الفصل الثالث b
القوة والحركة
Force and motion

3-1 المقدمة introduction

تهدف هذه الوحدة إلى تقديم المفهوم المناسب لقوانين الحركة على خط مستقيم بتسارع ثابت ، كما تهدف إلى بيان علاقة القوة بالحركة ، وذلك من خلال تقديم المفاهيم المناسبة لجميع الكميات الفيزيائية المساهمة فيها كالإزاحة والسرعة والتسارع وربط ذلك بقوانين نيوتن في الحركة

إن علم الميكانيك mechanics يعتمد أساسا على مفهومى القوة force والحركة motion وعلاقتهما ببعضهما البعض ، وبيان مفهوم القوة يعتمد على توضيح قوانين نيوتن الثلاثة وإدراك معانيها وربطها بقوانين الحركة .

ولا بد من التأكيد في هذا المقام أن قوانين نيوتن الثلاثة تبقى صحيحة وتُطبق على نطاق واسع جدا باستثناء حالتين ، نوردها هنا على سبيل التذكير فقط ، وهما :

١ - الحالة الأولى : إذا كانت الأجسام متناهية بية الصغر microscopic ، وهي تلك الأجسام التي يتعذر رؤيتها بالعين المجردة كالذرات مثلا atoms ، أو الجزيئات molecules، إذ أن ميكانيك هذه الأجسام يتم دراسته باستخدام ما يعــركـا بيــ ميكانيك الكم quantum mechanics

2 ـالحالة الثانية: إذا كانت الاجسام تسير بسرعة عالية جدا بحيث تكون سرعتها قريبة من سرعة الضوء Speed of light عندئذ تعالج حركة هذه الأجسام وفقا لقوانين النسبية relativity

وبعد أن يكمل الطالب دراسة هذه الوحدة، ويستوعب المفاهيم والأفكار والمبادئ التي وردت خلالها، ويقوم بنفسه بحل أسئلة الامتحان الذاتي الموجودة à نهايتها، ويقارن حلوله مع الحلول النموذجية المرفقة في الملحق (د)، بعد ذلك كله نتوقع أن يكون الطالب قادرا على:

١ - أن يصف الفروق بين كل من الإزاحة والمسافة، والسرعة المتوسطة والسرعة الآنية، والتسارع المتوسط والتسارع الآني.

٢ - أن يفسر العلاقات الرياضية التي تصف حركة الجسم على خط مستقيم بتسارع ثابت، بدلالة الكميات الفيزيائية المعبرة عنها

٣ - أن يتذكر دائماً المفهوم الصحيح للقوة على أنها كمية اتجاهية تنطبق عليها الصفات الأربع للمتجه.

٤ - أن يميز الطالب بين قوانين نيوتن الثلاثة ولاسيما عند استخدامها عمليا، وذلك من خلال الحالة الحركية للجسم الخاضع لتأثير

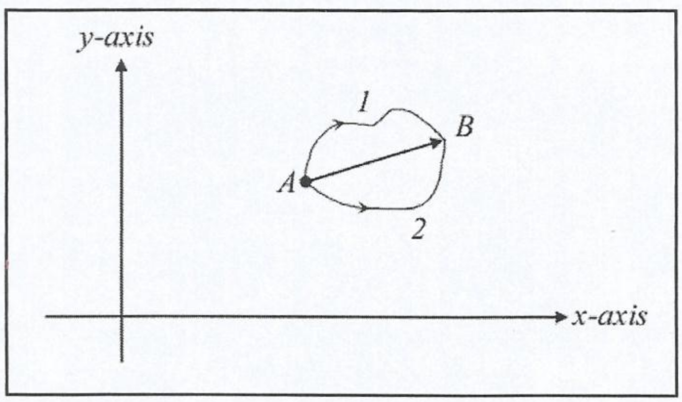
٥ - أن يصف كلا من الاحتكاك الحركي والاحتكاك الساكن.

٦ – أن يشرح معنى الكتلة الصورية وكتلة الجذب للجسم. وسنعرض فيما يلي المفاهيم الأساسية المطلوبة لدراسة الحركة على خط مستقيم، كما سنعرض قوانين نيوتن الثلاثة، ونوضح علاقتها بالحركة على خط

٣-٢ الازاحة displacement

عندما يتحرك جسم مادي بين نقطتين مثل A و B ، انظر الشك ل (١ - ٣) ، فإن إزاحته displacennentه هي الخطط المستقيم الواصل بين النقطتين المذك ورتين ، وذلك للانتقال من النقطة A إلى النقطة B

.فعلى سبيل التطبيق بإمكان الجسم المادي المتحرك أن يسلك الطريق (١) أو الطريق (٢) الموضحين في الشكل (3- ١) حيث يمثل كل منهما ما نطلق عليه المسافة distance ، ولكن تبقى إزاحته معرفة على النحو الآتي : هي المتجه الواصل بين النقطتين A و B ، بدايته عند النقطة A ، ونهايته عند النقطة B ، أي أنها عبارة عن التغيير الصافي في موضع الجسم المادي المتحرك .



الشكل (1- 3) يبين الفرق بين متجه الإزاحة ومفهوم المسافة

٣-٣ السرعة المتوسطةAverage Velocity

: السرعة المتوسطة Average velocity والتي عادة ما نشير إليها بالرمز $(\bar{v})$، وهي عبارة عن النسبية بين إزاحة الجسم المتحرك (Δx) والزمن المحدد (Δt)الذي يستغرقه الجسم كي يقطع تلك الإزاحة .
أي أن :

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (3\text{-}1)$$

وهذا ما يشيرريا رياضيا إلى أن السرعة المتوسطة (v)هي عبارة عن ميل الخط البياني
للمتغيرين

(x,t)، حيث أن النقطة النهائية تمثلها الإحداثيات (x_2,t_2) والنقطة الابتدائية تمثلها الإحداثيات (x_1,t_1) ، وهاتان هما نقطتان يمر بهما الخط المستقيم المطلوب معرفة ميله ، ويمكن التعبير عن ذلك بصفة عامة بالمعادلة الآتية :

$$X=f(t) \tag{3-2}$$

ومعنى ذلك أن (x) هي تابع function للزمن (t) ، ومن الواضح أن (x) تمثل الازاحة . وأخيرا لا بد من التأكيد على أن السرعة المتوسطة هى كمية اتجاهية vector

تطبيق (٣-١) Application

إذا كان موقع الجسم المادي المتحرك كتابع للزمن تمثله العلاقة الرياضية الاتية

$$X=3t-4t^2+t^3$$

١ - حدد موقع الجسم المتحرلك بعد زمن قدره (١,٢,٣,٤) ثانية .
٢ - حدد إزاحة الجسم المتحرك بين الزمنين$(t_1=0)$ و $(t_2=4s)$
٣- حدد السرعة المتوسطة للجسم بين الفقرتين $(t_1=2_s)$ و $(t_2=4s)$

الحل solution

$$x(1\,s)=3(1)-4(1)^2+(1)^3=0$$
-1
$$X(2s)=3(2)-4(2)^2+(2)3=-2m$$
$$X(3s)=3(3)-4(3)^2+(3)^3=0$$
$$X(4s)=3(4)-4(4)^2+(4)^3$$
$$=12-64+64=12m$$
$$\Delta x=x(4s)-x(0s)$$
-2
$$\Delta x=12m-0=12m$$
$$\bar{v}\frac{\Delta x}{\Delta 1}=\frac{12m}{4s}=3(m/s)$$
-3

$$\Delta x = x(4s) - x(2s) = 12 - (-2) = 14m$$
$$\Delta t = 4s - 2s = 2s$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{14m}{2s} = 7(m/s)$$

٣-٤ السرعة الانية instantaneous velocity

إن مفهوم السرعة الآنيةintantaneous velocity يعتبر مفهوما متأتيا عن مفهوم السرعة المتوسطة average velocity وذلك عندما يتقلص المجال الزمني للحركة ليصبح عند لحظة بدايتها ، ويمك ن التعبير عن ذلك رياضيا بالعلاقة الآتية:

$$v = lim_{\Delta t - 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

(3-3)

وهكذا نجد أن السرعة الآنية (v) يخة المعادلة (٣ - ٣) هي عبارة عن المشتقة الأولى لتابع الإزاحة (x) بالنسبة للزمن (t) ، وذلك عند زمن محدد ، ولبيان ذلك تأمل التطبيق الآتي:

تطبيق (٣-٢) Application

جزيئة متحركة على المحور السيني . تم تحديد موقعها بالعلاقة الرياضية :

$X=2-2t+4t^2$

حيث تقاس الإزاحة (x) بالأمتار والزمن (t) بالثواني.

اوجد حسابيا سرعة الجزيئة عند الزمنt=1s

الحل solution

السرعة عند الزمن t=1sهي سرعة الجزيئة الآنية إذاً:.

$$V(1s)=\frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(2 - 2t + 4t^2)$$
$$=-2+8t=-2+8(1)$$
$$=6(m/s)$$

٣-٥ التعجيل او التسارع acceleration

عندما تتغير سرعة جسم متحرك من السرعة الابتدائية (v_1) إلى السرعة النهائية (v_2) فإننا نقول بية هذه الحالة بأن الجسم قد خضع لعملية تعجيل أو تسارع ، ومن الممكن عندئذر تعريف التسارع المتوسط average، accelerationوالذي يشار إليه عادة بالرمز ($\bar{a}$) على النحو الآتي:

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

(3-4)

اما التسارع او التعجيل اللحظي instantaneous accelerationفهو عبارة عن:

$$\bar{a} = \frac{dv}{dt}$$

(3-5)

أي أن التسارع اللحظي كما هو واضح من المعادلتين (٣ -٣) و (٥ - ٣) يعبر عن المشتقة الأولى التابع السرعة اللحظية (v) بالنسبة للزمن (t)، والمشتقة الثانية لتابع الإزاحة x بالنسبة للزمن (t)، وذلك عند زمن محدد، ولبيان ذلك تأمل التطبيق الآتي:

التطبيق (٣-٣) Application

جسم يتحرك على المحور السيني حيث تم تحديد موقعه بالعلاقة الرياضية:

$$X=50t+10t^2$$

حيث تقاس الإزاحة (x) بالأمتار والزمن (t) بالثواني، وذلك بدءاً من الزمن ($t_1=0$)
اوجد حسابيا:

- 1السرعة المتوسطة للجسم خلال الثواني الثلاثة الأولى
- ٢ السرعة الآنية للجسم عند الزمن. $t_2=3$ s
- ٣ التسارع الآني للجسم عند الزمن $t_2=3$ s

الحل:Solution

أوجد حسابيا ١ - السرعة المتوسطة تحسب بين الزمنين الابتدائي t_1 = ٠ والنهائي. $t_2=3$ s

$$\bar{v} = \frac{x(t=3s) - x(t=0)}{\Delta t}$$

$$X(t=3s)=50(3)+10(3)^2= 240\ (m)$$

$$X(t=0)=0$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 3 - 0 = 3(s)$$

$$\bar{v} = \frac{240(m)}{3(s)} = 80(m/s)$$

٢- السرعة الانية هي عبارة عن :

$$v = \frac{d}{t}(50t + 10t^2)$$

$$V_{t=3} = 50+20t$$

$$V_{t=3} = 50+20x3=110(m/s)$$

التعجيل او التسارع الاني هو عبارة عن :

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$a = \frac{d}{dt} = (50 + 20t)$$

$$A_{t=3} = 20(m/s^2)$$

ملاحظة : نلاحظ من خلال هذا التطبيق أنّ التعجيل او التسارع الخظلي هو المشتقة

الثانية لتابع الإزاحة بالنسبة للزمن ، وهو المشتقة الأولى لتابع السرعة اللحظية بالنسبة للزمن

٦ - ٣ قوانين الحركة على خط مستقيم بتعجيل ثابتConstan Accelerat Motion

كثيرة هي الحالات الحركية التي يكون فيها التسارع ثابتا أو قريبا من الثبات ، عندها فإن معنى التغيرية: الزمن يكون موضع تفكير عميق ولا سيما في

حال االتعجيل الآني ، إذأ العلاق الرياضية التي تعبر عنه هي :

$$a = \frac{dv}{dt} = a_0 = const$$

أى أنه المشتقة الأولى للسرعة بالنسبة للزمن ، حيث (a_0)هو تعجيل عند لحظة بدء الزمن $t = 0$.

وبضرب الوسطين بالطرفين نجد أن :

$$Dv = a\,d\,t$$

، إذا بعد تعويض وبإجراء التكامل للطرفين (تكامل غير محدد) نجد أنّ :

$$\int dv = \int a\,dt$$

$$V = at + const \quad (3\text{-}6)$$

ومن الممكن إيجاد مقدار الثابت . constوذلك بالرجوع إلى الشروط الابتدائية الحركة وهي :

$$V = v_o$$

$$T = 0$$

$$V_o = a(o) + const$$

و هكذا

$$V_o = const$$

اذا بعد التعويض مقدار ثابت في المعادلة (٣-٥) فانها تأخذ الشكل الاتي

$$V = at + v_0$$

في هذه المعادلة تمثل (v) السرعة النهائية للجسم المتحرك بتعجيل ثابت (a) ولذلك سوف نعطيها ومنذ الآن الرمز (v) أما (v_o) فهي السرعة الابتدائية وسنعطيها الرمز (v_o)وبملاحظة أنّ ($a = a_o$) تصبح المعادلة (٦ -٣) على النحو الآتى :

$$V = at + v_o \quad (3\text{-}7)$$

وهي أول المعادلات للجسم المتحرك على خط مستقيم بتعجيل ثابت.

$$v = \frac{dx}{dt} = at + v_0$$

أي ان :

$$Dx=at\ dt + v_o\ dt$$

و باجراء التكامل أيضا غير محدد الطرفين نجد ان

$$\int dx = a\int tdt + v_1\int dt$$

$$X = a\frac{t^2}{2} = v_o t + const$$

(3-8)

ومن الممكن إيجاد مقدار الثابت من الشروط الابتدائية للحركة و هي :

$$T=o$$

$$X=x_o$$

وهكذا نجد ان

$$X_0=a(0)+v_0(0)+const$$

اذا :

$$X_0 = const$$

و هكذا تصبح المعادلة (٣-٧) على النحو التالي

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_o t + x_o$$

في هذه المعادلة تمثل (x) الإزاحة النهائية للجسم المتحرك وسنشير دائما بالرمز (x) بينما تشير (x_o) إلى الإزاحة الابتدائية وسنشير لها دائما بالرمز (x_o) ، وعليه تصبح المعادلة على الشكل الآتي:

وبالإمكان دمج المعادلتين (٧ - ٣) و (٩ - ٣) مع بعضهما ، وذلك على النحو الآتى:
من المعادلة (٣-٧) نجد ان الزمن (t) يساوي

$$t = \frac{v - v_o}{a}$$

$$(3-10)$$

وبالتعويض في المعادلة (٩ - ٣) نجد أن:

$$(x - x_o) = \frac{1}{2} a \frac{(v - v_o)^2}{a^2} + v_o \frac{(v - v_o)}{a}$$
$$= \frac{1}{2} \frac{(v^2 + v_0^2 - 2v\, v_o)}{a} + \frac{v\, v_o - v^2}{a}$$
$$\frac{v^2 + v_0^2 - 2v\, v_0 - 2v\, v_o - 2v_o^2}{2a}$$
$$= \frac{v^2 - v_o^2}{2a}$$
$$v^2 - v_o^2 = 2a(x - x_o)$$

(3-11)

وخلاصة القول : أننا نستطيع وصف حركة ا الجسم بتسارع كابيت وصفاً كاملاً بالمعادلات الاتية

معادلات جسم متحرك على خط مستقيم بتسارع ثابت:

$$v = v_o + at$$
$$(x - x_o) = \frac{1}{2} at^2 + v_o t$$
$$(v^2 - v_0^2) = 2a(x - x_o)$$

تطبيق (٣-٤) Application

بدأ قطار حركته من السمكون بتسارع ثابت ، وعند زمن معين كانت سرعته (30 m/s) ، ارتفعت بعد ذلك إلى (50m/s) وذلك بعد أن قطع مسافة قدرها (160 m)

أوجد حسابيا

1- تسارع القطار

٢ الوقت الذى استغرقه القطار حتى أصبحت سرعته (30m/s).

3 - المسافة التى قطعها القطار من السكون إلى أن أصبحت سرعته (30m/s)

الحل solution
١- من المعادلة (٣-١١)

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2(x - x_o)}$$

$$\frac{[(50^2) - (30)^2]\left(\frac{m}{s}\right)^2}{2(160)m} = 5(m/s^2)$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t}{a} = \frac{(v - v_o)}{a} = \frac{(50 - 30)m/s}{5m/s^2}$$

=4(s)

٢- الوقت الذي استغرقه القطار حتى أصبحت سرعته (30m/s) هو :

$$t = \frac{v}{a} = \frac{30(m/s)}{5(m/s^2)}$$

$$= 6(s)$$

$$x - x_o = \frac{1}{2}at^2 + v_o t$$

٣- عند السكون تكون كل من :

$$x_o = 0$$

$$V_o = 0$$

$$x = \frac{1}{2}at^2$$

$$x = \frac{1}{2}(5m/s^2)(6s)^2$$

= 90 (m)

٣-٧ قانون نيوتن الاول في الحركة newton’s first law

في محاولة لبلورة المفاهيم الفيزيائية وتحديد العلاقة بين الأجسام وحالتها الحركية ، استطاع نيوتن أن يحدد أول هذه المفاهيم عندما عزل القوة عن الجسم الذى تؤثر عليه ، وذلك عندما افترض أن محصلة هذه القوى المؤثرة على الجسم تساوي الصفر ، وما دام الأمر كذلك فإن تسارع الجسم يساوي الصفر أيضا وبناء على هذا الافتراض شخص نيوتن حالتين اثنتين : -

الحالة الأولى : إذا كانت محصلة القوى الخارجية المؤثرة على جسم ساكن تساوي الصفر فإن الجسم سوف يبقى ساكنا .

الحالة الثانية : إذا كانت الخارجية المؤثرة على جسم تساوي محصلة القوى الصفر ولكنه ية هذه الحالة يتحرك بسرعة ثابتة ، فإنه يستمر بحركته وبسرع ثابتة ، ما لم تؤثر عليه قوة خارجية جديدة .

وهذه المفاهيم كان لا بد من أن تستقر وتأخذ مكانتها وذلك بأن لها تنسبب إلى نظام إسناد أو جملة إسنادreference systemكي تأخذ شكلها العملي المطلوب ، كما أن ذلك النظام لا بد أن يكون متجانسا تماما مع طبيعة هذا القانون الذي أخذ بعد ذلك الذاتي inertia law, ، أو قانون تسمية نظام القصور القصور الذاتي ، أو كما تسميه بعض المراجع " قانون العطالة " .

إن الحالة الأولى تأتي متوافقة مع ملاحظاتنا اليومية مباشرة ولا صعوبة على الإطلاق في إدراك مفهومها ، ولعلنا نتأمل مجموعة من الأجسام الساكنة بي المحيط الذي نتواجد فيه بهدف تعميق فهمنا ومطابقة القانون واقعيا

أما الحالة الثانية فهي الحالة التي تفترض انعدام محصلة القوى التي تعيق حركة الجسم بسرعة ثابتة ، وهذا أمر يصعب تحقيقه في سياق الواقع ، ولكن القانون يبقى صحيحا ضمن نصه وفرضياته ، كما أن الحالة الأولى لهذا القانون قانون إشارة القصور الذاتي تشير هامة إلى شروط التوازن في علم الحركة equilibrium conditions ، وذلك بمقتضى أن الخارجية محصلة القوى المؤثرة على الجسم تساوي صفرا ، يعني : بالضرورة أن يبقى الجسم ساكنا أي أن :

$$\sum \bar{f} = 0$$

وكذلك فإن العزم للجسم تساوي :

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

حيث إن (p) تمثل العزم للجسم mumemtum، كتلته (m) ، و (v) هي سرعته الثابتة

قانون نيوتن الثاني في الحركة newton’s second law

إذا كانت محصلة القوى الخارجية $\left(\sum \bar{f}\right)$المؤثرة على جسم كتلته (m) لا تساوي الصفر: فإنها سوف تكسبه تسارعاً مقداره $(\vec{a})$يتناسب تناسبا طرديا مع مقدار هذه القوة ، ويكون اتجاهه بنفس اتجاهها

$$\sum \vec{f} \infty \vec{a}$$
$$(3-11)$$

وهذا يعني أنّ :

$$\frac{f_1}{a_1} = \frac{f_2}{a_2} = \frac{f_3}{a_3} = const$$

إن هذا الثابت هو عبارة عن كتلة الجسم (m) ، والكتلة كما نعلم هي كمية قياسية تعتمد على مقدار ما يحتويه الجسم من مادة ، وهي التي تمانع القوة الخارجية المؤثرة التي تعمل على تغيير الحالة الحركية للجسم . وهكذا فان العلاقة الرياضية (١1 - ٣) تصبح على الشكل الآتي :

$$\sum \vec{f} = m\vec{a}$$
(3-12)

ومن الضروري هنا أن نتأمل جيداً ونعين القوى الخارجية external force المؤثرة على الجسم ، مع ضرورة إهمال القوى الداخلية internal force، مثل تلك القوى التي يؤثر بها جزء من الجسم على بقية أجزائه الأخرى ، وعكس ذلك .

والعلاقة أو القانون (١٢ - ٣) شأنها شأن أي معادلة أخرى يمكننا إعادة صيغتها الرياضية العامة . مستخدمين الابعاد الفراغية الثلاثة (x,y,z) كي تأخذ الشكل التحليلي الآتي:

$$\left.\begin{aligned} \sum \vec{F}_x &= m\vec{a}_x \\ \sum \vec{F}_y &= m\vec{a}_y \\ \sum \vec{F}_z &= m\vec{a}_z \end{aligned}\right\}$$
(3-13)

إن هذه المعادلات الثلاث (١٣ - ٣) تبين لنا كيف تتأثر محصلة القوة المؤثرة على الكتلة (m) بمركبات التسارع الثلاث (a_x, a_y, a_z) ، باعتبارها هي الأخرى كميات اتجاهية .

وإذا ما عدنا إلى المعادلة (١٢ - ٣) واستخدمنا النظام الدولي للقياس (SI) الذي درسناه في الفصل الاول من هذا الكتاب نجد أن :

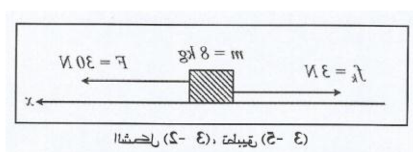
$$N=(1\ kg)\ (1\ m/Si^2)$$

تطبيق(3-5)Application

جسم كتلته (8kg) يستقر على سطح أفقي خشان ، تعرض لتأثيرقوة خارجية أفقية مقدارها (30 N)، أوجد حسابيا تسارع هذا الجسم إذا علمت أن :–

١- يؤثر السطح الخشن على الجسم بقوة احتكاك مقدارها (3 y)
٢-هل يتغير مقدار التسارع إذا كان السطح أملسا ؟ أوجد مقداره حسابيا

الحل.Solution



١ - باستخدام قانون نيوتن الثانى وبملاحظة أن كل من القوتين(f_k, F) تعملان في اتجاهين متعاكسين وتقعان على الخط الأفقى (X) نجد أن : .

$$\sum F_X = F - f_k$$

$$30-3 = 8\ (a_x)$$

$$a_x = \frac{27}{8} = 3.375\ (m/s^2)$$

- ٢ منالواضح أن قوة الاحتكاك في هذه الحالة تساوي الصفر وهذا يعني ان

$$\sum f_x = ma$$

$$30=8(a_x)$$

$$a_x = \frac{30}{8}\ 3.75\ (m/s^2)$$

تطبيق (٣-٦) Application

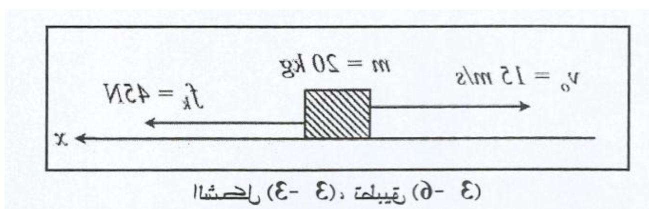
جسم كتلته (20 kg) ينزلق بسرعة ابتدائية مقدارها (15 s/m) على سطح أفقى خشن ، إذا كان هذا الجسم المنزلق يعانى من تأثير قوة احتكاك مقدارها . (45N)

١ - كيف تصف حركة هذا الجسم ؟ مثل ذلك بالرسم المناسب .

٢-أوجد حسابيا تسارع الجسم .

٣-أوجد حسابيا الزمن اللازم كي تصبح سرعته النهائية مساوية إلى الصفر

٢ - الحلSolution :



1-من الواضح أن الجسم يتحرك نحو اليسار وبسرعة $v_o 15\ m/s$ ولا توجد قوة تدفعه بهذا الاتجاه

(F=0)،

باستخدام قانون نيوتن الثاني نجد أن :

$$\sum \overline{f_x} = m\overrightarrow{a_x}$$

$$F-f_x=ma_x$$

$$0-45=20(a_x)$$

$$A=\frac{-45}{20}= -2.25\ (m/s^2)$$

3- لحساب الزمن اللازم كي تصبح سرعته النهائية مساوية للصفر ، نستطيع الاستفادة من تعريف التسارع ، حيث ان :

$$a = \frac{v - v_o}{t}$$

$$t = \frac{v - v_o}{a} = \frac{0 - 15}{-2.25} = 6.6\ (s)$$

أي ان الجسم سوف يتوقف بعد مرور (6.6 s)

تطبيق (٣-٧) Application

إلكترون كتلته $(9.1x10^{-31} \quad kg)$ يسيربسـرعة ابتدائية مقدارها $(v_o = 10^6 m/s)$في اتجاه الافقي دخل بين لوحى مكثف حيث أثرت عليه قوة مقدارها$(8x10^{-17}\ N)$ وبية الاتجاه العمودي ، وذلك لفترة مقدارها . (10^{-8} s)
أوجد حسابيا سرعته عندما يخرج من المكثف الكهربائي .

الحل solution

هذا التطبيق يجمع بين قانون نيوتن الثاني ، وقانون الحركة على خط مستقيم بتسارع ثابت ، ومن الواضح أن التسارع في الاتجاه العمودي باتجاه تأثير القوة اذا :

$$V = v_o + at$$

وبما أنه يسير بسرعة ثابتة على المحور الأفقي فإن تسارعه بهذا الاتجاه يساوي الصفر

$$A_x = 0$$
$$V_{oy} = 0$$

وبتطبيق قانون نيوتن الثاني نجد أن:

$$\sum f_y = m_e a_y$$
$$f_y = m_e a_y$$
$$a_y = \frac{f_y}{m_e}$$
$$v_y = v_{oy} + \left(\frac{f_y}{m_e}\right)t$$
$$= 0 + \left(\frac{8x10^{-17}}{9.1x10^{-31}}\right)x10^{-8}$$
$$=8.79x10^5 (m/s)$$

3- 9الوزن Weight

:يعتبر الوزن Weight من التطبيقات الهامة والمباشرة لقانون نيوتن الثانيفي صيغته المعروفة (F= ma)، وذلك عندما نعتبر أن تسارع الجاذبية الأرضية ثابت ، والوزن لجسم ما هو القوة التي تشده أو تسحبه à كل الظروف نحو مركز الأرض ، القوة يمكن حسابها بواسطة قانون نيوتن للجذب العام ، وذلك وهفسلده للتأكيد على أن سببها هو الشد الأرضيgravetational attraction بين كتلة الأرض وكتلة الجسم ، أما مقداروزن الجسم فنعبر عنه بالعلاقة الرياضية= :

W=mg
(3-14)

وهذا الوصف ينطبق على كل جسم موجود داخل مجال تأثير الجاذبية الأرضية حيث تعبر (m) عن كتلة الجسم ، و (g) عن تسارع الجاذبية الأرضية ، ويلاحظ من خلال المقارنة بين هذه العلاقة وقانون نيوتن الثاني ، أن (g) قد حلت بدلا من (a) الناشئ عن القوة بصفة عامة وهوالتسارع .

ومن المناسب جداً إعادة صياغة العلاقة (١٤ - ٣) باستخدام متجاه الوحدة المحور العمودى (y) الموازى لمحور تأثير الأرض والمتجه نحو مركزها (j) على النحو الآتى:

W = -mgj
(3-15)

وواضح ان الاشارة السالبة تدل على ان المتجه الوزن يكون دائما في المنطقة السالبة من المحور الصادي (y-axis) و هو باتجاه مركز الأرض .

ولقد اثبتت الدراسات التجريبية الحقائق الاتية

١- يتناسب وزن الجسم تناسبا طرديا مع كتلته .

٢- إن ثابت التناسب هو عبارة عن (g) ، أي تسارع الجاذبية الأرضية

وتأسيسا على ذلك فإنه يتوجب علينا الإشارة إلى نوعين من الكتلة هما :

أ - الكتلة القصورية للجسم :inertia mass وهي عبارة عن ثابت التناسب بين محصلة القوى المؤثرة بيك الجسم والتسارع الذي يكتسبه نتيجة لذلك ، وفقا القانون نيوتن الثاني في الحركة ، أي أن :

$$m_{inertia} = \frac{\sum f}{a}$$

(3-16)

ب - كتلة الجذب للجسم :attraction mass وهى عبارة عن مقياس لمقدار استجابة الجسم لقوة الجاذبية الأرضية . ولتبسيط المسألة ، افرض أن لدينا جسمان وزناهما متساويان (w_1,w_2) ، فهذا يقتضى بالضرورة أن كتلتى الجاذبية لهما متساويتان (m_{1g},m_{2g})

.وهذا يؤدي إلى أن :

$$\frac{m_{1g}}{m_{2g}} = \frac{\overline{w}_1}{\overline{w}_2}$$

(3-17)

وبما أن الجسم خاضع لتأثير قوة الوزن ، فإن ذلك سيؤدي إلى وجود تسارع بسبب هذا التأثيرنطلق عليه تسارع الجاذبية الأرضيةgranviational acceleration أو تسارع السقوط الحرfree falling acceleration وهو ما نرمز له عادة بالحرف (g) وباستخدام قانون نيوتن الثاني نجد أن

$$\overrightarrow{w_1} = (m_1)(g)$$
$$\vec{w}_2 = (m_2)(g)$$

- 10وبتعويض المعادلات (١٨ -٣) في المعادلة (١٧- ٣) نجد أن :

$$\frac{m_{1g}}{m_{2g}} = \frac{m_1}{m_2} = const$$

وبصورة عامة نجد أن:

$$m \ \delta \, m_g$$

ومعنى ذلك أن الكتلة القصورية للجسم تتناسب طرديا مع كتلة له وبية حال استخدام الكيلوغرام كوحدة لقياس الكتلتين فإننا نجد

$$\frac{m}{m_g} = 1 \qquad , \qquad m = m_g$$

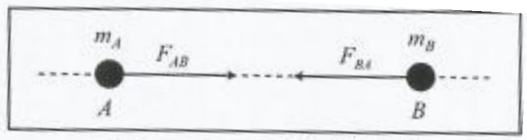
أي أنـهما متساويتان

10-٣ قانون نيوتن الثالث Law Third s Newton

: من الممكن دائما أن نتذكر المفهوم العام لقانون نيوتن الثالث ، وذلك إذا ما تذكرنا التطبيق البسيط والذي يمكن أن يكون قد مر بأي واحد منا عند الطرق على مسمار بقوة باستخدام المطرقة ، والفكرة هنا هي : أن القوة التي تؤثر بها المطرقة على المسمار تقابلها قوة تأثير المسمار على المطرقة ، وهما قوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه . ولبيان المفهوم العام لقانون نيوتن الثالث ، انظر الشكل (٤ – ٣) ، افرض أن الجسم (A) يؤثر بقوة (F_{AB}) على الجسم (B) ، لقد دلت التجارب على أن الجسم (B) يؤثر بقوة (F_{BA}) على الجسم (A) وهاتان القوتان متساويتانية المقدار ومتعاكستان _ في الاتجاه ، وهذا ما يمكن التعبير عنه بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

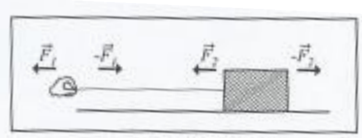
(3-19)



الشكل (4- 3) ويبين قانون نيوتن الثالث

وبصفة عامة يمكن إعادة صياغة قانون نيوتن الثالث على النحو الآتي:

لكل فعل رد فعل يساويه في المقدار ويعاكسه في الاتجاه. ومن المهم جداً التأكيد على أن هذا القانون ممكن التطبيق فقط في إطار القصور الذاتي intertial framesأو بعبارة أخرى فإنه يفسر تأثير القوى الحقيقية التي ترافقها ردود فعل واضحة وأساسية. إن القوة الأولى هي ما تعرف بقوة الفعلaction ، أما القوة الثانية فهي ما تعرف بقوة رد الفعل .reaction ولا بد من التأكيد على أن القوى في الطبيعة توجد على شكل أزواج متساوية في المقدار ومتعاكسسة في الاتجاه ، ولا وجود للقوة المفردة ، والقوتان تمتلكان الطبيعة والخصائص نفسها ، انظر الشكل (٣-٥)



الشكل (5- 3) قانون نيوتن الثالث وتظهر فيه أزواج القوى $(F_1,-F_1)$ و $(F_2,-F_2)$

ومن الأمثلة على قانون نيوتن الثالث :

أ - إذا تأملنا القوة التي يؤثر بها جسم موجود على سطح الأرض على لأرض نفسها ، نجد أن قوة تأثيرالجسم (w) باتجاه مركز الأرض ، تقابلها لأرض بقوة رد فعل (N)تتجه من مركز الأرض نحو الجسم

ب - قوى الجذب المتبادلة بين الأجرام السماوية فالشمس تجذب الأرض نحوها بقوة الفعل (F)
(والأرض تجذب الشمس نحوها بقوة رد الفعل (N)

ت - النواة تجذب الإلكترون نحوها أيضاً بقوة فعل (F) والإلكترون يجذب نحوه بقوة رد فعل (N) .

٣ الاحتكاك : Friction

عندما تعمل قوة ما ولتكن (F) على سحب جسم موجود على سطح جسم ما ، فإن قوة مماسية تنشأ بين الجسم والسطح الموجود عليه تعرقل وتعيق حركة الجسم الأول على الجسم الثاني نتيجة التشابك النتوءات المجهرية للجسسمين ببعضهما البعض ، وهذا ما يمكن التعبير عنه بقوة معيقة للحركة أثر بها الجسم الثاني (السطح) على الجسم الأول (الجسم المتحرك) والتي نسميها قوة الاحتكاك friction force ، إن أقل قيمة لهذه القوة تساوي الصفر ثم تبدأ بالازدياد التدريجي إلى أن تصل إلى قيمتها القصوى وذلك عندما يكون الجسم على وشك الانزلاق .

إن هذه القوة تأخذ تسميتين مختلفتين بحسب الحالة الحركية للجسم الخاضع لتأثير القوة الخارجية ، وسنتداول حالتين مختلفتين معروفتين لسطح الجسم الذي يحصل عليه الاحتكاك .

١ - الاحتكاك على سطح أفقي.
٢ - الاحتكاك على سطح مائل.

١-١١-٣ الاحتكاك على سطح أفقي:

مختلفتين لمفهوم قوة الاحتكاك وبهدف توضيح هذا الأمر واستبعاد مواطن اللبس فيه، سنناقش حالتين

أ-قوة الاحتكاك الساكن static frictional force

إذا كان الجسم المراد تحريكه ساكنا على الرغم من تأثير القوة الخارجية (F) عليه ، فإن قوة الاحتكاك بية هذه الحالة تسمى قوة الاحتكاك الساكن Static fictional force واختصارا (f_s) وذلك كدليل على بقاء الجسم ساكنا ، ومن المناسب ذكره هنا أن (f_s) تعتمد على القوة العمودية (N) التى يؤثر بها السطح على الجسم المنزلق ، وهي قوة رد الفعل .

ب - قوة الاحتكاك الحركيkinetic frictional force

إذا تحرك الجسم بعد خضوعه لتأثير القوة الخارجية (F) عليه ، فإن قوة الاحتكاك à هذه الحالة تسمى قوة الاحتكاك الحركي kinetic frictional force واختصارا (f_k) ، وذلك كدليل على تحرك الجسم .

من المهم جداً أن ذكري هذا قام بعض خصائص قوى الاحتكاك :

١ - إذا لم يتحرك الجسم تحت تأثير القوة الخارجية (F) فهذا يعني من الناحية العملية أن :

(٣ - ١٥)

$$\vec{F} \leq \vec{F_S}$$

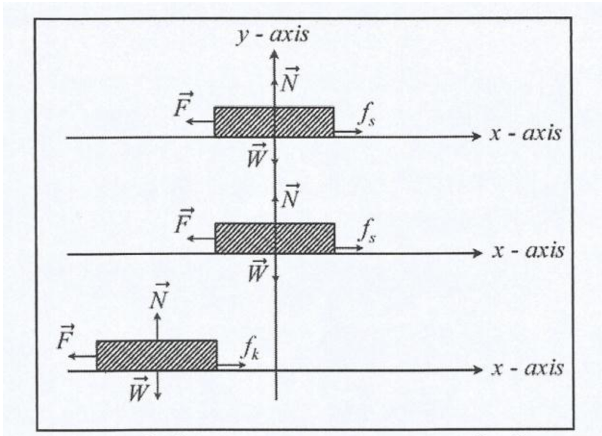
والقوتان ر (F) موازيتان تماماً لمحاور الحركة ، والقوة (f_s) معاكسسة في الاتجاه للقوة) F(، وهى كما تلاحظ من الشكل (٦ – ٣) مماسة للسطح

٢- تصل قوة الاحتكاك الساكن (f_s) إلى أقصى قيمة لها (f_s max) وذلك قبل لحظة بدء حركة الجسم مباشرة ويعبر عنها رياضيا بالعلاقة الآتية :

$$\vec{F}_{S\,MAX} = \mu_S \vec{N}$$

(3-16)

حيث ($\vec{N}$) هي عبارة عن قوة رد فعل الوزن (W) و (μ_S) هو معامل الاحتكاك الساكن Coefficient of static friction



الشكل (6- 3) يبين الاحتكاك، وقوى الاحتكاك f_s وf_k على سطح أفقي

٣- إذا بدأ الجسم بالحركة على مستوى السطح ، فإن مقدار قوة الاحتكاك يتناقص إلى القيمة ($\vec{f_s}$) حيث تعرف هذه القوة بالعلاقة الرياضية الآتية

$$\vec{f_k} = \mu_k \vec{N}$$

(3-17)

–

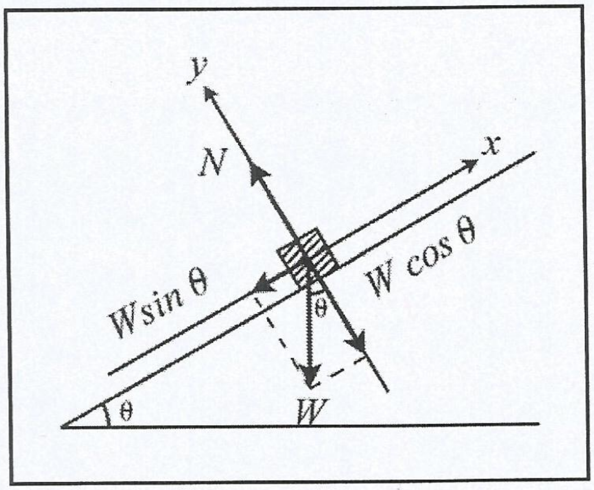
لاحظ هنا ان (μ_K) هو معامل الاحتكاك الحركي Coefficient of kintic friction

٢-١١-٣ الاحتكاك على مستوى مائل :

لاحظ هنا أن (μ_k) هو معامل الاحتكاك الحركي kinetic of c0efficient الحركة على المستوي المائل (بدون احتكاك)

سندرس هذا النوع من الحركة دراسة متأنية وذلك بهدف التفريق بين حالتين، في الحالة الأولى تكون قوة الاحتكاك مساوية إلى الصفر ؛ أى أنها لا تؤثرية حركة الجسم ، بينما تكون في الثانية أكبر من الصفر أى أنها ذات قيمة مؤثرة في حركة الجسم: .

أ- الحركة على مستوى المائل (بدون احتكاك) nonfrictional inclin surface motion



الشكل (7- 3)

نلاحظ من الشكل أن الجسم ذو الكتلة (m) والوزن (w) ، موجود على سطح أملس تماماً ، مائل على الأفق بزاوية (θ)، وبهدف تحليل وزن الجسم استخدمنا محورين متعامدين (y , x) مركزهما ، عند مركز ثقل الجسم ، والآن نلاحظ أن القوى المؤثرة على الجسم المتحرك هي :

١ - وزن الجسم :

حيث (g) هي تسارع الجاذبية الأرضية ، ونلاحظ أنّ متجه الوزن يشير رأسيا إلى أسفل .

٢ - قوة تأثير الجسم عمودياً في المستوي (N) .

ونلاحظ أن القوتان (W) و (N) ليستا متوازنتين ، ولهذا يبدأ الجسام بالانزلاق .

نقوم الآن بتحليل الوزن إلى مركبتيه العمودية والأفقية فنجد أن :

المركبة الموازية للمستوي وهي : $W_X = W \sin\theta$

المركبة العمودية على المستوي وهي : $W_Y = W \cos\theta$

ونلاحظ بسهولة القوتين(W_Y)و (N)متساويتان في المقدار ومتعاكستان بالاتجاه ، أي أن محصلة هاتين القوتين تساوي الصفر:

$$W_Y + N = 0$$

أما القوة (W_X) فهي القوة المحركة للجسم والتي ستكسبه تسارعا نستطيع إيجاده من قانون نيوتن الثاني ، أي أنّ :

$$W_X = MG\ SIN\ (\theta) = MA$$

$$a = g \sin \theta$$

(3-18)

ونلاحظ في هذه الحالة ومن خلال العلاقة الرياضية (١٨-٣)أن تسارع الجسم المتحرك على المستوي المائل بدون احتكاك لا يعتمد على كتلة الجسم

التطبيق (٣-٨) Application

إذا كانت كتلة الجسم المتحرك على سطح مائل وبدون احتكاك والمبين à الشكل ل (٧ - ٣) تساوي) 20kg (، وزاوية الميل تساوي (^{o} ٤٥) .

أوجد حسابيا تسارع الجسم ، معتبرا أن قدارتسار الجاذبية الأرضية ($g=9.8\ m/s^2$)

الحل Solution :

- باستخدام العلاقة الرياضية (١٨ - ٣) نجد أن :

$$\theta = \quad 45^o$$

$$a = \quad g\ \sin \theta$$

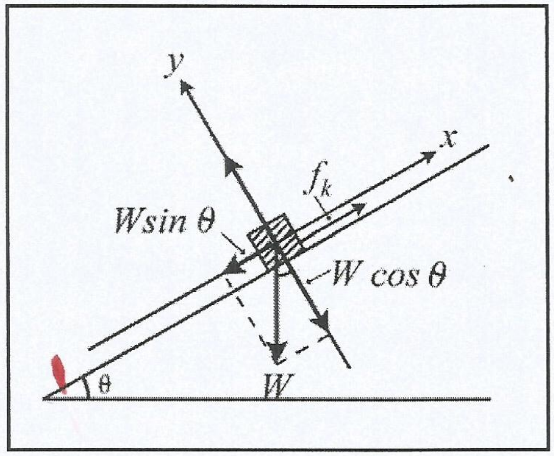
$$=(4.8) \sin (45^0) =6.93\ (m/s^2)$$

ونلاحظ مجددا أنه لا تأثير لكتلة الجسم على تسارعه

. سؤال : متى يتساوى تسارع الجسام المنزلق مع تسارع الجاذبية الأرضية ؟ وضح ذلك مستعينا بالعلاقة الرياضية (١٨ - 3)

الحركة على المستوي المائل بوجود الاحتكاك Surface motion Fricional incline

تأمل الشكل (٣-٨)



الشكل (8- 3)

نلاحظ من الشكل أن الجسم ذو الكتلة (m) والوزن ($\overline{w}$)موجود على سطح خشن ، مائل على الأفق بزاوية (θ) ، ومثلما فعلنا اية حالة السطح الأملس عديم الاحتكاك ، نستخدم محورين متعامدين (y , x) مركزهما عند مركز ثقل الجسم ، والآن نجد أن القوى المؤثرة على الجسم المتحرك هي :

١ - وزن الجسم (w= mg)

. حيث (g) ترمز إلى تسارع الجاذبية الأرضية ، ونلاحظ أيضا أن متجه الوزن يشيررأسيا إلى الأسفل .

٢ - قوة تأثير الجسم عمودياً بين المستوي (n) .

ونلاحظ هنا كما ية الحالة الأولى أن القوتين (w) و (N) ليستا متوازنتين ولهذا يبدأ الجسم بالانزلاق ، وكما فعلنا في الحالة الأولى نحلل الوزن إلى مركبتيه العمودية والأفقية

$$w_x = w \ \sin\theta$$
$$w_y = w\cos\theta$$

والقوتان (N) و (w_y) محصلتهما أيضاً تساوي الصفر كما في الحالة الأولى ، ولكن القوة (w_x)تعاكسها قوة الاحتكاك الحركي (f_k) ولهذا نجد أن محصلة القوى التى ستُكسب الجسم تسارعا ، يمكننا إيجاده من قانون نيوتن الثاني ، تكون على النحو الآتي:

$$\sum f_x = w_x - f_k = ma$$
$$mg\ \sin\theta - f_x = ma$$
$$A = \frac{mg\ \sin\theta - f_k}{m}$$
(3-19)

تطبيق (٣-٩) Application

إذا كانت كتلة الجسام المتحرك على السطح الخشن المائل المبين في لشـــــــــــــــــــــــــكل (٨ - ٣) تساوي

(12kg) ومقدار قوة الاحتكاك تساوي (٢٠N) ، أوجد حسابيا مقدار تسارع الجسم وذلك إذا كانت زاوية ميل المستوي تساوي (٣٠ ^{o}) ، وتسارع الجاذبية الأرضية يساوي (9.8 m/s^2)

Solution الحل .

باستخدام العلاقة الرياضية (١٩ - ٣) نجد أنّ

$\theta = 30^o$
M=12 kg
F_x=20n
G=9.8(m/s^2)

$$a = \frac{(12)(9.8)\sin(30) - 20}{12}$$
=3.2(m/s^2)

:: ورى سؤال : هل يمكن أن يتساوى تسارع الجسم مع تسارع الجاذبية الأرضية ؟ وضح ذلك مستعينا بالعلاقة (٣-١٩).

الخلاصة
Summary

قانون نيوتن الأول : إن أهمية هذا القانون تكمن ية استخدامه لتعريف القوة ، إذ أنها كل مؤثر خارجي يغير أو يعمل على تغيير الحالة الحركية للجسم مقدارا أو اتجاها أو مقدارا واتجاهاية الوقت ذاته . وهو ما يعرف بقانون القصور الذاتى ، أي أن الجسم من الناحية الفيزيائية يفتقر إلى القدرة على تغيير حالته الحركية وانعدام محصلة القوى المؤثرة في الجسم يؤدي إلى أنّ :

$$\Delta\vec{v} = 0$$

وهذا يعني أن الجسم إما أن يبقى ساكناً ، أو متحركاً بسرعة ثابتة .

قانون نيوتن الثاني : إنّ أهمية هذا القانون تكمن يَة أن محصلة القوى الخارجية المؤثرة على الجسم ذي الكتلة (m) لا تساوي الصفر ، وستؤدي إلى إكسابه تسارعا يتناسب مقداره تناسبا طرديا مع مقدار هذه المحصلة من القوى ، ويكون اتجاهه في اتجاهها نفسه ، أى أن :

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{f}}{m}$$

ومن الممكن أن يكون هذا التسارع موجباً أو سالباً ، وفقاً لطبيعة الحركة

قانون نيوتن الثالث : وينص قانون نيوتن الثالث على : " لكل فعل رد فعل يساويهفي المقدار ويعاكسه في الاتجاه "

ومن المعاني الكبيرة لهذا القانون ، أن القوى توجد في الطبيعة على شكل أزواج متساوية بية المقدار ومتضادة بية الاتجاه وذات طبيعة واحدة ، تنشأ نتيجة لتأثير الأجسام على بعضها البعض بغض النظر عن حالتها الحركية ، أي أنه يحتاج إلى جسمين أو أكثر ، على خلاف قانون نيوتن الأول والثاني.

الكتلة القصورية للجسم : هي ثابت التناسب بين محصلة القوى المؤثرة فيه و التسارع الذي يكتسبة نتيجة لهذا التأثير

$$m = \frac{f}{a}$$

كتلة الجذب للجسم : هي مقياس لمقدار استجابة الجسم لقوة الجاذبية الأرضية ، فلو افترضنا أن لدينا جسمان متساويان (w_1, w_2)) فإن كتلتي الجاذبية ليما (m_{1g}, m_{2g}) حيث إنّ :

$$\frac{m_{1g}}{m_{2g}} = \frac{w_1}{w_2}$$

قوة الاحتكاك : هي القوة التي تنشأ بين الجسم والسطح الموجود عليه ، وهي قوة مماسية اتجاهها بعكس اتجاه حركة الانزلاق ، تنشأ بسبب تداخل النتواءات بين السطحين المنزلقين على بعضهما البعض . ويزداد مقدارها تدريجيا إلى أن تصل إلى أقصى مقدار لها ، وذلك عندما يكون الجسم على وشك الانزلاق وفقا للمعادلة

$$f \leq f_s \quad , \quad \vec{f}_{s\,max} = \mu_s \vec{N}$$

حيث (π_S) هو معامل الاحتكاك الحركي . وتسمى بية هذه الحالة قوة الاتحكاك الحركة (F_K) وهي بالتعريف

$$\vec{F}_K = \mu_K \vec{N}$$

حيث(μ_K) هو معامل الاحتكاك الحركي

قوانين الحركة على خط مستقيم بتسارع ثابت $\vec{a}$

$$v = v_o + at \ggg\gg$$

$$(x - x_o) = \frac{1}{2}at^2 + v_o t \ggg\ggg>$$

$$(v^2 - v_o^2) = 2a\,(x - x_o) \ggg\gg>$$

حيث ان

$\underline{V}_o$: السرعة الابتدائية | v: السرعة النهائية

X_o: الازاحة الابتدائية | x: الازاحة النهائية

T: زمن الحركة | a: تسارع الحركة

أي اننا نستطيع دراسة حركة الجسم على خط مستقيم بتسارع او تعجيل ثابت من خلال معرفة الكميات الفيزيائية المذكورة أعلاه في صيغية القوانين الرياضية التي تصف حركته