداثيات $\left(x(t), y(t), z(t)\right)$.

لتعيين عبارة شعاع السرعة اللحظية نقوم بالإشتقاق بالنسبة للزمن، لإحداثيات الموضع $\overrightarrow{OM}$. الذي عبارته: $\overrightarrow{OM} = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$.

بالإشتقاق نجد : $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} = \frac{dx(t)}{dt}\vec{i} + \frac{dy(t)}{dt}\vec{j} + \frac{dz(t)}{dt}\vec{k}$

- أما في الحالة التي يكون لدينا التمثيل البياني الخاص بتغيرات الإحداثيات بدلالة الزمن.



3-شعاع التسارع:

أ- شعاع التسارع المتوسط:

شعاع التسارع الوسطي يعبر بشكل كيفي وكمي عن التغير بالنسبة للزمن الذي يحدث لشعاع السرعة اللحظية بين اللحظتين t_1 و $t_2 = t_1 + \Delta t$. تعطى عبارة هذا الشعاع بالعلاقة التالية:

$\overrightarrow{a_m} = \frac{\vec{v}(t_2) - \vec{v}(t_1)}{t_2 - t_1}$ ، وحدة التسارع هي m/s^2 .

ب- شعاع التسارع اللحظي:

مثله مثل شعاع السرعة اللحظية، فإن التسارع اللحظي هو عبارة عن شعاع تسارع وسطي يعين في مجال زمني قصير جدا بين لحظتين إلى درجة أننا لا نستطيع التمييز بين هاتين اللحظتين.

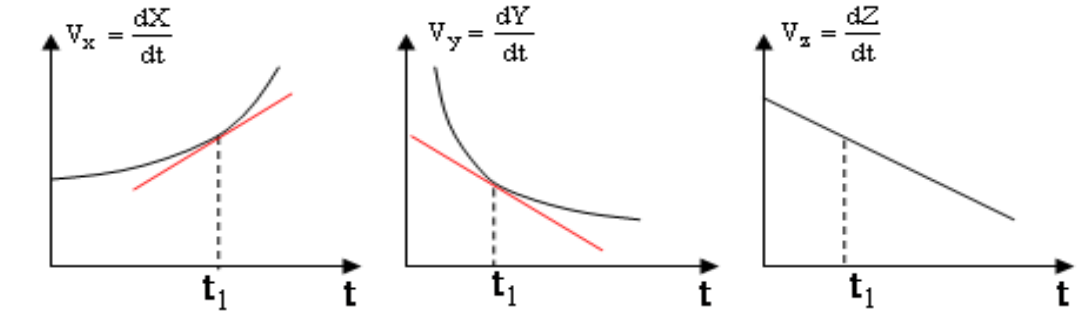
يعطى شعاع التسارع اللحظي بالعلاقة التالية: $\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$.

جـ - عبارة شعاع التسارع اللحظي في الإحداثيات الكارتيزية:

للوصول إلى عبارة شعاع التسارع في هذا النوع من الإحداثيات نعوض شعاع السرعة اللحظية فنجد ما يلي: $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dx(t)}{dt}\vec{i} + \frac{dy(t)}{dt}\vec{j} + \frac{dz(t)}{dt}\vec{k}\right)$

فنتوصل إلى العبارة التالية: $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2x(t)}{dt^2}\vec{i} + \frac{d^2y(t)}{dt^2}\vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\vec{k}$.

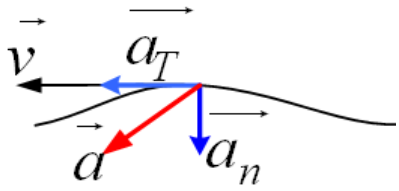
- في الحالة التي يكون فيها لدينا مخطط السرع الخاص بإحداثيات شعاع السرعة.



نحسب ميل المماس عند اللحظة t_1 | نحسب ميل المماس عند اللحظة t_1 | نحسب ميل المستقيم

$$a_x = \left(\frac{d^2X}{dt^2}\right) = \frac{dv_x}{dt} \qquad a_y = \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right) = \frac{dv_y}{dt} \qquad a_z = \frac{\Delta v_z}{\Delta t}$$

د- مميزات شعاع التسارع في الحركات الكيفية:

التسارع المماسي	التسارع الناظمي	شكل توضيحي
- يعطى بالعلاقة: $a_T = \frac{dv}{dt}$. - حامل $\vec{a_T}$ نفسه حامل شعاع السرعة $\vec{v}$.	- يعطى بالعلاقة: $a_n = \frac{v^2}{\rho}$، حيث ρ نصف قطر إنحناء المسار. - يكون حامل $\vec{a_n}$ عمودي على شعاع السرعة $\vec{v}$.	

- $a_T = 0N/m^2$ إذا كانت السرعة أعظمية أو أصغرية أو ثابتة الشدّة.
- $a_n = 0N/m^2$ إذا كان $(\rho \to \infty)$ أو السرعة معدومة.

4- قانون نيوتن الأول: مبدأ العطالة

إعتمادا على أعمال غاليلي تمكن نيوتن من صياغة قانونه الأول و المعروف بمبدأ العطالة و الذي ينص على مايلي:

« في معلم عطالي لكل جملة معزولة أو شبه معزولة نقطة على الأقل، تسمى مركز عطالتها، تستمر في سكونها إذا كانت ساكنة، أو تكتسب حركة مستقيمة منتظمة بنفس السرعة التي كانت لها لحظة إنعدام القوى المؤثرة على الجملة إذا كانت متحركة».

5- قانون نيوتن الثاني:

نص القانون الثاني لنيوتن هو :

أ- في حالة نقطة مادية:

«في معلم عطالي تكتسب نقطة مادية كتلتها m و خاضعة لمجموعة من القوي $\sum \vec{F}$ تسارعا $\vec{a}$ حيث:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$ ».

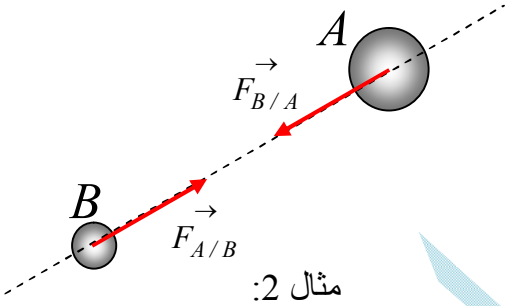
ب- في حالة جملة مادية:

« في معلم عطالي تكتسب جملة مادية كتلتها M وخاضعة لقوى خارجية محصلتها $\sum \overrightarrow{F_{ext}}$ تسارعا $\overrightarrow{a_G}$ لمركز عطالتها G وفق العلاقة $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = M\ \overrightarrow{a_G}$.في حالة إنسحاب أي عدم دوران حول محور مار بمركز العطالة يجب أن يكون: $\sum Mt_G(\overrightarrow{F_{ext}}) = 0$ و السرعة الزاوية تساوي الصفر »

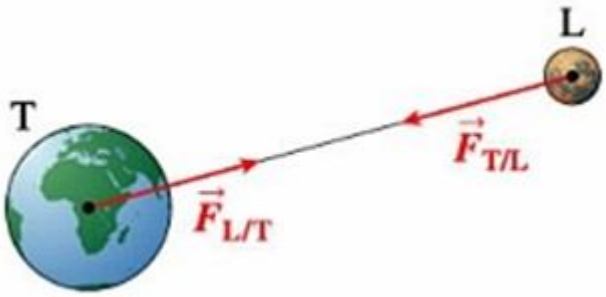
6- قانون نيوتن الثالث: مبدأ الفعلين المتبادلين.

يعتبر مبدأ الفعلين المتبادلين قانونا أساسيا في علم الميكانيك و الذي ينص على ما يلي:

« في معلم عطالي عندما تحدث بين جسمين A و B تأثيرات متبادلة، فإنه لمّا يؤثر الجسم A على الجسم B بقوة $\overrightarrow{F_{A/B}}$ ، فإن الجسم B يؤثر كذلك على الجسم A بقوة $\overrightarrow{F_{B/A}}$ في نفس اللحظة بحيث يكون $\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}}$ »



مثال 2:



مثال 1: التأثيرات المتبادلة بين الأرض و القمر

- خصائص مبدأ الفعلين المتبادلين:

- في المعلم العطالي $\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}}$: بين جملتين A و B كقوتين خارجيتين.
- $\overrightarrow{F_{A/B}} + \overrightarrow{F_{B/A}} = \vec{0}$ بالنسبة للجملة $(A+B)$ كقوتين داخليتين.
- لهما نفس الحامل، ومطبقتان على جملتين مختلفتين كقوتين خارجيتين.
- لهما نفس الطبيعة الفيزيائية(جاذبية أو كهربائية).
- لهما نفس طبيعة التأثير (تلامسية أو بعدية).
- متزامنتان أي يحدثان في آن واحد.
- لا يمكن إعتبار أحدهما سبب لآخر.
- خصائصهما صحيحة مهما كانت الحالة الحركية للجملتين A و B.
- خاصية للقوى الحقيقية و لا تملكها القوى العطالية.

4- شرح حركة كوكب أو قمر إصطناعي:

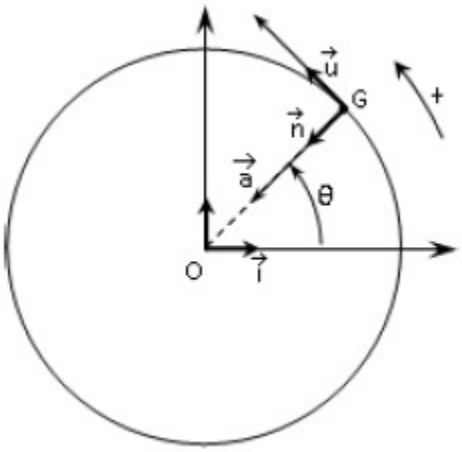
- الحركة الدائرية المنتظمة:

1- **تعريف:** نعتبر جملة مادية مركز عطالتها G، يتحرك مركز عطالة الجملة المادية بحركة دائرية منتظمة إذا كان مساره دائري و سرعته ثابتة الشدة و متغيرة الجهة.

2- **شعاع التسارع:**

في الحركة الدائرية المنتظمة تكون قيمة شعاع السرعة ثابتة و لكن شعاع السرعة لا يكون ثابتا. بما أن شعاع السرعة ليس ثابتا فهذا يعني أن $\Delta\vec{v} \neq \vec{0}$ و بالتالي شعاع التسارع ليس معدوما.

نعلم أن العلاقة التي تربط شعاع التسارع بشعاع تغير السرعة تعطى بالعلاقة التالية: $\vec{a_i} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$.



- في الحركات الدائرية المنتظمة يكون شعاع التسارع ناظميا و موجه نحو المركز C للمسار الدائري. و تعطى عبارته بالعلاقة التالية $\vec{a} = \vec{a_N} = \frac{v^2}{r}\vec{n}$.

3- دور الحركة :

الدور هو المدّة الزمنية اللازمة لإنجاز دورة كاملة و نرمز له بالرمز (T)، من أجل $t = T$ (بداية الحركة t=0s) يقطع مركز عطالة المتحرك G مسافة قدرها محيط الدائرة. أي $x = 2\pi r$.

حيث: $x = v_G\, t \Leftrightarrow 2\pi r = v_G\, T \Rightarrow T = \frac{2\pi r}{v_G}$.

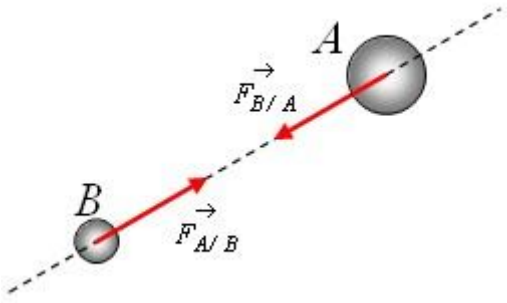
- قانون الجذب العام:

إكتشف إسحاق نيوتن سنة1687قوة التجاذب بين كل الأجسام المادية، ثم أكد أن قوانين كبلر هي نتيجة مباشرة لقانون الجاذبية الذي ينص على ما يلي:

«جسمان كيفيان يتجاذبان بقوة تتناسب مباشرة مع جداء كتلتيهما و عكسيا مع مربع المسافة التي تفصلهما».

علاقة قوة الجذب العام:

يمكن نمذجة قوة الجذب العام، المتبادلة بين الجسمين A و B كتلتهما على الترتيب M_A و M_B تفصلهما مسافة d، بعلاقة رياضية تسمح بتحديد شدّة هذه القوة بدلالة الكتلتين و المسافة الفاصلة بين مركزي الجسمين (كتلتيهما موزعة بإنتظام حول مركزيهما):



$$F_{A/B} = F_{B/A} = G.\frac{M_A.M_B}{d^2}$$

حيث G ثابت التناسب، و يدعى ثابت الجذب العام و يقدر في الوحدات الدولية (SI) بالنيوتن في المتر المربع على الكيلوغرام المربع: $G = 6,67\times10^{-11} N.m^2/kg^2$.

- الحركة الدائرية المنتظمة للكواكب و الأقمار الإصطناعية:

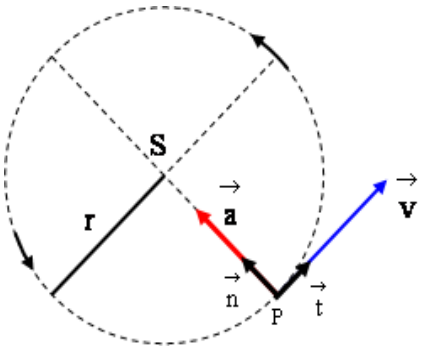
1- خصائص حركة كوكب حول الشمس:

نعتبر كوكبا (p) كتلته m من النظام الشمسي في حركة دائرية حول الشمس(s) التي كتلتها M_s ، البعد بين الكوكب و الشمس هو r.

أ- تسارع الكوكب هو:

- الجملة المدروسة: كوكب (الأرض، عطارد ، المريخ....).
- مرجع الدراسة: المرجع الهيليومركزي.
- القوى: قوة الجذب العام $\vec{F}_{s/p}$.
- بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على الكوكب (p):

$$\sum \vec{F}_{ext} = m_p . \vec{a}_G$$



- بإسقاط العلاقة الشعاعية على المحور الناظمي $\vec{n}$ نجد:

$$F_{s/p} = m_p . a_G \Leftrightarrow G\frac{M_s . m_p}{r^2} = m_p . a_n$$

و عليه:

$$a_G = a_n = G.\frac{M_s}{r^2}$$

ب- السرعة المدارية للكوكب هي:

$$a_G = a_n = \frac{v_G^2}{r} \Leftrightarrow G.\frac{M_s}{r^2} = \frac{v_G^2}{r}$$

و منه :

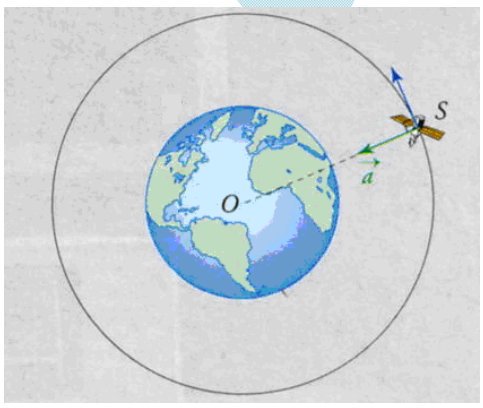
$$v_{orb} = v_G = \sqrt{\frac{G.M_s}{r}}$$

ت- الدور المداري للكوكب هو:

الدور T لكوكب هو المدة الزمنية اللازمة لإنجاز دورة كاملة $(2.\pi.r)$ خلال حركته حول الشمس:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{G.M_s}} \Leftarrow T = \frac{2.\pi.r}{v_G} = 2.\pi.r\sqrt{\frac{r}{G.M_s}}$$

2- خصائص حركة قمر صناعي حول الأرض:



أ- تسارع القمر الصناعي:

- الجملة المدروسة: القمر الصناعي (S) كتلته m_s.
- مرجع الدراسة: المرجع الجيومركزي الذي نعتبره غاليليا.
- القوى الخارجية: قوة جذب الأرض للقمر الصناعي $\vec{F}_{T/S} = m_S \vec{g}$.
- بتطبيق القانون الثاني لنيوتن :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m_S . \vec{a}_G = m_S . \vec{g}$$

- بإعتبار حركة الكوكب دائرية منتظمة و بالإسقاط على

المحور الناظمي SO نجد: $a_n = g = G\dfrac{M_T}{(R_T + h)^2}$.

ب- تسارع الجاذبية:

من العلاقة $a_n = g = G\dfrac{M_T}{(R_T + h)^2}$، تبين أن تسارع الجاذبية الأرضية يتعلق بالإرتفاع h عن سطح الأرض

1- على سطح الأرض: $h = 0m$ نجد $g = g_0 = G\dfrac{M_T}{R_T^2}$.

2- على إرتفاع h من سطح الأرض: $g = G\dfrac{M_T}{(R_T + h)^2}$.

ت- السرعة المدارية للقمر الصناعي:

$$a_n = G\frac{M_T}{(R_T + h)^2} = \frac{v_G^2}{R_T + h} \Leftrightarrow v_G = v_{orb} = \sqrt{\frac{G.M_T}{R_T + h}}$$

ث- الدور المداري لقمر صناعي:

الدور المداري هو الزمن اللازم لإنجاز دورة كاملة

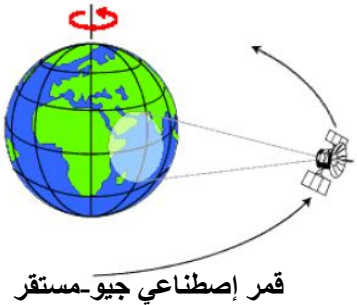
$$2\pi(R_T + h) = v_G T \Leftrightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{G.M_T}}.$$

- الأقمار الإصطناعية الجيو-مستقرة:

1- أنواع المدارات: معظم الأقمار الإصطناعية تشغل واحد من أربعة أنواع من المدارات الملخصة في الجدول التالي:

نوع المدار	متوسط الإرتفاع	الغرض
مدار أرضي منخفض LEO	$200km \le h \le 2000km$	المراقبة، الإتصال ،مراقبة الطقس، علم الفلك.
مدار قطبي PO	$400km \le h \le 1000km$	الملاحة الجوية و البحرية ، مراقبة المحيطات.
مدار أرضي مرتفع HEO	$500km \le h \le 20000km$	الملاحـــة
مدار جيو-مستقر GEO	$h \approx 36000km$	الإتصالات، البث التلفزي و الإذاعي، الأحوال الجوية.

2- شروط إستقرار قمر إصطناعي:



قمر إصطناعي جيو-مستقر

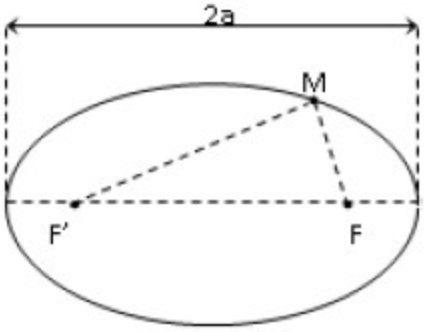
نقول عن قمر إصطناعي أنه جيو-مستقر إذا بقي ساكنا بالنسبة لمعلم سطحي أرضي ، و لكي يبقى في مداره لابد أن تتوفر الشروط التالية:

- في المعلم المركزي الأرضي، الدور المداري للقمر الإصطناعي مساويا للدور الدوراني الذاتي للأرض $(T_0 = 1j = 24h)$.
- أن يكون مسار هذا القمر دائريا و يقع في المستوي الذي يشمل خط الإستواء.
- يوجه مدار القمر في نفس إتجاه دوران الأرض، و يكون نصف قطره، أي البعد بين مركز الأرض و مدار القمر يساوي $r \approx 42 \times 10^3 km$.

- قوانين كبـــلر:

إهتم كبلر بالأعمال التي قام بها الدنماركي تايكوبراهي على مدار 20 سنة تقريبا على كوكب المريخ، وواصلها بنفسه. ففي البداية كان موافقا على الرأي التقليدي السائد على أن مدارات الكواكب دائرية حول الشمس، و هذا ما سبب له إضاعة الكثير من الوقت لوضع مسار كوكب المريخ. ثم أثبت أن المدارات ليست دائرية بشكل تام، بل هي إهليلجية، ثم وضع قوانينه الثلاثة التي تتحكم في حركة الكواكب.

1- القانون الأول: قانون المسارات (1609م).



الإهليليج

في المرجع المركزي الشمسي، مسار مركز عطالة الكواكب عبارة عن إهليليج، تقع الشمس في أحد بؤرتيه.

<u>تذكير رياضي:</u> الإهليليج في المستوي هو مجموعة النقط M التي تحقق المعادلة $FM + F'M = 2a$

حيث: F و F' نقطتان ثابتتان تسميان بؤرتي الإهليليج.

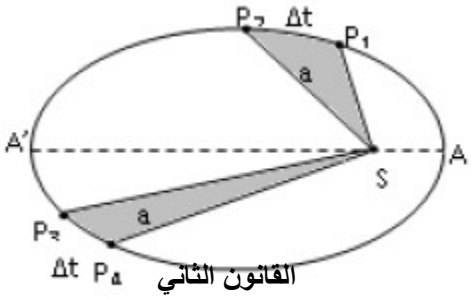
$2a$: طول المحور الكبير للإهليليج.

a: نصف طول المحور الكبير.

حالة خاصة: إذا كانت البؤرتان منطبقتين فإن المعادلة تصبح $FM = a$ وبالتالي فإن الإهليليج في هذه الحالة عبارة عن دائرة قطرها a.

2- القانون الثاني: قانون المساحات (1609م)

يمسح الشعاع الواصل بين الشمس و الكوكب مساحات متساوية خلال مجالات زمنية متساوية.(أنظر النشاط رقم 13من الفصل الرابع)



القانون الثاني

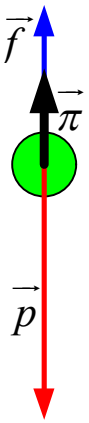
3- القانون الثالث: قانون الدور الفلكي (1619م)

إن مربع الدور (T) لكوكب خلال حركته حول الشمس يتناسب طردا مع مكعب نصف طول المحور الكبير (a) للمدار الإهليليجي.

من علاقة الدور المداري للحركة .

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}} \Rightarrow T^2 = 4\pi^2\frac{r^3}{GM} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{T^2}{a^3} = k}$$

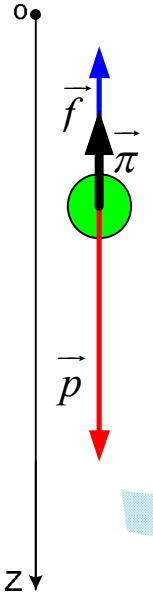
6- السقوط الشاقولي للأجسام:



في معلم عطالي، يخضع جسم كتلته m و مركز عطالته G أثناء سقوطه في مائع (سائل أو غاز) إلى ثقله $\vec{P}$ و القوتين $\vec{f}$ قوة الإحتكاك مع المائع و $\vec{\pi}$ دافعة أرخميدس، وهما قوتان معاكستان لقوة ثقل الجسم.

- **خصائص دافعة أرخميدس $\vec{\pi}$:**
  - الحامل: هو الشاقول ، نفس حامل ثقل الجسم.
  - الجهة: نحو الأعلى.
  - نقطة التأثير مركز عطالة الجسم، أي نفس نقطة تأثيرثقل الجسم.
  - الشدة: $\pi = m.g$، ولدينا كتلة السائل المزاح هي $m = \rho_f V_s$، و بالتالي: $\pi = \rho_f V_s g$. حيث ρ_f هي الكتلة الحجمية للسائل و V_s حجم الجسم المغمور في المائع.

- قوة الإحتكاك $\vec{f}$: تتناسب هذه القوة مع سرعة الجسم، حيث كلما تزداد السرعة تزداد مقاومة المائع للجسم.
  - في حالة سرعة الجسم صغيرة: نقول أن الجسم ينساب في المائع و تكون قوة الإحتكاك من الشكل: $f = kv$.
  - في حالة سرعة الجسم كبيرة: تحدث إضطرابات وراء الجسم أثناء حركته، وتكون قوة الإحتكاك من الشكل: $f = k'v^2$.
    - ❖ نسمي كل من k و k' ثابت الإحتكاك.



1- المعادلة التفاضلية للحركة:

- الجملة المدروسة هي الجسم كتلته m و مركز عطالته G (و ليكن كرية أو قطعة بوليستار.....).
- القوى الخارجية المطبقة على الجملة هي:ثقله $\vec{P}$ و دافعة أرخميدس $\vec{\pi}$و قوة الإحتكاك $\vec{f}$.
- بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على الجملة المدروسة في المعلم السطحي الأرضي(المخبري) و الذي نعتبره غاليليا. $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m.\vec{a}_G$ و منه $\vec{P} + \vec{f} + \vec{\pi} = m.\vec{a}_G$.
- بإسقاط العلاقة وفق المحور الشاقولي (OZ) نحصل على $P - f - \pi = m.a_G$.

✓ **في حالة $f = kv$:**

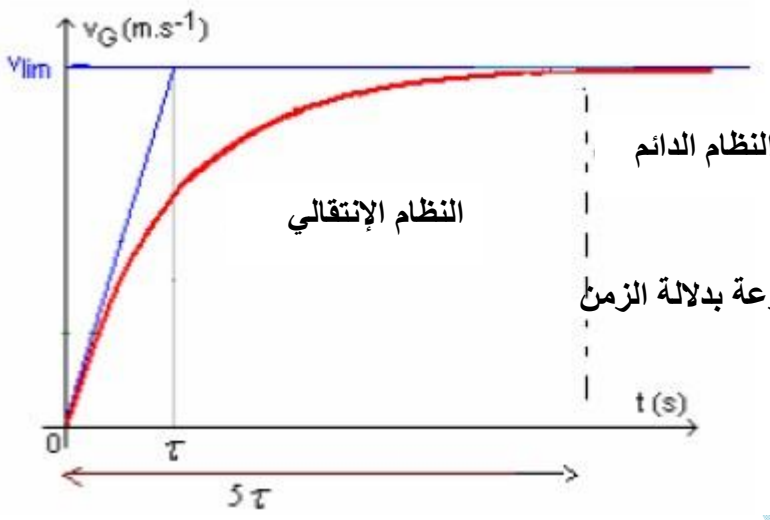
نحصل على $mg - kv - \rho_f V_s g = m\dfrac{dv}{dt}$ و بقسمة طرفي المعادلة على m

نحصل على: $\dfrac{dv}{dt} + \dfrac{k}{m}v = g\left(1 - \rho_f \dfrac{V_s}{m}\right)$، و لدينا $\rho_s = \dfrac{m}{V_s}$ حيث ρ_s الكتلة الحجمية للجسم.

و منه المعادلة التفاضلية للحركة هي : $\dfrac{dv}{dt} + \dfrac{k}{m}v = g\left(1 - \dfrac{\rho_f}{\rho_s}\right)$.

ـ المقادير المميزة للحركة:

تمكن الدراسة التجريبية من رسم المنحنى الممثل لتغيرات السرعة بدلالة الزمن $v = f(t)$.



أـ السرعة الحدية:

عندما يسقط الجسم تزداد سرعته، حيث في نفس الوقت تتزايد قوة الإحتكاك، لأن هذه الأخيرة تتناسب طردا مع السرعة. و نعلم أن أثناء السقوط لا يتغير ثقل الجسم و كذلك دافعة أرخميدس. و عندما يصبح مجموع قوتي الإحتكاك و دافعة أرخميدس مساويا لقوة ثقل الجسم يصبح المجموع الشعاعي للقوى المؤثرة على الجسم معدوما، وبالتالي يصبح التسارع معدوما لأن $\sum \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}_G$ حيث $m \neq 0kg$ ومنه $\frac{dv}{dt} = 0$ لأن $a = \frac{dv}{dt}$

نعوض $\frac{dv}{dt} = 0$ في المعادلة التفاضلية $\frac{dv}{dt} + \frac{k}{m}v = g\left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_s}\right)$ و نجد السرعة التي نسميها بالسرعة الحدية: $v_{\lim} = \frac{mg}{k}\left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_s}\right)$.

بـ الزمن المميز للحركة:

من المنحنى $v_G = f(t)$ نحصل على الزمن المميزللحركة من فاصلة نقطة تقاطع المماس عند المبدأ و الخط المقارب للمنحني.

أما حسابيا نحصل على الزمن المميز τ من: $\tau = 0,63.v_{\lim}$ و هذا في حالة $f = kv$ فقط.

ملاحظة: قيمة الزمن المميز τ المحسوبة من العلاقة $\tau = 0,63.v_{\lim}$ تكون أدق من تلك المستنتجة من المنحني $v_G = f(t)$.

✓ **في حالة** $f = k'v^2$:

$mg - k'v^2 - \rho_f V_s g = m\frac{dv}{dt}$ و بتقسيم طرفي المعادلة التفاضلية على m نكتب:

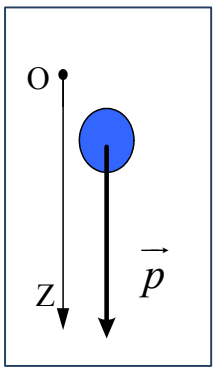
$\frac{dv}{dt} + \frac{k'}{m}v^2 = g\left(1 - \rho_f \frac{V_s}{m}\right)$، و لدينا $\rho_s = \frac{m}{V_s}$ حيث ρ_s الكتلة الحجمية للجسم. و تصبح المعادلة التفاضلية للحركة على الشكل التالي: $\frac{dv}{dt} + \frac{k'}{m}v^2 = g\left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_s}\right)$.

- المقادير المميزة للحركة:

أ- السرعة الحدية:

بتعويض $\frac{dv}{dt} = 0$ في المعادلة التفاضلية للحركة نجد عبارة السرعة الحدية $v_{\lim} = \sqrt{\frac{mg}{k'}\left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_s}\right)}$.

7- السقوط الحر للأجسام:



نقول عن جسم كتلته m و مركز عطالته G أنه يسقط سقوطا حرا إذا كان خاضعا لقوة ثقله $\vec{P}$ فقط أثناء حركته. ويتم ذلك في الفراغ المطلق (أنبوبة نيوتن مثلا) أو في الهواء إذا كان للجسم شكلا إنسيابيا و كثافة عالية بحيث يمكن إهمال تأثير الهواء عليه.

- بتطبيق القانون الثاني لنيوتن في معلم سطحي أرضي والذي نعتبره غاليليا $\sum \vec{F} = m.\vec{a}_G$ و منه $\vec{P} = m.\vec{a}_G \Leftarrow m.\vec{g} = m.\vec{a}_G$ و بالتالي تسارع السقوط الحر هو: $\vec{g} = \vec{a}_G$

إذن المعادلة التفاضلية لهذه الحركة هي : $\frac{dv}{dt} = g$

أ- معادلات السقوط الحر:

- التسارع: $a = g$
- السرعة: بمكاملة التسارع بالنسبة للزمن نجد عبارة السرعة في اللحظة t: $v = gt + b$. من أجل تحديد الثابت b نستعمل الشروط الإبتدائية أي عند اللحظة $t = 0s$ تكون $v = v_0$ (v_0 هي السرعة الإبتدائية ،أي السرعة في اللحظة $t = 0s$) إذن $v = gt + v_0$
- الفاصلة: بمكاملة السرعة بالنسبة للزمن نجد $z = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t + c$، ومن أجل تحديد الثابت c نستعمل الشروط الإبتدائية حيث $t = 0s$ تكون $z = z_0$ (z_0 هي الفاصلة الإبتدائية) فنحصل على: $z = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t + z_0$.

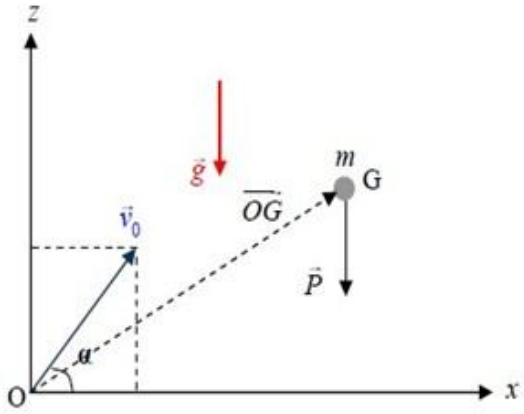
ب- **قوانين خاصة بالسقوط الحر:**

1- المسافة المقطوعة (الإرتفاع): $h = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t$ حيث t هي المدّة الزمنية لقطع المسافة h.

2-العلاقة بين السرعة و المسافة المقطوعة: إذا كانت سرعة الجسم في لحظة ما v_A و في لحظة بعدها v_B، فإن: $v_B^2 - v_A^2 = 2gh$ حيث h هي المسافة AB.

ـ دراسة حركة قذيفة في مجال الجاذبية الأرضية:

ندرس حركة القذيفة في المستوي (oxz) ، أي في مستوي شاقولي. نقذف في اللحظة $t = 0s$ جسما كتلته m و مركز عطالته G من مبدأ الإحداثيات بسرعة $\overrightarrow{v_0}$ يصنع حاملها مع المحور ox الزاوية α.



- بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على القذيفة في المرجع السطحي الأرضي الذي نعتبره غاليليا، و الخاضعة لثقلها فقط (إهمال تأثير الهواء على القذيفة) نجد: $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$

ومنه: $\vec{p} = m\vec{a}_G$ نستنتج أن $\vec{g} = \vec{a}_G$.

- مركبات شعاع التسارع في المعلم هما: $\vec{a}_G(0, -g)$.

- مركبات شعاع السرعة الإبتدائية هما: $\overrightarrow{v_0}(v_0\cos\alpha, v_0\sin\alpha)$.

- مركبات شعاع الموضع هما: $\overrightarrow{OG}(x, z)$.

بما أن التسارع على المحور ox معدوم، إذن الحركة على هذا المحور منتظمة، و سرعتها $v_x = v_0\cos\alpha$ و بالتالي $x = v_0\cos\alpha\, t$.

و بما أن التسارع على المحور oz ثابت $(-g)$، إذن فالحركة متغيرة بإنتظام، و سرعتها الإبتدائية $v_{0z} = v_0\sin\alpha$ و بالتالي : $z = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0\sin\alpha\, t$.

و بإشتقاق عبارة z بالنسبة للزمن نجد : $v_z = -gt + v_0\sin\alpha$.

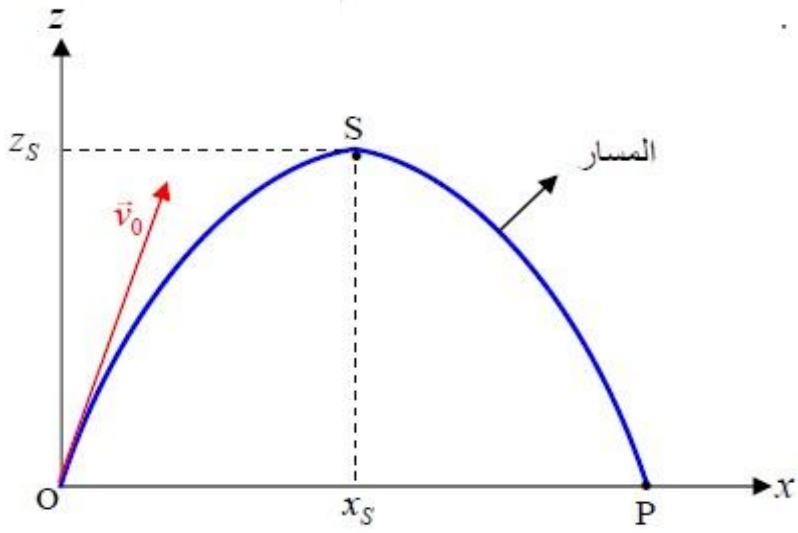
معادلة المسار:

من العلاقة $x = v_0\cos\alpha\, t$ نستخرج العلاقة $t = \frac{x}{v_0\cos\alpha}$ ، ثم نعوض عبارة الزمن في العلاقة

$$z = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0\sin\alpha\, t$$

نجد معادلة المسار: $z = -\frac{1}{2}g\frac{x^2}{v_0^2\cos^2\alpha} + v_0\sin\alpha\frac{x}{v_0\cos\alpha}$

و منه نجد معادلة المسار: $z = -\frac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}x^2 + xtg\alpha$ فهي من الشكل $z = ax^2 + bx$



النقاط الخاصة في المسار:

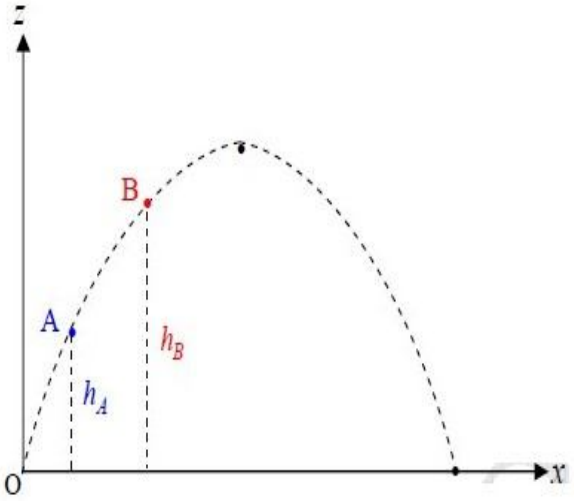
أ- الذروة(s): هي أعلى نقطة تصلها القذيفة، ومن خصائص هذه النقطة أن السرعة على المحور oz تنعدم ، أي $-gt+v_0\sin\alpha=0$

نستخرج عبارة الزمن و نعوضه في العبارة $z=-\frac{1}{2}gt^2+v_0\sin\alpha.t$ فنحصل على ترتيبة الذروة $z_s=\frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g}$.

ب- المدى: هي أكبر مسافة تقطعها القذيفة على المحور ox أي هي المسافة OP. لإيجاد المسافة OP (x_P) نعوض بـ $z=0$ في معادلة المسار فنجد : $x_P=\frac{v_0^2\sin 2\alpha}{g}$.

- تحديد سرعة القذيفة في لحظة ما بتطبيق مبدأ إنحفاظ الطاقة:

نهمل تأثير الهواء على الجسم(الإحتكاك و دافعة أرخميدس) تكون الجملة شبه معزولة أي طاقتها الميكانيكية تكون محفوظة. نعتبر الوضع المرجعي للطاقة الكامنة هو المستوي الأفقي الذي يشمل o.



الطاقة الميكانيكية هي مجموع الطاقتين الكامنة الثقالية و الطاقة الحركية للجسم في مجال الجاذبية الأرضية، $E=E_{PP}+E_c$.

$E_B=E_A$ لأن الطاقة الميكانيكية ثابتة.

أي: $mgh_A+\frac{1}{2}mv_A^2=mgh_B+\frac{1}{2}mv_B^2$

$v_B^2=v_A^2+2g\left(h_A-h_B\right)$.

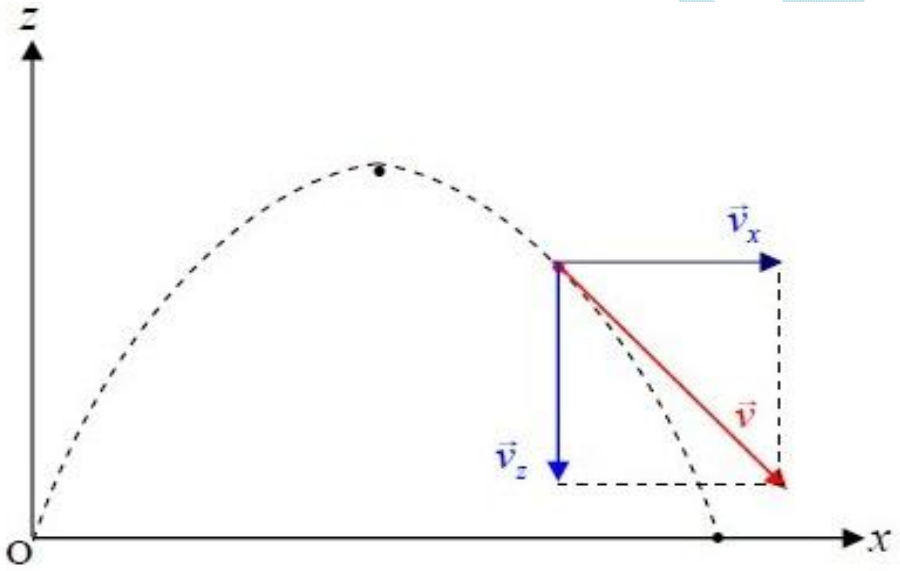
- تمثيل الطاقة الحركية و الطاقة الكامنة الثقالية بدلالة الزمن:

1- الطاقة الكامنة الثقالية للقذيفة في مجال الجاذبية الأرضية:

لدينا $E_{pp} = mgz = mg\left(-\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin\alpha\, t\right)$ بإعتبار أن الوضع المرجعي هو المحور ox: $E_{pp} = -\frac{1}{2}mg^2t^2 + mgv_0 \sin\alpha\, t$، نلاحظ أن العلاقة $E_{pp} = f(t)$ عبارة عن قطع مكافئ يمر من المبدأ و هي من الشكل $E_{PP} = at^2 + bt$ حيث $a\langle 0$.

2- الطاقة الحركية للقذيفة:

لدينا $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ حيث أنه في كل لحظة يكون $v^2 = v_x^2 + v_y^2$ أنظر الشكل



و لدينا $v_x = v_0 \cos\alpha$ و $v_z = -gt + v_0 \sin\alpha$ بالتعويض في عبارة الطاقة الحركية نجد:

$$E_c = \frac{1}{2}m\left[v_0^2 \cos^2\alpha + (-gt + v_0 \sin\alpha)^2\right]$$

إذن: $E_c = \frac{1}{2}mg^2t^2 - mgtv_0 \sin\alpha + \frac{1}{2}mv_0^2$

نلاحظ أن العلاقة $E_c = f(t)$ عبارة عن قطع مكافئ معادلته من الشكل $E_c = a't^2 + b't + c$ حيث $a\langle 0$.

5- حدود ميكانيك نيوتن- الإنفتاح على العالمين الكمي و النسبي:

تمهيد:

رأينا في في قانون الجذب العام لنيوتن، أن قوة جذب الأرض للقمر أو لأي تابع تعطى بالعلاقة التالية $F = G\frac{M_T.m}{r^2}$، و حسب هذا القانون يمكن لأي تابع للأرض أن يتواجد على أي بعد r من مركز الأرض .و ليس هناك تحديد لـ r .

- غير أنه إذا حاولنا تطبيق هذا القانون على حركة الإلكترون حول النواة فإنه ثمّة إشكالية تبرز وهي إمكانية تواجد الإلكترون على أي بعد من النواة، و هذا يؤدي إلى إفتراض أن للذرات المختلفة للعنصر الواحد يمكن أن تتواجد إلكتروناتها على أبعاد مختلفة من النواة ، و بالتالي نحصل على حجوم مختلفة لذرات العنصر الواحد، و هذا أمر ينافي التجربة تماما مما يؤدي بنا إلى إستبعاد تطبيق ميكانيك نيوتن على المستوي المجهري لتفسير بنية المادة.بالإضافة إلى أن الأقمار الصناعية يمكن أن توضع على أي بعد h من سطح الأرض، و التجارب أثبتت أن الإلكترونات لا يمكن أن تدور حول النواة إلاّ في مدارات خاصة. وعلى هذا المستوى نصل إلى محدودية ميكانيك نيوتن الذي أصبح يسمى الميكانيك الكلاسيكي، و بدأ تأسيس ميكانيك جديد يجيب على الكثير من التساؤلات، و سمي هذا الميكانيك بميكانيك الكم.

- و نشير أيضا إلى إشكالية ذات أهمية بالغة،وهي أن نيوتن بنى قوانينه على أساس أن المكان مطلق و أن الزمن مطلق (الكتلة ثابتة،السرعة غير محدودة، الطول مطلق) ، و لكن التجارب بينت أن الزمن و المكان غير مطلقين و هذا حسب وضعية الملاحظ (الكتلة متغيرة،الزمن و الطول متغيران). و قد وضع آلبرت آنشتاين ميكانيكا تجيب على مثل هذه التساؤلات و غيرها، و سماها النسبية الخاصة و اعتبر أن سرعة الضوء ثابتة و لا تتعلق بوضعية الملاحظ. و بهاتين المقاربتين نكون قد أظهرنا محدودية ميكانيك نيوتن من جهة، و الإنفتاح على العالمين الكمي و النسبي من جهة أخرى.

حدود الفيزياء الكلاسيكية:

- حتى سنة 1900 كانت الفيزياء تبنى على ميكانيك نيوتن، و إليكترودينامك ماكسوال، و على أساسها كان يعتقد العلماء أنه يمكن وصف و تفسير كل الظواهر الطبيعية. و حسب هاتين النظريتين يوجد فرق جوهري بين المادة و الضوء.

- عندما يحدث التفاعل بين الضوء و المادة تحدث ظواهر عجزت النظريات السابقة عن تفسيرها، نذكر من بينها إشعاع الجسم الأسود ، المفعول الكهروضوئي، تبعثر كومبتن ، إستقرار الذرات و أطيافها.

- أحدث العلماء ثورة في هذا المجال ، إذ فسر العالم الألماني ماكس بلانك إشعاع الجسم الأسود عام 1900 فافترضه هزاز توافقي لا يأخذ إلاّ كمات متقطعة من الطاقة سماها كمات الطاقة.

- و وضع بوهر سنة 1913 نموذجه الذري واعتبر أن للإلكترونات أماكن محددة لتواجدها على مستوى الذرة فسماها مستويات الطاقة، و أظهرت تجارب فرانك و هرتز سنة 1914 وجود مستويات الطاقة و كان هذا تدعيما باهرا لنموذج بوهر.

- و في سنة 1923 أنشأ العالم الفرنسي لويس دي براي الميكانيك الموجي و وسع فكرة الثنائية "فوتون-جسم" إلى الثنائية " موجة – جسم" و قال "كل موجة يصاحبها جسيم و العكس صحيح".

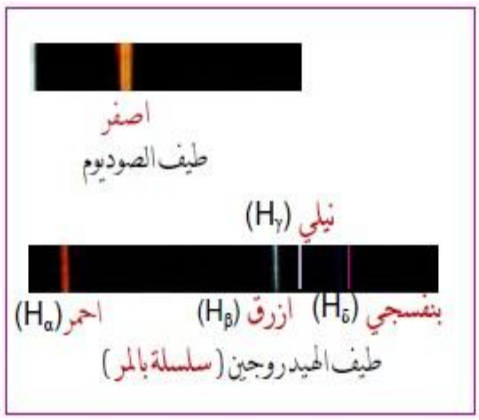
1- الأطياف الذرية:

أ- الضوء الأبيض:

أن الضوء الناتج عن الشمس ندعوه الضوء الأبيض ، فعند تحليله بواسطة مطيافية أو موشور عادي نجد أن طيفه مستمر و يتحلل إلى جميع الألوان من البنفسجي إلى الأحمر، و يكون طيفا مستمرا.

ب- الضوء وحيد اللون:

عند تحليل الضوء الناتج عن أبخرة الصوديوم بإستعمال مطيافية عادية ، فإننا نجد أن طيفه يتألف من لون واحد خطي ، لذا نقول أنه وحيد اللون.



جـ- الضوء متعدد الألوان:

هناك مصابيح مملوءة بغازات مختلفة، كغاز النيون و الهيليوم و الهيدروجين و أبخرة بعض المعادن، و عند تحليل طيفها نجد أنه يتألف من عدّة ألوان خطية لذا نقول أن طيف ذرات هذه المصابيح هو طيف متقطع و متعدد الألوان.

نتيجة: كل ذرة تتميز عن بقية الذرات في الطبيعة بطيفها، فالطيف هو البصمة لكل ذرة.

3- تفسير الأطياف الذرية:

3-1- نموذج نيلز بوهر(1913):

حسب النظرية الكلاسيكية للإشعاع فإن أي جسم مشحون يتحرك يفقد طاقة فإذا طبقنا هذه النظرية على نموذج ريذرفورد الكوكبي (1911) للذرة ، الإلكترون الذي يدور حول النواة سيفقد طاقة باستمرار حتي يسقط على النواة، و هذا أمر لم يلاحظ في الذرة.

- و لتجاوز هذه العقبات وضع العالم الدانمركي " نيلز بوهر" نموذجا عرف باسمه، تم فيه إستبعاد تطبيق النظرية الكلاسيكية للإشعاع على الذرات.

3-2- مسلمات بوهر:

إعتمد بوهر في نموذجه على نموذج رذرفورد لكنه وضع المسلمات التالية:

*- عندما يدور الإلكترون في مداره لا يفقد طاقة.

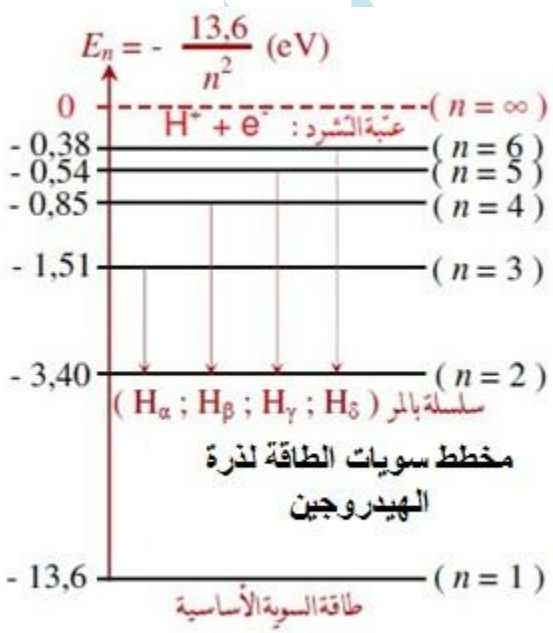
*- كل مدار يتميز بمستو طاقي معين ذو طاقة $\left(E_n\right)$ حيث n رقم المدار.

*- عندما يكتسب الإلكترون طاقة خارجية كافية فإنه ينتقل من مستواه الطاقي إلى مستو طاقي أعلى، ثم يعود بعد حالة الإثارة إلى مستواه الأساسي بعد فقد الطاقة التي اكتسبها على شكل إشعاع.

3-3- نموذج بوهر لذرة الهيدروجين:

لقد استطاع بوهر أن يفسر طيف ذرة الهيدروجين بشكل مدهش. و استنادا لبور فإن طاقة المستوي تحدد بالطاقة الميكانيكية للإلكترون الموجود به وهي مجموع طاقته الكامنة و الحركية.

- بالنسبة لذرة الهيدروجين التي لها إلكترون وحيد تعطى طاقة المستوي بالعلاقة التالية: $E_n = -\frac{13,6}{n^2}(ev)$ حيث $1ev = 1,6\times10^{-19}\ joul$.



- حتى ينتقل الإلكترون من مستوي طاقي (n_1) إلى مستوي طاقي (n_2) يجب أن يكتسب طاقة تساوي على الأقل فرق الطاقة بين المستويين و تعطى بالعلاقة التالية : $E_{n2} - E_{n1} = h\upsilon$.

حيث h ثابت بلاك $h = 6,62 \times 10^{-34}\ j.s^{-1}$ و υ تواتر الإشعاع الممتص من قبل الذرة.

إذن $E = h\upsilon = -\frac{13,6}{n_2^2} - \left(-\frac{13,6}{n_1^2}\right)$ و منه $E = h\upsilon = 13,6\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$.

3-4- طاقة تأين ذرة الهيدروجين:

لكي تؤين ذرة الهيدروجين يجب أن نعطي لها طاقة تكفي لنقل الإلكترون من مداره الأساسي و هو $(n = n_1 = 1)$ إلى خارج الذرة أي $(n = n_2 \to \infty)$ و مقدار الطاقة هو:

$$E_i = 13,6\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2}\right) = 13,6(ev)$$.

3-5- طيف الإصدار:

عندما تكتسب الذرة طاقة خارجية تقفز الإلكترونات إلى مدارات أبعد ، و عند عودتها تصدر إشعاعات تواتراتها محددة بالفرق بين طاقتي المدارين اللذين إنتقل بينهما الإلكترون،هذه الإشعاعات تشكل طيف من خطوط ألوانها توافق التواترات υ التي تحقق $E = h\upsilon$، حيث E هو الفرق بين طاقتي المدارين.

- طيف إصدار ذرة الهيدروجين يتميز بالخطوط التي أطوال أمواجها تحدد كالتالي:

$$\frac{1}{\lambda} = R_n\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$ حيث $n = 1,2,3,4,.....$.