الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التربية الوطنية

ثانوية : الـ 45 معدوما – بوسلام – **الأستاذ :** لعاج إلياس

الوحدة : الخامسة

تطور جملة ميكانيكية

I- مقاربة تاريخية لمكانيك نيوتن:

I-1- لمحة تاريخية:

Aristote
(384-322 avant J.-C.).

أرسطو (322 ق م – 384 ق م):

- تفسير الحركة بوجود القوة وفي نفس الإتجاه و منه السكون يعني إنعدام القوة .
- العلاقة الخطية بين القوة و السرعة .
- عدم إعطاء أهمية للجملة الميكانيكية في الدراسة أو الخلط بين الجمل و القوى المطبقة عليها .
- كل المواد تتكون من خليط بنسب مختلفة لأربعة عناصر أساسية (التراب،الماء،الهواء، النار).
- الأرض هو المركز الهندسي للكون .
- توجد مكانيك فلكية ومكانيك أرضية تختلف عنها .

بطلموس (140 م) :

- تفسير حركة الكواكب بالنسبة للمعلم الأرضي (النظام الجيومركزي) .

Johannes Kepler
(1571-1630)

كوبرنيك (1473 م - 1543 م) :

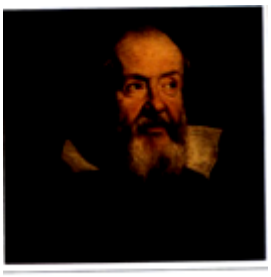
- وضع المعلم المركزي الشمسي (الهيليومركزي)

كبلر (1571 م – 1630 م) :

وضع قوانينه الثلاثة التي كان لها الدور الأساسي في تطوير الميكانيك

- ترسم الكواكب مدارات إهليجية لا دائرية
- سرعتها ليست ثابتة
- النسبة بين مربع دور حركة كوكب و مكعب البعد المتوسط للكوكب عن الشمس يبقى ثابت.

ملاحظة : سنتطرق لاحقا لقوانين كبلر بالتفصيل


Galileo Galilei, dit Galilée.

غاليلي (1564 م – 1642 م) :

- من أتباع نظام كوبرنيك .
- الطابع النسبي للحركة
- واضع قوانين العطالة

نيوتن (1642 م – 1727 م) :

- التوحيد بين الميكانيك الأرضية و المكانيك الفلكية (خاضعة لنفس القوانين)
- القوانين الثلاثة لنيوتن و التي هي أساس المكانيك الكلاسيكي

I-2- بعض المفاهيم الأساسية :

I-2-1- المرجع العطالي :

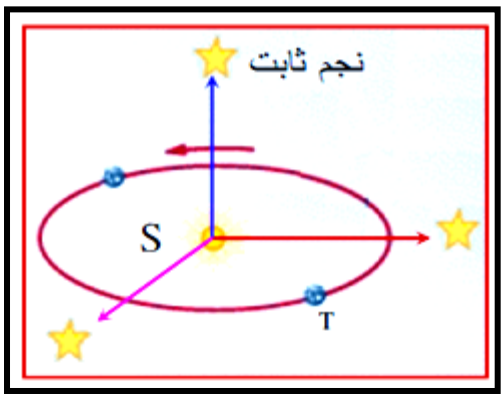
* نقول عن مرجع أنه عطالي إذا تحقق فيه مبدأ العطالة .

* كل مرجع يتحرك بالنسبة لمرجع آخر عطالي بحركة مستقيمة منتظمة فهو مرجع غاليلي

المراجع العملية الغاليلية :

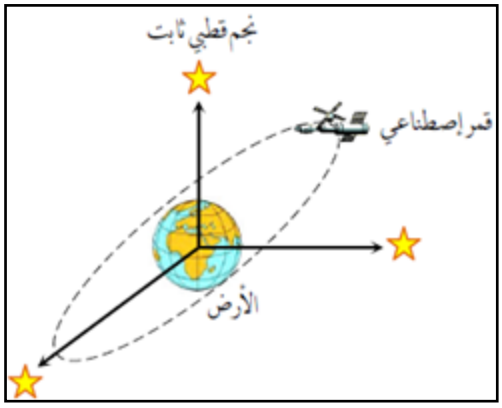
* المرجع الهيليو مركزي (المركزي الشمسي):

- تصلح فيه دراسة حركة الكواكب و المذنبات .....



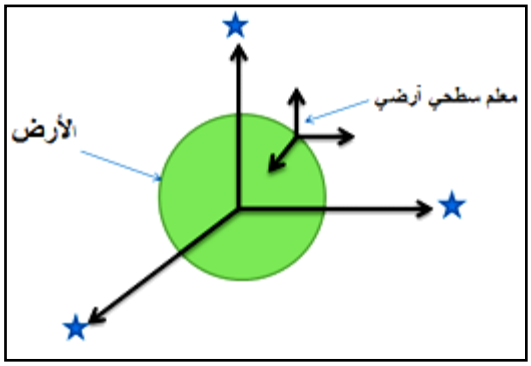
* المرجع الجيو مركزي (المركزي الأرضي) :

- يصلح لدراسة حركة الأقمار الصناعية و قمر الأرض و الحركات الأرضية .



* المرجع السطحي الأرضي :

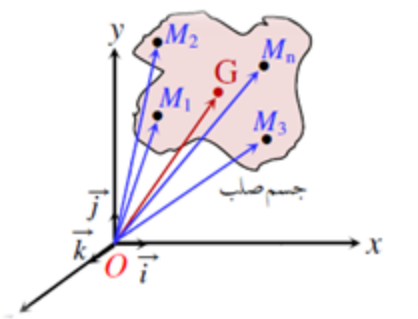
- مرجع مرتبط بسطح الأرض أقل دقة من سابقيه لكنه عطالي بالكفاية .



I-2-2- النقطة المادية:

يمكن إعتبار الجملة أنها نقطة مادية إذا كانت أبعادها مهملة أمام أبعاد المرجع الذي تدرس الحركة بالنسبة إليه .

I-2-3- مركز العطالة :



في الجملة الشبه المعزولة توجد على الأقل نقطة ساكنة أو تتحرك بحركة مستقيمة منتظمة بالنسبة لمعلم عطالي .

في مكانيك نيوتن هذه النقطة تنطبق دائما على مركز الكتل الذي يمثل مركز المسافات المتناسبة لمجموع النقاط المادية المكونة للجملة .

$$\overrightarrow{OG}.\sum_{i=1}^{n} m_i = m_1.\overrightarrow{OM_1} + m_2.\overrightarrow{OM_2} + m_3.\overrightarrow{OM_3} + \ldots + m_n.\overrightarrow{OM_n}$$

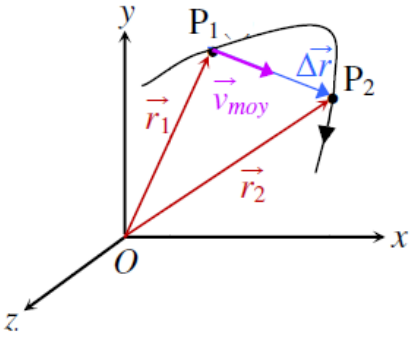
I-3- القوانين الثلاثة لنيوتن و مفهوم التسارع :

I-3-1- مفهوم التسارع:

*** شعاع الموضع :**

يكتب شعاع الموضع $\vec{r}$ في الإحداثيات الكارتيزية (x,y,z) كما يلي: $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$

* إذا إنتقل الجسم من النقطة p_1 شعاع موضعها $\vec{r}_1$ إلى نقطة p_2 شعاع موضعها $\vec{r}_2$ يعبر عن هذا الإنتقال بشعاع الموضع $\overrightarrow{\Delta r}$ حيث :



$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \Delta x\,\vec{i} + \Delta y\,\vec{j} + \Delta z\,\vec{k}$$

*** شعاع السرعة المتوسطة:**

$$\vec{v}_{moy} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

*** شعاع السرعة اللحظية :**

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \vec{v}_{moy} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

أي : $\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}$ ، بحيث : $v_x = \frac{dx}{dt}$ ، $v_y = \frac{dy}{dt}$ ، $v_z = \frac{dz}{dt}$

*** شعاع التسارع :**

*** شعاع التسارع المتوسط:**

نعرف شعاع التسارع المتوسط بين اللحظتين (t_1,t_2) بالعلاقة :

$$\vec{a}_{moy} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

*** شعاع التسارع اللحظي :**

إذا كان Δt صغيرا فإن النسبة $\frac{\overrightarrow{\Delta v_G}}{\Delta t}$ تمثل شعاع التسارع اللحظي لمركز عطالة الجسم :

$$\vec{a}_G = \lim_{\Delta t \to 0} \vec{a}_{moy} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{v}_G}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}_G}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

وحدة التسارع : في جملة الوحدات الدولية وحدة التسارع في : (m/s^{-2})

* إتجاه $\vec{a}_G$ هو نفسه إتجاه : $\overrightarrow{\Delta v_G}$

* في معلم كارتيزي :

$$\vec{a}_G = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k}$$

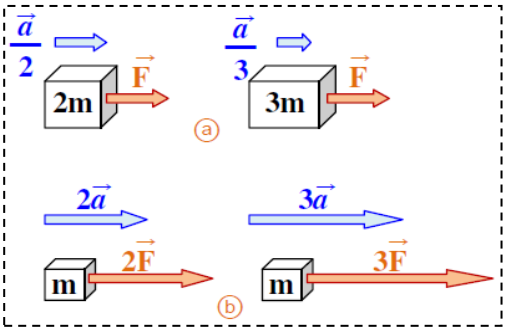
$$a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} \quad ; \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} \quad ; \quad a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

I-2-3- القانون الأول لنيوتن (مبدأ العطالة):

في المعالم العطالية يحافظ الجسم على سكونه أو حركته المستقيمة المنتظمة إذا لم تتدخل قوة لتغيير حالته الحركية .

أي : لما $\sum\overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0}$ فإن : $\overrightarrow{\Delta v_G} = \vec{0}$ ومنه : $\overrightarrow{v_G} = cte$

I-2-3- القانون الثاني لنيوتن (المبدأ الأساسي للتحريك):



حسب القانون الأول لنيوتن فإن القوة المؤثرة على جسم تولد تسارع حيث وجد تجريبيا أن :

* a يتناسب طردا مع F $(a\alpha F)$
* a يتناسب عكسا مع m $(a\alpha 1/m)$
* a يتناسب طردا مع F/m $(a\alpha F/m)$

إذن : $(a\alpha F/m) \Rightarrow (F\alpha m.a)$

$\Rightarrow F = km.a$

حيث : k ثابت التناسب و يساوي في جملة الوحدات الدولية 1

إذن : $F = m.a$ (حيث F تمثل محصل القوي الخارجية المؤثرة على جملة).

نص القانون الثاني :

في معلم غاليلي المجموع الشعاعي للقوى المؤثرة على جملة مادية يساوي في كل لحظة جداء كتلتها في تسارع مركز عطالتها :

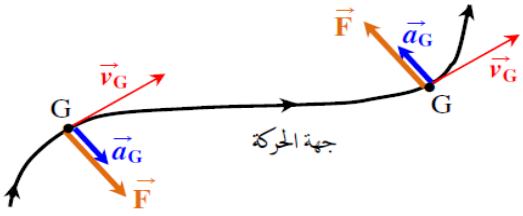
$$\sum \vec{F}_{ext} = m\,\vec{a}_G$$

* تعطى المركبات الثلاثة للمعادلة الشعاعية في المعلم الكارتيزي :

$$\begin{cases} \sum F_X = m.a_x \\ \sum F_y = m.a_y \\ \sum F_z = m.a_z \end{cases}$$

* عموما $\vec{a}_G$ و $\vec{F}$ يكونان نحو جهة تقعر المسار المنحني

* إذا كان $\vec{a}_G$ و $\vec{F}$ منطبقان على المسار فإن المسار يكون مستقيم



I-3-3- القانون الثالث لنيوتن (مبدأ الفعلين المتبادلين):

إذا أثرت جملة A على جملة B بقوة $\vec{F}_{A/B}$ ، فإن الجملة B تؤثر على الجملة A بقوة $\vec{F}_{B/A}$ ، تساويها في الشدة و لها نفس الحامل و تعاكسها في الجهة . نعبر عن ذلك بالعلاقة الشعاعية : $\vec{F}_{A/B} + \vec{F}_{B/A} = \vec{0}$

II- شرح حركة كوكب أو قمر صناعي:

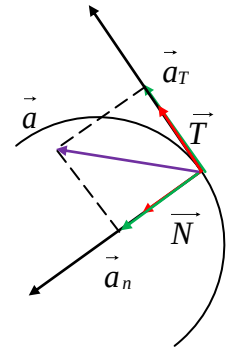
رأينا سابقا في المدخل إلى الوحدة أن نيوتن وحد بين الميكانيك الفلكية و الميكانيك الارضية (خاضعة لنفس القوانين)

II-1- خواص الحركة الدائرية المنتظمة :

* الحركة الدائرية المنتظمة هي حركة مسارها دائري و قيمة سرعتها ثابتة .

* إن تغير شعاع السرعة ناتج عن تغير الإتجاه فقط، بحيث نجد أن $\overrightarrow{\Delta v_G}$ يتجه نحو داخل المسار ، إذن كل من $\vec{a}_G$ و $\vec{F}$ يتجهان نحو المركز نسمي في هذه الحالة بالتسارع الناظمي $\vec{a}_n$

هام :



$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{T} + \frac{v^2}{r}\vec{N}$$

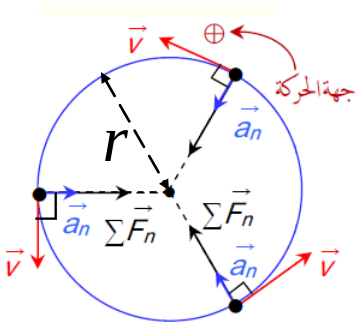
$$V = cte \Rightarrow dv = o$$

$$\Rightarrow \vec{a} = \frac{v^2}{r}\vec{N} = \vec{a}_n$$

II-2- عبارة التسارع الناظمي و دور الحركة :

* تعطي عبارة التسارع الناظمي بالعلاقة :

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

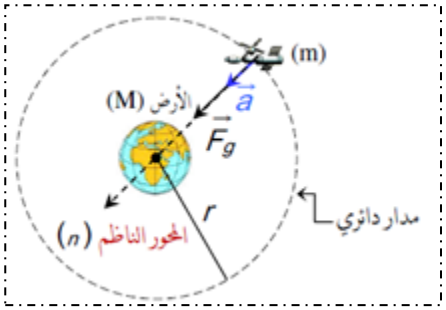


* دور الحركة : هي المدة الزمنية اللازمة لإنجاز دورة واحدة أي قطع مسافة $2\Pi r$ بحيث :

$$T = \frac{2\Pi r}{v} \ldots\ldots(1) \Leftarrow T = \frac{x}{v}$$

II-3- شرح الحركة الدائرية المنتظمة للكواكب و الأقمار الصناعية :

* نختار معلما بحيث يكون أحد محاوره ناظمي كما يوضح الشكل .



باستعمال القانون الثاني لنيوتن :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m.\vec{a}_n \Rightarrow F = m.\frac{v^2}{r}$$

- القوة الخارجية الوحيدة التي تؤثر نحو المركز الدائري هي القوة الجاذبية .

بتطبيق قانون الجذب العام : $F = G.\frac{m.M}{r^2}$

بحيث G **: يسمى ثابت الجذب الكوني** $G = 6,67.10^{-11} N.m^2/kg$

إذن : $G.\frac{m.M}{r^2} = m.\frac{v^2}{r} \Rightarrow v_{orb} = \sqrt{\frac{G.M}{r}}$

من العلاقة (1) : $T = \frac{2\Pi r}{v_{orb}}$ **نحصل على** $T = 2\Pi\sqrt{\frac{r^3}{G.M}}$

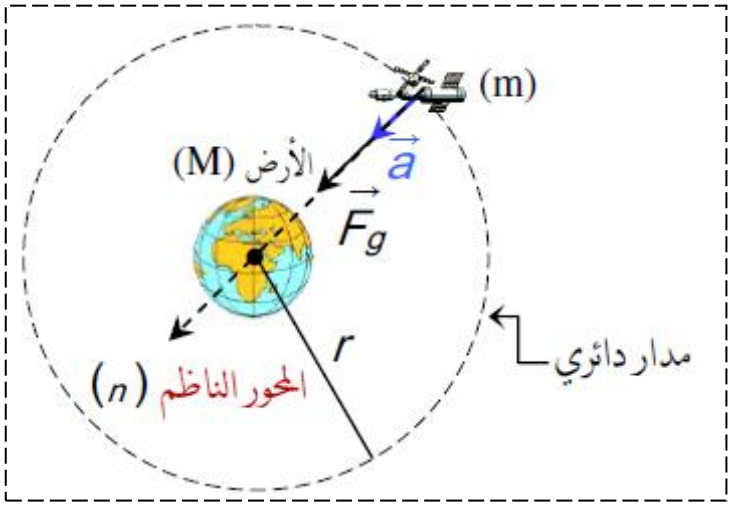
*** في حالة كوكب يدور حول الشمس (s) يكون :**

$$T = 2\Pi\sqrt{\frac{r^3}{G.M_{(s)}}} \quad \text{و} \quad v_{orb} = \sqrt{\frac{G.M_{(s)}}{r}}$$

*** في حالة قمر صناعي يدور حول الأرض (T) يكون :**

$$v_{orb} = \sqrt{\frac{G.M_{(T)}}{r}} \quad \text{و} \quad T = 2\Pi\sqrt{\frac{r^3}{G.M_{(T)}}}$$

حيث : $r = R_T + Z$



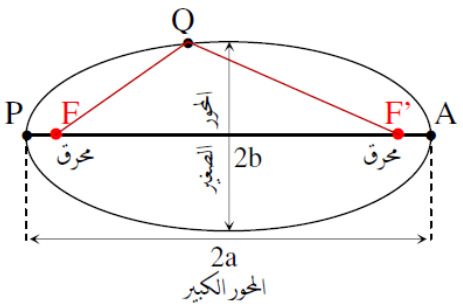
ملاحظة : إن كتلة الكواكب و الأقمار الصناعية لا تؤثر على السرعة المدارية و الدور .

II-4- قوانين كبـــلر:

القانون الأول :

إن الكواكب تتحرك وفق مدارات إهليليجية تمثل الشمس إحدى محرقيها

الإهليج : **هو منحنى يكون فيه مجموع المسافتين من نقطة منه إلى المحرقين ثابتا (قطع ناقص) .**



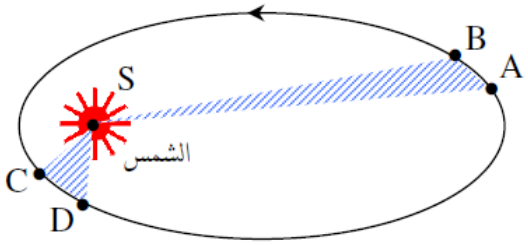
A : نقطة الرأس الأقرب من الشمس

P : نقطة الرأس الأبعد من الشمس

القانون الثاني :

إن المستقيم الرابط بين الشمس و كوكب يمسح مساحات متساوية خلال مجالات زمنية متساوية

ـ إذا كان المجالين الزمنيين للإنتقالين متساويين فإن سرعة الكواكب هي التي تتغير على مداره .



القانون الثالث :

إن مربع الدور لمدار كوكب يتناسب مع مكعب البعد المتوسط للكوكب عن الشمس (الجسم المركزي)

ـ البعد المتوسط يساوي نصف المحور الكبير a

$T^2 = Ka^3$ أي : $K = \frac{T^2}{a^3}$

ـ لدينا من عبارة الدور السابقة : $T = 2\Pi\sqrt{\frac{r^3}{G.M}}$

$$T^2 = 4\Pi^2 \frac{r^3}{G.M} = K.a^3$$

$$\Rightarrow K = \frac{4\Pi^2}{G.M}$$

إذن : متعلق فقط بكتلة الجسم المركزي

*** بالنسبة للأقمار الصناعية و قمر الأرض :**

$$K_T = \frac{4\Pi^2}{G.M_T}$$

*** بالنسبة للكواكب:**

$$\Rightarrow K_S = \frac{4\Pi^2}{G.M_S}$$

استنتاج قانون الجذب العام من قانون كبلر :

نعلم أن القوة المتسببة في الحركة الدائرية المنتظمة هي :

$$F = m.\frac{v^2}{r}$$

$$v = \frac{x}{T} = \frac{2\Pi r}{T} \Rightarrow v^2 = \frac{(2\Pi r)^2}{T^2}$$

$$F = \frac{(2\Pi r)^2}{T^2.r} = \frac{4\Pi^2 r}{T^2} .....(1)$$

$$T = 2\Pi\sqrt{\frac{r^3}{G.M}} \Rightarrow T^2 = \frac{4\Pi^2 r^3}{G.M} .....(2)$$

نعوض 2 في 1 فنجد :

$$F = G\frac{mM}{r^2}$$

III-دراسة حركة السقوط الشاقولي لجسم صلب في الهواء :

III-1- دراسة حركة السقوط الحقيقي لجسم صلب في الهواء :

*** نشاط :**

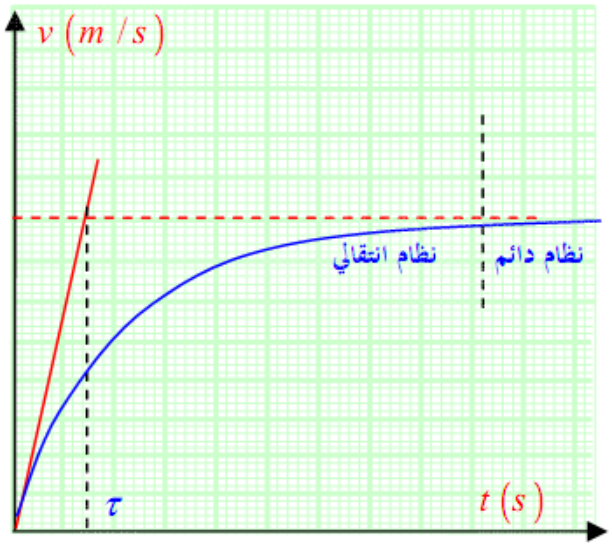
نقوم بتسجيل حركة 4 بالونات مربوطة فيما بينها و مثقلة نوعا ما ، وذلك باستعمال آلة تصوير فيديو (webcam) في مكان ملائم لا توجد فيه تيارات هوائية ، ثم نقوم بمعالجة الشريط بواسطة برنامج إعلام آلي (avistep) مثلا النتائج المتحصل عليها مدونة في الجدول التالي :

t(s)	0	0,08	0,12	0,16	0,20	0,28	0,32	0,58	0,66	0,80	1,00	1,20	1,40
V(m/s)	0	0,35	0,70	0,92	1,08	1,30	1,45	1,86	1,90	1,94	2,05	2,00	2,00

الأسئلة :

1- أرسم البيان : $v = f(t)$

2- ما هو شكل البيان المحصل عليه ؟



*** البيان يبين وجود نظامين :**

- ✓ **نظام إنتقالي : تزداد فيه السرعة بشكل سريع في البداية ثم أقل فأقل بمرور الزمن .**
- ✓ **نظام دائم : عندما تبلغ السرعة قيمة حدية** (v_l) **تبقى ثابتة و تصبح حركة البالونات مستقيمة منتظمة .**

*** الزمن المميز** τ **: الزمن المميز للسقوط و هو الزمن اللازم للمرور من نظام لآخر** $(\tau = 0,4s)$.

III-1-1- القوى المؤثرة على الجسم :

أ – قوة الثقل :

قوة شاقولية متجهة نحو الأسفل (مركز الأرض) تتناسب طردا مع الكتلة .

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

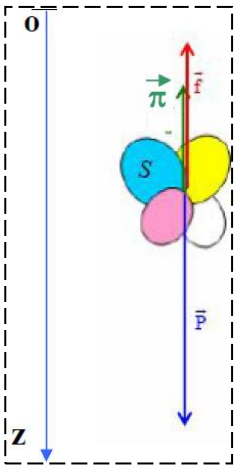
ب – دافعة أرخميدس :

كل جسم مغمور في مائع (غاز أو سائل) يخضع لقوة دفع شاقولية متجهة نحو الأعلى قيمتها تساوي ثقل المائع المزاح .

$$\vec{\Pi} = \rho V.\vec{g}$$

ρ **: الكتلة الحجمية للمائع** (kg/m^3)

V **: حجم المائع المزاح** (m^3)



ج – قوة الإحتكاك :

تكون معاكسة لجهة الحركة قيمتها تزداد بازدياد سرعة الجسم .

*** من أجل السرعات الصغيرة :** $f = k v$

*** من أجل السرعات الكبيرة :** $f = k v^2$

k **: ثابت يتعلق بطبيعة المائع و شكل الجسم .**

III-1-2- المعادلة التفاضلية لحركة السقوط الشاقولي :

* *الجملة المدروسة* : **البالونات المثقلة**

* *المرجع* : **المرجع الأرضي الذي نعتبره غاليليا**

* *تمثيل القوى* : **الشكل المقابل**

بتطبيق القانون الثاني لنيوتن :