# الفصل 3: تحريك النقطة المادية.

## مقدمة

إذا كان علم الحركيات يختص بوصف الحركات ، فإن علم التحريك يختص بدراسة العلاقة بين حركة الجسم و مسببات تلك الحركة.

يختص علم التحريك في التنبؤ بحركة الجسم في محيط معين.

و بمفهوم أعمق، فإن دراسة التحريك هي تحليل العلاقة بين القوة و تغيرات حركة الجسم.

- **مفاهيم أساسية:**

- **نص مبدأ العطالة:**

**نص المبدأ :** إدا كان جسم مادي غير خاضع لأية قوة فانه :

- إما في حركة مستقيمة منتظمة .
- إما في سكون إدا كان منذ البداية في سكون .

بالنسبة لجسيمة فان نص مبدأ العطالة هو : الجسيمة الحرة و المعزولة تتحرك وفق مسار مستقيم بسرعة ثابتة .

- **المعلم العطالي:**

- المعلم العطالي هو المعلم الذي يتحقق فيه مبدأ العطالة.
- تدعى الجمل التي يكون فيها مبدأ العطالة محققا بالجمل الغاليلية أو العطالية وفيه تنتقل
- هناك عدد لا نهائي من المعالم العطالية في حركة مستقيمة منتظمة بالنسبة لبعضها البعض وهي كلها متكافئة ولا وجود لمعلم مطلق مفضل .
- المعالم العطالية هي المعالم التي لا تتسارع و لا تدور.

- **أمثلة عن بعض المعالم :**

في الحقيقة في الفراغ المطلق، لا توجد هذه الجمل (المعالم الغاليلية) فهناك معالم مقربة فقط أهمها:

- **معلم كوبرنيك:**

هو معلم مرتبط بالمجموعة الشمسية، مركزه هو مركز كتل المجموعة، و محاوره موجهة نحو نجوم بعيدة تعتبر من وجهة نظرنا ثابتة.

- **معلم كيبلر:**

مركز المعلم هو مركز عطالة الشمس و محاوره تعطى بثلاث نجوم بعيدة و تبدو ثابتة.

- **المعلم الأرضي:**

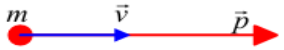
محاوره مرتبطة بالأرض و مركزه نقطة من نقاط الأرض. تدور الكواكب ، و منها الأرض حـــول الشمس، فإذا أردنا دراسة حركة كوكب من على سطح الأرض فإننا نجد مسارا معقدًا و ليس في مقدورنا تفسيره.

# الفصل 3: تحريك النقطة المادية.

## كمية الحركة: (quantité de mouvement)

❖ **تعريف**: كمية الحركة لجسيمة هي جداء كتلتها بشعاع سرعتها.

$$\vec{p} = m.\vec{v}$$




الشكل : كمية الحركة

**ثابتة".**

❖ **إنحفاظ كمية الحركة:** (conservation de la quantité de mouvement)

إذ كان هناك تغير في السرعة أو في كمية الحركة فهذا يدل على أن الجسيمة ليست حرة.

نفترض وجود جسيمتين حرتين غير خاضعتين إلا للتأثرات المتبادلة بينهما وبالتالي فهما معزولتان عن باقي الكون:

في اللحظة $t$ : $\vec{p} = m_1.\vec{v}_1 + m_2.\vec{v}_2$

و في اللحظة $t'$ : $\vec{p}' = m_1.\vec{v}_1' + m_2.\vec{v}_2'$

أثبتت التجارب أن $\vec{p}=\vec{p}'$ أي أن كمية الحركة الكلية ، لجملة مكونة من جسيمتين خاضعتين لتأثيرهما المتبادل فقط ، تبقى ثابتة .

**مثلا:** في ذرة الهيدروجين: كمية حركة الجسيمتين ( البروتون + الإلكترون) تبقى ثابتة طيلة الزمن كما هو الحال بالنسبة للأرض و القمر أي $\Delta\vec{p} = \vec{0}$ .

إذا عممنا هذا فإن مبدأ انحفاظ كمية الحركة ينص على أن:

" **كمية الحركة الكلية لجملة معزولة من الجسيمات تكون ثابتة** "

**مثلا:** كمية حركة جزيء الماء المتكون من ذرة أكسيجين و ذرتي هيدروجين ثابتة ، و هو الشيء نفسه بالنسبة للمجموعة الشمسية.

يمكن التعبير رياضيا عن مبدإ انحفاظ كمية الحركة لجملة مادية بالصيغة التالية:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots + \vec{p}_n = C^{te}$$

**ثابـــت :** $C^{te}$

في حالة جسيمتين: $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = C^{te}$

بين لحظتين $t$ و $t'$ :

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1' + \vec{p}_2' \Rightarrow \vec{p}_1' - \vec{p}_1 = \vec{p}_2 - \vec{p}_2' \Rightarrow \boxed{\Delta\vec{p}_1 = -\Delta\vec{p}_2}$$

# الفصل 3: تحريك النقطة المادية.

**" التغير في كمية الحركة لجسيمة خلال مجال زمني ما يساوي و يعاكس التغير في كمية الحركة للجسيمة الأخرى خلال نفس الزمن".**

و بعبارة أخرى فإن ما تكتسبه الجسيمة الأولى على شكل كمية في الحركة تفتقده الجسيمة الثانية على نفس الشكل و العكس بالعكس غير أن كمية الحركة للجملة المعزولة تبقى ثابتة.

- **القانون الثاني لنيوتن : "المبدأ الأساسي للتحريك"**–Deuxième"loi"de"Newton"

في معلم عطالي *(R)* ، يتناسب تغير الدفع الخطي لجسيم مع محصلة القوى التي يخضع لها . و يكون لهذا التغير نفس الحامل و نفس اتجاه محصلة القوى المطبقة $\sum\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$.

**الكتلة متغيرة :** إذا كانت كتلة الجسم متغيرة يكتب القانون كما يلي :

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \Rightarrow \boxed{\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v}.\frac{dm}{dt}}$$

**الكتلة ثابتة:** تبعا لهذا ، فإذا كانت الكتلة $m$ ثابتة ( و هذا ما هو شائع كثيرا في الميكانيك النيوتني) فإن:

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \Rightarrow \vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} \Rightarrow \boxed{\vec{F} = m.\vec{a}}$$

- **حالة خاصة:** إذا كانت المحصلة $\vec{F}$ ثابتة فإن التسارع $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ هو كذلك ثابت و الحركة تكون مستقيمة متغيرة بانتظام.

و هذا هو الذي يحدث بالضبط للأجسام التي تسقط على الأرض تحت تأثير قوة الجاذبية أو ما نسميه **الثقل:** $\vec{P} = m.\vec{g}$

صلاحية القانون الثاني للحركة:

- القانون الثاني لنيوتن لا يصلح إلا في معلم عطالي.
- عند تطبيق هذا القانون على الأجسام المادية يجب اعتبار هذه الأجسام نقاطًا مادية لا أبعاد لها.
- يصلح هذا القانون ويعطي نتائج جيدة فقط على الأجسام التي لا تتعدى سرعتها عشر سرعة الضوء

**مثال** : يخضع جسم كتلته $10kg$ لقوة $F=(120t+40)N$ و ينتقل على خط مستقيم. في اللحظة $t=0$ ، يوجد الجسم في $x_0=5m$ ، بسرعة $v_0=6ms^{-1}$. أوجد سرعته و موضعه بدلالة الزمن.

**الحل:**

باستعمال المعادلة نجد: $F=120t+40=10a$ حيث $a=(12t+4)ms^{-2}$

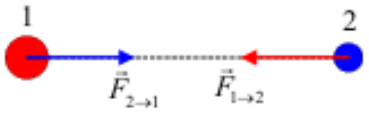
للحصول على العبارة اللحظية للسرعة نكامل عبارة التسارع. وبما أن $\frac{dv}{dt}=12t+4$

فإن: $\int_0^v dv=\int_0^t (12t+4)dt \Rightarrow \boxed{v=6t^2+4t+6}(ms^{-1})$

نكامل من جديد، و هذه المرة عبارة السرعة اللحظية ، فنحصل على موضع الجسم في كل لحظة: $\int_0^x dx=\int_0^t vdt=\int_0^t (6t^2+4t+6)dt \Rightarrow \boxed{x=2t^3+2t^2+6t+5}(m)$

❖ **القانون الثالث لنيوتن**: ( مبدأ الفعل و رد الفعل) (troisième loi de Newton)

**نص القانون**: " حينما تكون جسيمتان في حالة تأثير متبادل ، تكون القوة المؤثرة على إحداهما مساوية و معاكسة للقوة المؤثرة على الجسيمة الأخرى".



الشكل : الفعل و رد الفعل

هذا ما هو مبين على الشكل و يمكّننا من كتابة:

$$\boxed{\vec{F}_{1\to2}=-\vec{F}_{2\to1}}$$

**مفهوم القوة و قانون القوة:** (notion de force et loi de force)

تعريف القوة بالمعادلة $\vec{F}=m\vec{a}$ يسمح لنا بالتعبير عن القوة المناسبة للتأثير المدروس بدلالة العوامل الفيزيائية كالمسافات، الكتلة ، الشحنة الكهربائية للأجسام..... حينها نجد "**قانون القوة** ".

**قانون القوة**:( أو قانون التأثيرات المتبادلة): يوضح هذا القانون عبارة القوة $\vec{F}$ (المحصلة) المطبقة على نقطة مادية في حالة معينة.

**فمثلا**: العبارة $\vec{P}=m.\vec{g}$ هي قانون القوة الذي يعرّف ثقل جسم بجوار الأرض و الذي يسمح لنا بالتنبؤ بحركة أي جسم في حقل الجاذبية الأرضية.

# الفصل 3: تحريك النقطة المادية.

بامتلاك العبارة $\vec{F} = m.\vec{a}$ يمكننا معرفة سلوك الجمل الفيزيائية بل أكثر من هذا، نتمكن حتى من التنبؤ بتطورها.

يمكن تلخيص هذه الحالة بالمعادلة الرمزية:

بعد أن نعرف قوانين القوة المناسبة لمختلف التأثيرات المتبادلة يمكننا بعدها تنبؤ أو توقع حركة جسم مادي خاضع لقوى في شروط ابتدائية محددة.

في ما يأتي سنضع و نطلع على التوالي على القوانين الخاصة بـــ:

- التأثيرات المتبادلة للجاذبية بجوار الأرض ،
- التجاذبات المتبادلة في حالة الجذب العام ،
- الإحتكاكات ،
- التأثيرات المتبادلة المرنة.

## حركة قذيفة في حقل الجاذبية الأرضية:

(mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur terrestre)

كل القذائف التي تسقط سقوطا حرا بجوار الأرض لها نفس التسارع الثابت $\vec{g}$ و الموجه نحو الأسفل. يمكن كتابة $\vec{g}$ على الشكل: $\vec{g} = -g.\vec{j} = -9.8\vec{j}(m/s^2)$.

يمكن التنبؤ بحركة قذيفة أطلقت بسرعة ابتدائية $\vec{V}_0$ تصنع زاوية $\alpha$ مع الأفق.

تعلمنا في الطور الثانوي أن الدراسة تشتمل أساسا على تعيين:

- مركبتي السرعة:

$$V_x(t) = V_{0x} = V_0.\cos\alpha$$
$$V_y(t) = -gt + V_{0y} = -gt + V_0\sin\alpha$$

- المعادلتين الزمنيتين :

$$x(t) = V_0.\cos\alpha.t \quad (t=0;\ x=0)$$
$$y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + V_0.\sin\alpha.t + y_0$$

- معادلة المسار: نحصل عليها بحذف الزمن ما بين المعادلتين الزمنيتين السابقتين:

$$y = -\frac{1}{2}\frac{g}{V_0^2.\cos^2\alpha}.x^2 + (tg\alpha).x + y_0$$

**المراجع:**

# الفصل 3: تحريك النقطة المادية.

1-ميكانيك النقطة المادية , الأستاذ فيزازي احمد –ديوان المطبوعات الجامعية (O-P- U) جامعة بشار

- ذروة المسار : $y_{max} = h = -\frac{V_0^2.\sin^2\alpha}{2g}$ $(g<0)$
- المدى الأفقي: $x_{max} = -\frac{V_0^2.\sin 2\alpha}{g}$ $(g<0)$

لاسترجاع الذكريات نتناول المثال التالي و على الطالب أن يتأكد من النتائج المعطاة.

**مثال2.5:**

تطلق قذيفة من مستوى الأرض شاقوليا نحو الأعلى بسرعة $10m.s^{-1}$ .

ا/ أي ارتفاع تبلغه القذيفة ؟

ب/ ما هي سرعة القذيفة بعد $1.5s$ منذ قذفها ؟

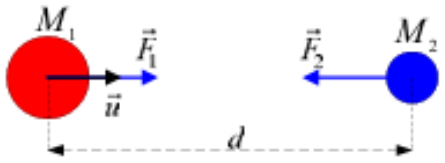
ج/ ما هي المدة الفاصلة بين لحظة القذف و لحظة ارتطام القذيفة مع الأرض ؟

**الأجوبة:** ا/ $5.1m$ ب/ $4.7m.s^{-1}$ ج/ $2.04s$

## 6/ قانون الجذب العام: (loi de la gravitation universelle)

قانون الجذب العام لنيوتن الذي وضعه سنة 1685 هو أساس النظرية التي تفسر كثيرا من الظواهر بدءا بحركة الكواكب و وصولا إلى السقوط الحر للأجسام مرورا بالمد و الجزر للبحر.

يفسر هذا القانون قوة التجاذب بين جسمين ذي كتلتين $M_1$ و $M_2$ تفصل بينهما مسافة $d$ حيث تنشأ بينهما قوتي تجاذب $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ .




الشكل:3.5

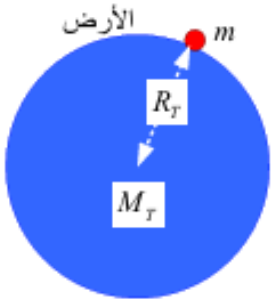
$$\vec{F}_1 = G\frac{M_1.M_2}{d^2}\vec{u} \Rightarrow \boxed{F_1 = G\frac{M_1.M_2}{d^2}} \qquad (6.5)$$

## حقل الجاذبية: (champ gravitationnel)

قوة الجاذبية الأرضية هي الثقل. في ما فات كنا نحسب الثقل بواسطة تسارع الجاذبية $\vec{g}$ .

بفضل قانون الجذب العام لنيوتن و قانون القوة للثقل يمكن تحديد عبارة $\vec{g}$ :

- **على سطح الأرض:** نحصل على قيمة شعاع حقل الجاذبية الأرضية كما يلي:




الشكل 4.5

$$\vec{F} = \vec{P} \Rightarrow G\frac{M_T.m}{R_T^2} = mg_0 \Rightarrow \boxed{g_0 = G\frac{M_T}{R_T^2}} \qquad (7.5)$$

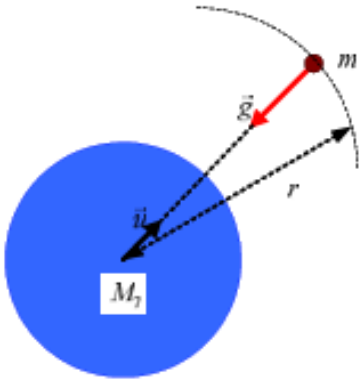
ثابت الجذب العام: $G = 6.67\times10^{-11}\,N.m^2.kg^{-2}$

كتلة الأرض: $M_T = 5.98\times10^{24}\,kg$

نصف قطر الأرض: $R_T = 6.37\times10^{6}\,m$

التطبيق العددي يعطينا القيمة: $\boxed{g_0 = 9.8N.kg^{-1}}$

▪ **<u>على ارتفاع $Z$ من سطح الأرض</u>**: شعاع حقل الجاذبية الأرضية على ارتفاع $Z$ من سطح الأرض أي على البعد $r = R_T + Z$ من مركز الأرض نحصل عليه بالتحليل التالي:




الشكل 5.5

على سطح الأرض: $P_0 = mg_0 = G\frac{m.M_T}{R_T^2}$

على البعد $r$ عن سطح الأرض: $P = mg = G\frac{m.M_T}{r^2}$

و منه فإن:

$$\boxed{g = g_0\frac{R_T^2}{r^2}} \qquad (8.5)$$

أما العبارة الشعاعية فهي:

$$\vec{g} = -g_0\frac{R_T^2}{r^2}\vec{u} \qquad (9.5)$$

**<u>مثال 3.5</u>:**

للشمس كتلة $1.99\times10^{30}\,kg$ ، للأرض كتلة $5.98\times10^{24}\,kg$ و للقمر كتلة $7.36\times10^{22}\,kg$.

نصف القطر المتوسط لمدار الأرض حول الشمس هو $1.496\times10^{11}\,m$ كما أن نصف القطر المتوسط لمدار القمر حول الأرض هو $3.84\times10^{8}\,m$.

ا/ أحسب الشدة المتوسطة لحقل الجاذبية الشمسية على طول مدار الأرض حول الشمس.

ب/ أحسب الشدة المتوسطة لحقل جاذبية القمر على طول مدار الأرض حول الشمس.

**الأجوبة:** ا/ $5.9\times10^{-3}N.kg^{-1}$ ب/ $3.33\times10^{-5}N.kg^{-1}$

**تطبيق: الأقمار الإصطناعية:** (satellites artificiels)

في عصرنا الحديث تطورت تكنولوجيا الاتصالات اللاسلكية، و من أهم الأسباب تمكّن الإنسان من غزو الفضاء و وضع أقمار اصطناعية ساكنة بالنسبة للأرض، أي أنها تدور بنفس السرعة التي تدور بها الأرض. كل هذا لضمان الاتصالات عل مدار الساعة بدون انقطاع بسبب دوران الأرض.

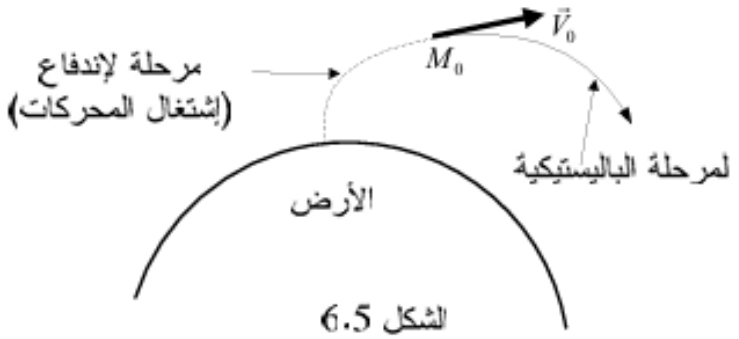
أدت الحسابات إلى أن الارتفاع المناسب للشرط الموضوع أعلاه هو $z=42.1\times10^{6}m$ و أن سرعة الدوران هي: $v=3.08\times10^{3}m.s^{-1}$.

( على الطالب أن يتحقق من هاتين القيمتين)

و بالفعل فإن على هذا ألارتفاع عن سطح الأرض و بهذه السرعة تدور الأقمار الاصطناعية الجيومركزية كما توقعت الدراسات .

و كإضافة و من باب الإطلاع يمكن إضافة بعض المعلومات الخاصة بإطلاق الأقمار الاصطناعية لما لها من مكانة جد هامة في عصرنا الحديث.

القوة الوحيدة المؤثرة على القمر الاصطناعي هي الثقل أو قوة الجاذبية. المرحلة المدروسة هنا هي المرحلة الباليستيكية أي المرحلة التي يبلغ فيها القمر الاصطناعي النقطة $M_0$ . حسب الشكل 6.5 في هذه النقطة تمثل $\vec{V}_0$ السرعة الابتدائية الجيومركزية للقمر المدروس و $r_0$ المسافة بين مركز الأرض و $M_0$ بحيث يتراوح ارتفاعها عن سطح الأرض ما بين 100 و 200 كيلومتر كما أن المدار لا يجب أن يبعد كثيرا عن الأرض بحيث لا يتجاوز بضع عشرات مرات نصف قطر الأرض و ذلك من أجل إهمال تأثيرات القمر الطبيعي و الشمس.




الشكل 6.5

نتجاوز البراهين و نعطي التعارف التالية:

❖ **السرعة الكونية الأولى**: (première vitesse cosmique)

السرعة الكونية الأولى هي السرعة الدائرية الجيومركزية لقمر اصطناعي مداره منخفض ( ما بين 100 و 200 كيلومتر عن سطح الأرض) تحسب بالعبارة :

$$\boxed{V_1 = \sqrt{\frac{M_T G}{r_0}}} \qquad (10.5)$$

إذا قبلنا $r_0 \approx R_T = 6400km$ فإن الحسابات تعطينا:

$$g_0 = \frac{M_T G}{R_T^{\,2}} \approx 10 m.s^{-2} \Rightarrow \boxed{V_1 = \sqrt{Rg_0}} = \sqrt{64.10^6} \Rightarrow \boxed{V_1 = 8000 ms^{-1}}$$

❖ **السرعة الكونية الثانية**: (deuxième vitesse cosmique)

السرعة الكونية الثانية هي السرعة الجيومركزية التي يجب أن يبلغها القمر الاصطناعي حتى يتحرر من جاذبية الأرض. تحسب بالعبارة:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2M_T G}{r_0}} \Rightarrow \boxed{V_2 = V_1\sqrt{2}} \qquad (11.5)$$

إذا اعتبرنا النقطة $M_0$ بجوار الأرض فإن $\boxed{V_2 \approx 11000 ms^{-1}}$

❖ **السرعة الكونية الثالثة** : (troisième vitesse cosmique)

السرعة الكونية الثالثة هي السرعة الجيومركزية التي يجب أن يبلغها القمر الاصطناعي حتى يتحرر من المجموعة الشمسية.

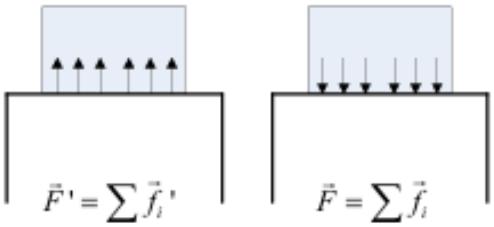
أدت الحسابات إلى القيمة :

$$\boxed{V_3 = 16800 ms^{-1}} \qquad (12.5)$$

## 7/ قوى التلامس أو قوى الترابط: (forces de liaison ou forces de contact)

نفهم هنا أننا نتكلم عن القوى المؤثرة بالتبادل بين جسمين متلامسين.

يمثل الشكل 7.5 جسما صلبا موضوعا على طاولة. الجسم في توازن على الطاولة أي أن التسارع معدوم $\vec{a} = \vec{0}$ .




الشكل 7.5: قوى التلامس

مقابل القوة $\vec{F}$ ، و التي هي محصلة كل تجاذبات الجزيئات المكونة للجسم ، و المطبقة على الطاولة ، تطبق الطاولة القوة $\vec{F}'$ ، و هي محصلة كل تجاذبات الجزيئات المكونة لسطح الطاولة الملامس للجسم. تسمى القوتان $\vec{F}$ و $\vec{F}'$ بقوى التلامس كما يمكن تسميتها قوى الارتباط نظرا لوصل الجسمين ببعضهما.

## 8/ قوى الإحتكاك: (forces de frottement)

كل ما كان تلامس بين سطحين خشنين لجسمين صلبين إلا و كانت هناك مقاومة تعاكس الحركة النسبية للجسمين. هناك أنواع من الاحتكاكات:

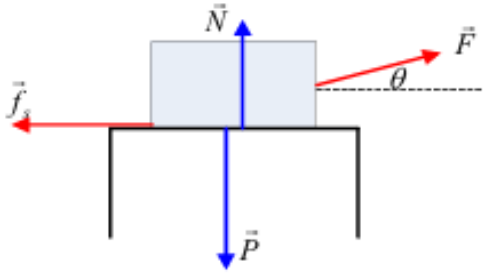
- الاحتكاك بين الأجسام الصلبة ومنها السكونية والحركية ،
- الإحتكاكات في الموائع.

❖ **قوة الإحتكاك السكوني:** (force de frottement statique)

قوة الاحتكاك السكوني هي القوة التي تبقي جسما في حالة سكون و لو بوجود قوى خارجية.

- حالة جسم موضوع على مستوي أفقي:

يجب تطبيق قوة دنيا (صغرى) $\vec{F}$ حتى يتحرك الجسم الموضوع على الطاولة ( الشكل 8.5).




الشكل 8.5 : قوة الاحتكاك

الجسم في سكون: $\sum_i \vec{F}_i = \vec{0}$

بالإسقاط على المحورين الأفقي و الشاقولي:

$$\left.\begin{aligned} N + F.\sin\theta - P = 0 \\ F.\cos\theta - f_s = 0 \end{aligned}\right| \Rightarrow \boxed{f_s = F.\cos\theta}$$

لو كانت الزاوية $\theta$ معدومة لكانت $f_s = F$ و $P = N$. لاحظ أن $P \neq N = P - F.\sin\theta$ يبقى الجسم ساكنا حتى تتمكن القوة المطبقة $\vec{F}$ من اقتلاعه عن السطح. مباشرة قبل الاقتلاع تبلغ قوة الإحتكاك قيمتها الأعظمية المحددة بالقانون: $f_s = h_s.N$ حيث $h_s$ معامل الإحتكاك السكوني و $N$ القوة الناظمية.

و عليه يصبح لدينا:

$$\boxed{f_s \leq f_{s,\max} = h_s.N} \qquad (13.5)$$

في مثالنا هذا :

$$N = P - F\sin\theta \Rightarrow \boxed{f_{s,\max} = h_s.N = h_s(P - F\sin\theta)}$$

لا بد أن تكون $N > 0$ وبالتالي فإن $P > F.\sin\theta$ و إلا فإن الجسم يرتفع عن السطح.

**مثال 4.5:**

وضع جسم ثقله $80N$ على سطح أفقي خشن. نطبق عليه قوة شدتها $20N$ تصنع الزاوية $30°$ مع الأفق. معامل الإحتكاك السكوني $0.30$.

ا/ ما شدة قوة الإحتكاك السكوني ؟

ب/ ما شدة القوة الناظمية ؟

ج/ ما شدة قوة الإحتكاك السكوني الأعظمية ؟

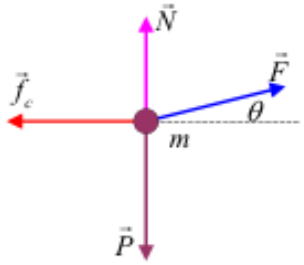
د/ كم يجب أن تبلغ شدة القوة المطبقة حتى يقلع الجسم ؟

**الأجوبة:** ا/ $f = 17.3N$ ب/ $N = 70N$ ج/ $f_{s,\max} = 21N$ د/ $F = 24.1N$

❖ **قوة الإحتكاك الحركي:** (force de frottement cinétique)

قوة الاحتكاك الحركي هي القوة التي تقاوم الحركة عندما ينتقل جسم على سطح خشن و تحسب شدتها بالقانون:

$$\boxed{f_c = h_c.N} \qquad (14.5)$$




الشكل 9.5

في حالة قوى الاحتكاك السكوني الجسم في سكون ، بينما هنا في حالة الاحتكاكات الحركية فإن الجسم في حركة.

انطلاقا من المثال السابق، و باعتبار الآن الجسم في حركة ( شكل 9.5 ) ، يمكن تحديد عبارة قوة الاحتكاك لحركي بعد أن نضع عبارة القوة الناظمية:

$$\left.\begin{array}{l} N + F.\sin\theta - P = 0 \\ N = P - F.\sin\theta \\ f_c = h_c.N \end{array}\right| \Rightarrow \boxed{f_c = h_c.(P - F.\sin\theta)}$$

بتطبيق العلاقة الأساسية للتحريك على المثال السابق باعتبار $m$ كتلة الجسم، يمكننا كتابة:

$$F.\cos\theta - f_c = ma \Rightarrow \boxed{f_c = F.\cos\theta - ma}$$

حيث $h_c$ يرمز إلى معامل الاحتكاك الحركي( أو التحريكي) و $N$ تمثل القوة الناظمية.
هنا لا حديث عن قوة احتكاك أعظمية. نترك الطالب يبحث عن عبارة التسارع.

**مثال 5.5 :**

ينزلق جسم كتلته $10,2kg$ على مستوى أفقي خشن تحت تأثير قوة شدتها $20N$. حامل القوة يصنع مع الأفق زاوية مقدارها $45°$ إلى الأعلى. معامل الاحتكاك الحركي $0,15$. نأخذ $g=9,8ms^{-2}$. أحسب شدة:
ا/ القوة الناظمية، ب/ قوة الإحتكاك الحركي، ج/ محصلة القوى ، د/ التسارع المكتسب.
**الأجوبة:** ا/ $N=85.82N$ ب/ $f_c=12.9N$ ج/ $F_R=1.24N$ د/ $a=0.12ms^{-2}$

❖ **الإحتكاكات في الموائع:**

حين ينتقل جسم صلب في مائع ( غاز أو سائل) بسرعة ضعيفة نسبيا تنشأ قوة احتكاك تحسب بالقانون:

$$\boxed{\vec{f}_f=-K\eta.\vec{v}} \qquad (15.5)$$

$K$ : معامل يتعلق بشكل الجسم المتحرك داخل المائع.

فمثلا: بالنسبة لكرة نجد $K=6\pi.R$ و منه فإن

$$\boxed{\vec{f}_f=-6\pi.R\eta.\vec{v}} \qquad (16.5)$$ المعروف بقانون سطوكس $(Loi\ de\ Stokes)$

$\eta$ : معامل يتعلق بالاحتكاكات الداخلية للمائع ( أي قوة الاحتكاك بين مختلف طبقات المائع والتي تتحرك بسرعات مختلفة ). الاحتكاك الداخلي في الموائع يسمى اللزوجة لذا يسمى $\eta$ بمعامل اللزوجة. في السوائل ينخفض معامل اللزوجة بارتفاع درجة الحرارة بينما يزداد بارتفاع درجة الحرارة في الغازات.

**9/ القوى المرنة:** (forces élastiques)

القوى المرنة تحدث حركات دورية.

**مثلا:** في دراستنا للحركة المستقيمة الجيبية رأينا أن التسارع يحسب بالعبارة:

$$\vec{a}=-\omega^2.\overrightarrow{OM}$$

بتطبيق العلاقة الأساسية للتحريك نستطيع كتابة:

$$\sum \vec{F}_i = \vec{F} \Rightarrow \vec{F} = m.\vec{a} \;\; ; \;\; \vec{F} = -m\omega^2.\overrightarrow{OM} \Rightarrow \boxed{\vec{F} = -k.\overrightarrow{OM}} \qquad (17.5)$$

و هذا يعني أن في الحركة المستقيمة الجيبية تكون محصلة كل القوى المطبقة على النقطة المادية تتناسب طردا مع شعاع الموضع و تعاكسه في الاتجاه و هي موجهة دائما نحو المركز( ولهذا السبب تسمى بالقوة المركزية) و لا تنعدم إلا في المبدإ.
بالإسقاط على المحور $OX$ نتوصل إلى قانون القوة في هذه الحالة:

$$\boxed{F = -kx} \qquad (18.5)$$

**المراجع:**

1-ميكانيك النقطة المادية , الأستاذ فيزازي احمد –ديوان المطبوعات الجامعية (O-P- U) جامعة بشار

# الفصل 3: تحريك النقطة المادية.