وزارة التربية

التوجيه الفني العام للعلوم

مذكرات الوظائف الإشرافية

موجه فنى ثانوي- فيزياء

الجانب الفنى

العام الدراسي : 2022-2021 م

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف المرسلين ، وبعد

يتدخل علم الفيزياء في جميع نشاطات حياتنا اليومية من مأكل ومشرب وملبس .. ومن هنا فإن دراسة الفيزياء بفهم وإدراك وبالأخص كيفية تطبيقها وتوظيفها في حياتنا اليومية من الأهمية بمكان في عالمنا المعاصر .

وهذه المذكرة التي بين أيديكم تحوى موضوعات من المادة العلمية فى مجال الفيزياء واللازمة لاجتياز اختبار الترقي لوظيفة (موجه فني) ونأمل ان نكون قد ساهمنا فى تحقيق الهدف المرجو. وتشمل الموضوعات التالية :

م	الفصل	الموضوع
١	الأول	ميكانيكا الدوران
٢	الثاني	ميكانيكا الموائع
٣	الثالث	الديناميكا الحرارية
٤	الرابع	الالكترونات
٥	الخامس	النووية
٦	السادس	ميكانيكا الكم

الفصل الأول

ديناميكا الدوران: (Rotational Dynamics)

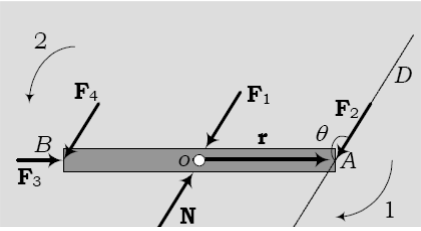
التحريك الدوراني

(Rotational Dynamics)

تمهيد :

درسنا في الفصل السابق كيف تدور الأجسام وحددنا متغيرات حركتها من موضع وسرعة وتسارع زاوي دون تحري السبب الذي يجعل الأجسام تدور أصلا. وكما فعلنا في الحركة الانتقالية، فإننا ندرس في هذا الفصل سبب دوران الأجسام. فنعرف متغيرات التحريك الدوراني من عزم (سبب التحريك) وقصور ذاتي (ممانعة التحريك)، ونربط بينهما وبين التسارع الزاوي)دليل التحريك) لنستخرج قوانين التحريك الدوراني. كما نعرف الشغل والطاقة في الحركة الدورانية ومفهوم الزخم الزاوي ونكتب الشكل العام لقانون نيوتن الثاني. ونستخرج مبدأ حفظ الزخم الزاوي وندرس بعض تطبيقاته. ونعمم أخيرا النتائج التي حصلنا عليها لمنظومة جسيمات وأجسام صلبة وندرس شروط الاتزان العام للأجسام.

١–العزم (Torque)



لمعرفة سبب دوران الأجسام نجري تجربة بسيطة بتثبيت مسطرة من منتصفها بالحائط، كما هو موضح بالشكل (٩–١)، بحيث يمكنها الدوران حول نقطة التثبيت(o)
أو بالأحرى حول محور مار منها عموديا على الحائط.

فإذا أثرنا على المسطرة بقوةF_1 تمر من نقطة التثبيت، فإننا نلاحظ أنها تبقى ساكنة تماما دون أن تنتقل أو تدور على الإطلاق، مما يعني أن محصلة القوى المؤثرة عليها تساوي الصفر. أي أن رد فعل مسمار التثبيت N يساوي ويعاكس القوة الخارجيةF_1 فتبقى المسطرة ساكنة ولاتتحرك.

الآن: لو طبقنا القوة F_2فقط عند النقطة A لوجدنا أن المسطرة لاتنتقل ككل من مكانها، بمعنى أن رد فعل المسمار N لايزال مساويا ومعاكسا لـF_2 ، فتبقى محصلة القوى مساوية للصفر، إلا أن المسطرة تدور في هذه الحالة حول المحور المار من نقطة التثبيت .o أخيرا نطبق القوةF_3 فقط على المسطرة عند النقطة B فنجد أن تأثير القوة يختفي مرة أخرى وتبقى المسطرة ساكنة أيضا مثل الحالة الأولى.

مما لاشك فيه إذا أن هناك تأثير واضح للطريقة التي نطبق بها القوة بتغيير نقطة تطبيقها واتجاهها بالنسبة لمحور الدوران. لتحديد هذا التأثير نعرف المصطلحات التالية:

(أ) محور (أو نقطة) دوران الجسم :(axis of rotation) هو المحور (أو النقطة) الذي يدور حوله الجسم. ففي مثالنا هذا فإن محور الدوران يكون عموديا على المسطرة ويمر من النقطة.o

(ب) خط تأثير القوة :(force line of action) الخط المستقيم الذي تحمل عليه القوة، كالخط D في الشكل (٩–١). ولايتغير تأثير القوة لو زلقناها على هذا الخط طالما لها نفس القيمة والاتجاه.

(ج) نقطة تأثير القوة: هي نقطة تقاطع خط تأثيرها مع الجسم، كالنقطة A في الشكل (١–٩).

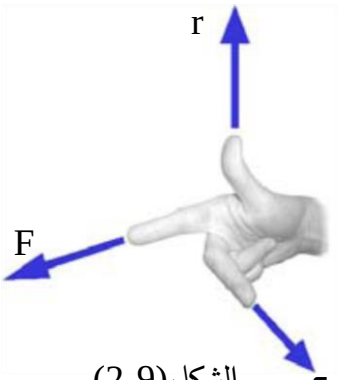
(د) ذراع القوة :(lever arm) هو المتجه الواصل من نقطة دوران الجسم إلى نقطة تأثير القوة، ويعطى بالمتجه r في الشكل (١–٩)

نعود الآن للشكل (٩–١) فنلاحظ أن القوةF_1 تمر من نقطة الدوران فليس لها ذراع. أما القوةF_3 فإن الزاوية بين ذراعها وخط تأثيرها تساوي الصفر أو ١٨٠°، وفي كلتا الحالتين فإن المسطرة لاتدور.

بينما نلاحظ أن للقوةF_2 ذراعا لايوازي خط تأثيرها ولايمر من نقطة الدوران وتدورالمسطرة في هذه الحالة .نستنتج مما تقدم انه حتى يدور جسم يجب أن تؤثر عليه قوة F لها ذراع r لايوازي خط تأثيرها أي يجب أن تكون الزاوية θ بين خط التأثير وذراع القوة لاتساوي صفر أو١٨٠°. ولاتتحقق هذه الشروط إلا إذا كانت الكمية(rFsinθ)غير معدومة، لذا نطلق عليها اسم عزم القوة (torque) ونرمز لها بـτ ، أي أن($\tau = rF\sin\theta$) (1-9) :حيث θ الزاوية بين r و F

والعزم كمية متجهة حيث يمكن التوصل لهذه النتيجة بملاحظ أن القوةF_2 في الشكل (١–٩) تحاول تدوير المسطرة باتجاه السهم ١، بينما تحاولF_4 تدويرها باتجاه السهم ٢ مع أن القوتين بنفس الاتجاه ولهما نفس الذراع. لذا نستنتج أن للعزم اتجاه محدد نجده من العلاقة (٩–١) التي تمثل الضرب المتجه لـ r و F، كما درسنا في الفصل الأول. لذا نكتب العزم بالشكل:

$$\tau = r \times F \quad (2\text{-}9)$$

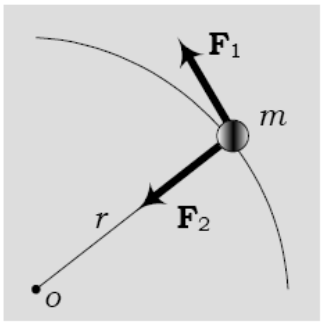


الشكل(2-9)

أي أن اتجاه العزم يتحدد بقاعدة اليد اليمنى حيث يتجه الإبهام باتجاه r والسبابة باتجاه F بينما تتجه بقية الأصابع العمودية على الكف باتجاه العزمτ ، أي عموديا على المستوي الحاوي على كل من r و F، كما في الشكل (٩–٢). ويمكن معرفة اتجاه العزم بسهولة بتصور برغي يدور مع الجسم إذ يتجه العزم باتجاه حركة البرغي وليس باتجاه دورانه. فإذا تصورنا برغيا يدور مع المسطرة تحت تأثيرF_1 فقط في الشكل (٩–١)، أي مع عقارب الساعة (جهة الدوران) فإنه يتحرك داخل الورقة (جهة العزم). بينما لو دار البرغي مع دوران المسطرة تحت تأثيرF_4 فقط، أي بعكس عقارب الساعة (جهة الدوران) لتحرك خارج الورقة (جهة العزم). فاتجاه العزم ليس اتجاه الدوران كما يعتقد البعض. ونلاحظ أن كون قوتين متساويتين بالقيمة ومتعاكستين بالاتجاه لايعني بالضرورة أن محصلة عزميهما بالنسبة لمحور ما تساوي الصفر إلا إذا كانتا محمولتين على نفس الخط. فلو عكسنا اتجاهF_2في الشكل (٩–١) لرأينا أن محصلتها وF_4 تساوي الصفر إلا أن المسطرة ستدور بالتأكيد لأن العزم الكلي لهما لايساوي الصفر في هذه الحالة $\tau = F\ r$ (2-9). الشكل ويجدر التنويه إلى أن قيمة واتجاه العزم يعتمدان على محور (أو نقطة) دوران الجسم، لأن ذراع القوة يعتمد عليه مما ينعكس على قيمة و/أو اتجاه العزم. لذا من المهم في مسائل التحريك الدوراني تحديد محور الدوران في كل حالة، وسنرى لاحقا أهمية هذا على ممانعة الجسم للدوران .وتعطى وحدة العزم في النظام الدولي بـ m.N. ومع أنها تماثل وحدة الشغل N.m إلا أنها لاتقدر بجول لأنها ناتجة عن ضرب متجه للمسافة والقوة في هذه الحالة، بينما ينتج الشغل عن الضرب العددي لهما. ولذا تبقى وحدة العزم m.N فقط

مثال-1 .

ماعزم كل منF_1 وF_2 المؤثرتين على m بالنسبة لنقطة الدوران في الشكل (٩–٣)؟



الشكل (3-9)

الحل:

سنستخدم هذا المثل لكتابة نتائج عامة يمكن اعتمادها في مسائل لاحقة. فنكتب عزم القوة المماسيةF_1 بالشكل

$\tau_1 = r_1 F_1 \sin\theta_1 = rF_1 \sin 90° = r F_1$

ويتجه هذا العزم حسب قاعدة اليد اليمنى خارج الورقة مثل برغي يدور مع الجسم.

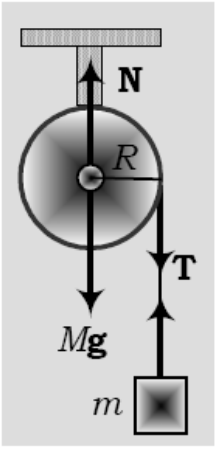
اما عزم القوة القطرية F_2 فهو:

$\tau_2 = r_2 F_2 \sin\theta_2 = rF_2 \sin 180° = 0$

وهذه نتيجة مهمة تدل على أن عزم أي قوة يتقاطع خط تأثيرها مع محور الدوران يساوي الصفر

مثال -2 .

يعلق جسم m بنهاية خيط يمر حول بكرة خشنة كتلتها M ونصف قطرها R مثبتة بحيث يمكنها الدوران حول محور أفقي يمر من مركزها، كما في الشكل (٩-٤). ماعزم القوى المؤثرة على البكرة؟



الشكل (4-9)

الحل: من الواضح أن هناك ثلاث قوى مؤثرة على البكرة هي وزنها Mg ورد فعل نقطة تثبيتها N وشد الخيط T الذي يتعلق به الجسم.وبما أن Mg و Nتمران من نقطة دوران البكرة o لذا يكون عزم كل منهما معدوما،ويبقى عزم الشد الذي نكتبه من العلاقة (٩-٢) مباشرة

$\tau = RT \sin\theta = RT \sin 90° = RT$

٢ :قانون نيوتن الأول في التحريك الدوراني

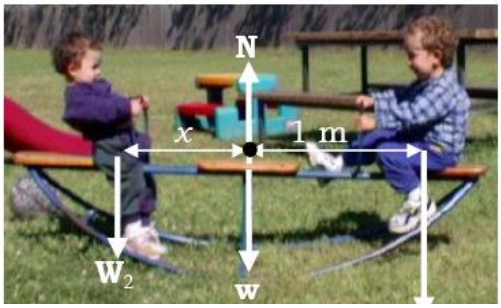
وجدنا في الفقرة السابقة أنه حتى يدور جسم يجب أن يكون هناك عزم قوة مؤثرة عليه. فإن كانت محصلة العزوم مساوية للصفر فإنه لايدور بتاتا. ونعمم هذه النتيجة بالقول:

يبقى الجسم على حالته التحركية الدورانية (أي سرعة زاوية ثابتة أو مساوية للصفر) بالنسبة لمحور ما إذا كانت محصلة العزوم بالنسبة لذلك المحور مساوية للصفر. ونطلق على هذه النتيجة اسم قانون نيوتن الأول في التحريك الدوراني، ونكتبه بالشكل

$\tau_T = 0 \Rightarrow \omega =$ ثابت (3-9)ونستفيد من القانون الأول في التحريك الدوراني لدراسة الاتزان الدوراني، كما في المثل التالي

مثال.

يجلس طفل كتلته ٣٥ kg على طرف لوح طوله ٢ m يرتكز عند منتصفه. أين يجب أن يجلس أخاه الآخر والذي كتلته ٤٠ kg حتى يبقى اللوح أفقيا، كما في الشكل (٩-٥)؟



الحل: من الواضح أنه حتى يبقى اللوح أفقيا يجب أن

تكون محصلة العزوم عليه بالنسبة لمحور الدوران المار من نقطة الارتكاز مساوية للصفر. وبالطبع فليس لوزن اللوح أو رد فعل نقطة الارتكاز عزم لأنهما يمران من محور الدوران. ونجد قيمة عزم وزن الطفل الأول بكتابة:

$$\tau_1 = w_1 r_1 \sin\theta_1 = m_1 g (½)$$

ويتجه داخل الصفحة (تأكد من ذلك). بينما قيمة عزم وزن الأخ الآخر فيساوي:

$$\tau_2 = w_2 r_2 \sin\theta_2 = m_2 g x$$

ويتجه خارج الصفحة. فحتى يبقى اللوح أفقيا يجب أن يكون العزمان متساويين بالقيمة. ونكتب :

$$m_1 g (½)\ x = \rightarrow = m_2 g x ½ ٠,٨٧٥ \frac{m_1}{m_2} = m$$

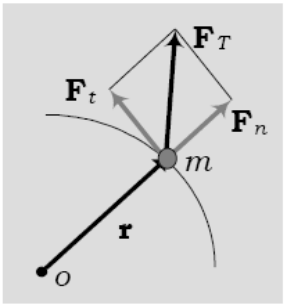
قانون نيوتن الثاني في التحريك الدوراني:

نستنتج مماتقدم أنه إذا كانت محصلة العزوم المؤثرة على جسم مساوية للصفر فسيبقى على حالته الحركية الدورانية، أي تبقى سرعته الزاوية ثابتة دوما. ولذا من البديهي أن نقول إنه إذا كانت محصلة العزوم لاتساوي الصفر فستتغير السرعة الزاوية ويكتسب الجسم تسارعا زاويا. وسنربط في هذه الفقرة بين محصلة العزوم (سبب التحريك) والتسارع الزاوي (دليل التحريك)

لنفترض إذا أن لدينا جسما m يخضع لمحصلة قوى F_t ويدور حول محور يمر من النقطة o تبعد عنه مسافة r كبيرة بالمقارنة مع أبعاده بحيث يمكن اعتباره جسما نقطيا، كما هو موضح في الشكل(٦-٩).

عندئذ نكتب عزم F_t بالنسبة لـ o (أو بالأصح بالنسبة لمحور الدوران المار من o عموديا على الورقة)، على النحو:

$$\tau_r = r \times F_r = r \times (F_t + F_n)$$



الشكل (6-9)

حيث F_t مركبة محصلة القوى بالاتجاه المماسي لحركة الجسم، و F_n مركبتها العمودية على هذا المسار. ونلاحظ أن خط قوة F_n يمر من محور الدوران، أي ليس لها عزم، كما أن الزاوية بين F_t و r تساوي ٩٠°. لذا يصير عزم محصلة القوى :

$$\tau_r = r \times F_T = rF_t \Rightarrow \tau_r = rF_t$$

وبحسب قانون نيوتن الثاني في التحريك الانتقالي فإن $F_t = ma$ ، حيث a التسارع المماسي الخطي الذي يرتبط بالتسارع الزاوي α بالعلاقة $a = r\alpha$. فإذا عوضنا عن F_t و a في علاقة العزم نجد:

$$\tau_T = (mr^2)\alpha \qquad (4\text{-}9)$$

$$\boxed{\tau_T = I\alpha} \qquad (5\text{-}9)$$

$$\boxed{\alpha = \frac{\tau_T}{I}} \qquad (6\text{-}9)$$

$$I = mr^2 \qquad (7\text{-}9)$$

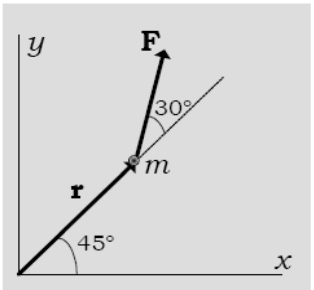
حيث وضعنا (7-9)ويطلق عليها اسم عزم القصور الذاتي أو (عزم العطالة (moment of inertia) (للجسم النقطي .بالنسبة لمحور الدوران المار من o. ووحدته، كما نلاحظ من العلاقة السابقة، هي $kg.m^2$ وتعطي العلاقة (٦-٩) قانون نيوتن الثاني في التحريك الدوراني والذي نصيغه على النحو:

يتناسب التسارع الزاوي لجسم يتحرك دورانيا حول محور طرديا مع محصلة العزوم المؤثرة عليه بالنسبة لهذا المحور وعكسيا مع عزم قصوره الذاتي بالنسبة لنفس المحور.

ونلاحظ منهذه النتيجة التناظر الواضح بين التحريك الانتقالي والتحريك الدوراني، وسنرى بعد قليل كيف نستفيد منه لكتابة علاقات الطاقة والزخم الدورانيين مباشرة .

مثال

يتحرك جسيم نقطي كتلته (2 kg) في المستوي xy بحيث يعطى موضعه والقوة المؤثرة عليه في لحظة معينة بالمتجهين الموضحين بالشكل (٧-٩) حيث r =2 m و F= 2 N. ماقيمة واتجاه العزم المؤثر على الجسيم بالنسبة لمحور يمر من المبدأ عموديا على الورقة، وماتسارعه الزاوي؟



الشكل (7-9)

الحل:

r x y F m 30° 45°: نستخدم العلاقة (٩-١) ونكتب العزم على النحو:

$\tau = rF\sin\theta = (2m)(2N)\sin 30°$

أي أن: $\tau = 2m.N$

فقيمة العزم 2m.N ويمكن إيجاد اتجاهه من قاعدة اليد اليمنى فنلاحظ أنه خارج الصفحة، أي باتجاه المحور oz. وهذا مماثل لحركة برغي يدور مع الجسم (تحقق من ذلك).

الآن: نجد التسارع الزاوي من قانون التحريك الدوراني فنكتب مباشرة:

$$\alpha = \frac{\tau}{I} = \frac{\tau}{mr^2} = 0.17\ rad/s^2$$

عزم القصور الذاتي:

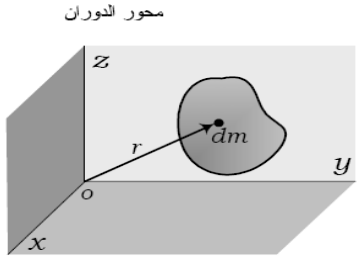
عرفنا عزم القصور الذاتي (أو عزم العطالة) لجسيم نقطي كتلته m بالنسبة لمحور يبعد عنه مسافة r بالعلاقة

$I = m r^2$

وهذه العلاقة صحيحة فقط لجسيم ذو أبعاد صغيرة بالمقارنة مع بعده عن محور الدوران. أما لو كان لدينا منظومة مؤلفة من عدد كبير من الجسيمات أو جسم صلب كبير فإننا نجد عزم القصور الذاتي الكلي بتجزئة الجسم لأجزاء صغيرة وجمع عزوم قصور هذه الأجزاء، أي

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \cdots + m_n r_n^2 = \sum_{i=1}^{N} m_i r_i^2 \qquad (8\text{-}9)$$

حيث r_i بعد الجسيم m_i عن محور الدوران. وإذا صارت المنظومة جسما صلبا فإننا نجزئه لأجزاء عنصرية Δm_i يحتل كل منها حجما صغيرا يمكن تحديد موضعه في الجسم الصلب بالنسبة لمحور الدوران بالمتجه r_i، كما في الشكل (٨-٩). إلا أن عدد هذه الأجزاء العنصرية يصير كبيرا جدا بحيث نكتب:



(9-9)

$$I = \sum_{n\to\infty} \Delta m_i r_i^2$$

ونجعل العلاقة السابقة تكاملا عندما يصير الجزء العنصري Δm_i صغير لدرجة بحيث نكتبه dm يتحدد موضعه بالمتجه r، ونكتب:

$$I = \int r^2 dm$$

حيث يمتد التكامل على الجسم الصلب كله.

ومما لاشك فيه أنحساب عزم القصور الذاتي يحتاج لمعرفة وافية بطرق التكامل التي يمكن أن تكون معقدة، ولذلك نكتفي في هذا بإعطاء عزوم القصور الذاتية للأجسام التي ترد في التمارين والمسائل، كما يمكن البرهان أنه يمكن كتابة عزم القصور الذاتي لأي جسم حول محور ثابت في الفضاء oz بالشكل :

$$I_z = Mk_z^2 \qquad (10\text{-}9)$$

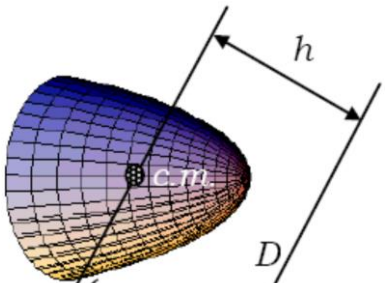
حيث Mكتلة الجسم وkzطول يدعى نصف قطر الدوران (radius of gyration) ويمثل البعد عن المحور المفروض والذي لو كان كل الجسم متجمعا عنده كنقطة صغيرة لكان عزم قصوره الذاتي هو I_z.ونعطي في الجدول قيمk_zلبعض الأجسام الصلبة الشائعة بالنسبة لبعض المحاور التي يمكن أن تدور حولها.

ويمكن في حالات معينة معرفة عزم القصور الذاتي لجسم صلب بالنسبة لمحور ما إذا عرفنا عزم قصوره الذاتي بالنسبة لمحور أو محاور أخرى. ونذكر فيما يلي نظريتين مفيدتين لحسابه:

١-نظريةالمحاور المتوازية(Parallel Axes Theorem):

عزم القصور الذاتي لجسم حول محور ما يساوي عزم قصوره الذاتي حول محور مار من مركز كتلته وموازٍ للمحور الأول مضافا إليه حاصل ضرب كتلة الجسم بمربع البعد بين المحورين.

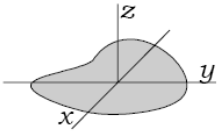
$$I_D = I_{c.m.} + Mh^2 \qquad (11\text{-}9)$$



الشكل(10-9)

.فإذا كان المحور C يمر من مركز كتلة الجسم ويوازي المحور D على بعدh ، كما في الشكل (١٠-٩)، عندئذ نكتب عزم القصور الذاتي للجسم بالنسبة للمحور D على النحو(١١-٩)

حيث $I_{c.m}$عزم القصور الذاتي للجسم بالنسبة للمحور C و M كتلة الجسم



الشكل(11-9)

٢ – نظرية المحاور المتعامدة(Normal Axes Theorem): –

عزم القصور الذاتي لجسم صلب مستو بالنسبة لمحور عمودي على مستويه يساوي مجموع عزمي قصوره الذاتي بالنسبة لمحورين متعامدين واقعين في نفس المستوي ومتقاطعين عند نقطة مرور المحور المفروض.

.فإذا كان المحور oz عموديا على الجسم الصلب المستوي الموضح بالشكل (١١–٩) عندئذ يكون عزم القصور الذاتي للجسم بالنسبة له مساويا إلى:

$$I_z = I_x + I_y$$

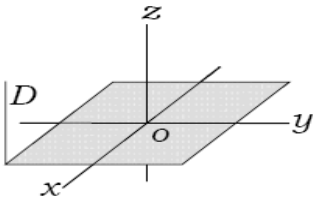
(١٢–٩)

حيث I_x و I_y عزمي القصور الذاتي للجسم بالنسبة للمحورين ox و oy المتعامدين الموجودين في مستويه والمتقاطعين عند النقطة o التي يمر oz منها.

مثال

ماعزم القصور الذاتي لصفيحة مربعة الشكل كتلتها ٢ kg وطول ضلعها ٠,٥m حول محور عمودي عليها ويمر من إحدى زواياها، كما في الشكل (١٢-٩)، إذا كان عزم قصورها الذاتي حول قطر فيها يساوي ١,٥ $kg.m^2$؟

الحل:



الشكل(12-9)

سنستخدم هذا المثل لتطبيق نظرية المحاور المتعامدة أولا ثم نظرية المحاور المتوازية. فنلاحظ من الشكل (١٢-٩) أن عزم القصور الذاتي للصفيحة حول المحور oz العمودي عليها والمار من مركزها يساوي بحسب نظرية المحاور،المتعامدة

$I_z = I_x + I_y$. **لكن** $I_x = I_y$.

بسبب تناظر المربع بالنسبة لنصفي قطريه لذلك نكتب $I_z = 2\, I_x = 2\ (1.5\ kg.m^2)$

وبحسب نظرية المحاور المتوازية يكون=$3kg.m^2$

$$I_D = I_z + Mh^2 = I_z + M(a/\sqrt{2})^2$$

حيث M **كتلة الصفيحة و** a **طول ضلعها و** $h = a/\sqrt{2}$ **البعد بين المحور oz والمحور D. وبتعويض هذه القيم نجد** $I_D = 3.71\ kg.m^2$:

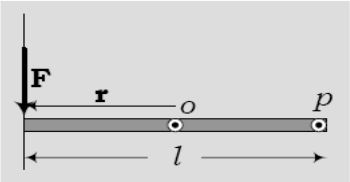
المعنى الفيزيائي لعزم القصور الذاتي

نلاحظ من قانون نيوتن الثاني في التحريك الانتقالي F=ma ، ومن نظيره في التحريك الدوراني τ=Iα، أن هناك تشابه واضح بينهما. ففي الحركة الانتقالية نحتاج لقوة (سبب التحريك) لتغيير الحالة التحريكية للجسم وإكسابه تسارعا (دليل التحريك) فيمانع الجسم هذا التغيير بحسب كتلته)ممانعة الحركة). أما في التحريك الدوراني فإن عزم القوة هو سبب التحريك والتسارع الزاوي دليلها بينما يمثل عزم القصور الذاتي ممانعتها. وسبب اهتمامنا بهذا التناظر هو أن نتوصل لفهم المعنى الفيزيائي لعزم القصور الذاتي. فإذا كانت الكتلة هي ممانعة الجسم لأي تغيير في حالته التحريكية الانتقالية، فإن عزم القصور الذاتي هو ممانعة الجسم لأي تغيير في حالته التحريكية الدورانية. إلا أن هناك فرق أساس بين الكميتين، ففي حين تبقى كتلة الجسم ثابتة كيفما تحرك، بمعنى أن ممانعته لاتتأثر بأي تغيير في حالته التحريكية الانتقالية، إلا أن عزم القصور الذاتي يعتمد على طريقة دوران الجسم والمحور الذي يدور حوله. فيمكن لجسم أن يدور حول محور أول تحت تأثير عزم ما بسهولة، إلا أنه قد لايدور بتاتا تحت تأثير نفس العزم حول محور آخر بسبب اختلاف عزم القصور الذاتي له

بالنسبة لكل واحد منهما. ولذلك يجب تحديد عزم القصور الذاتي للجسم فيكل مسألة بالنسبة للمحور الذي يدور حوله

مثال

ما التسارع الزاوي لمسطرة طولها ١m وكتلتها ٠,٢kg عندما تؤثر عليها قوة ٥ N عمودية عليها عند طرفها إذا درات (أ)حول محور يمر من مركزها o (ب) حول محور يمر من طرفها الآخر p ، كما هو موضح بالشكل (٩-٩)؟



الشكل(9-9)

الحل: لحساب التسارع الزاوي نكتب قانون نيوتن الثاني في الشكل(٩-٩)

التحريك الدوراني $\tau_T = I\alpha$:

ففي الحالة (أ) نحسب عزم القوة بالنسبة لمحور الدوران المار من مركز المسطرة ونكتب

$$\tau = rF\sin\theta = (0.5m)(5N)\sin90° = 2.5m.N$$

كما نجد عزم القصور الذاتي من الجدول(١-٩)

$$I = \frac{1}{12}ml^2 = \frac{1}{12}(0.3kg)(1kg)^2 = 0.025kg.m^2$$

ومن ثم نحسب التسارع الزاوي

$$\alpha = \frac{\tau}{I} = \frac{2.5\ m.N}{0.025\ kg.m^2} = 100\ rad/s^2$$

أما في الحالة (ب) فإن عزم القوة يصير

$$\tau = rF\sin\theta = (1\,\mathrm{m})(5\,\mathrm{N})\sin90° = 5\,\mathrm{m.N}$$

بينما يتغير عزم القصور الذاتي حول محور يمر من طرف المسطرة ونجده من الجدول (٩-١)

$$I = \tfrac{1}{3}ml^2 = \tfrac{1}{3}(0.3\,\mathrm{kg})(1\,\mathrm{kg})^2 = 0.1\ \mathrm{kg.m^2}$$

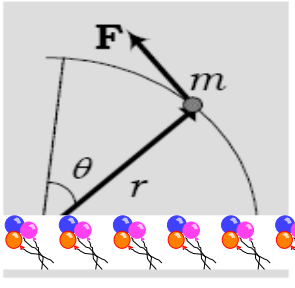
ويصير التسارع في هذه الحالة

$$\alpha = \frac{\tau}{I} = \frac{5\,\mathrm{m.N}}{0.1\,\mathrm{kg.m^2}} = 50\,\mathrm{rad/s^2}$$

ويبين هذا المثل أثر تغيير محور الدوران على عزم القصور الذاتي ومتغيرات التحريك كلها

الشغل والطاقة الحركية في التحريك الدوراني:

لنفترض أن لدينا جسيما نقطيا m يتحرك بشكل دوراني في مسار دائري نصف قطره r تحت تأثير عزم قوة F حول محور مار من



الشكل (13-9)

المركز o ، كما في الشكل (١٣-٩). ولنحسب شغل هذه القوة عندما يدور الجسم زاوية θ قاطعا خلال ذلك مسافة خطية s على مساره الدائري، فنكتب:

$$W = \int F ds$$

ولكن

$$s = r\theta \;\Rightarrow\; ds = rd\theta$$

فيصير الشغل:

$$W = \int F r d\theta$$

وحيث أن عزم القوة هو rF نستنتج أن :

$$W = \int \tau \, d\,\theta \qquad (13\text{-}9)$$

وإذا كان العزم المؤثر على الجسيم ثابت عندئذ يصير الشغل:

$W = \tau\theta$ (14-9) :وهذا مماثل تماما لشغل قوة ثابتة عندما ينتقل جسم تحت تأثيرها مسافة خطية (W=Fs) s. فالشغل في كلا الحالتين هو سبب التحريك مضروبا بالإنتقال .

ويمكن حساب الطاقة الحركية الدورانية أيضا بسهولة بكتابة.

$$K = \tfrac{1}{2} m v^2$$

فنعوض السرعة الخطية بدلالة v السرعة الزاوية $v = r\,\omega$:فنجد

$$K = \tfrac{1}{2} m v^2 = \tfrac{1}{2} m r^2 \omega^2 = \tfrac{1}{2} (m r^2) \omega^2$$

ولكن $I = m\,r^2$ هو عزم القصور الذاتي للجسيم النقطي بالنسبة لمحور الدوران، لذا تؤول الطاقة الحركية إلى :

$$K = \tfrac{1}{2} I \omega^2 \qquad (15\text{-}9)$$

ومرة أخرى نرى التناظر بين التحريك الانتقالي والدوراني، فالطاقة الحركية هي نصف حاصل ضرب الممانعة بمربع السرعة في كلا الحالتين

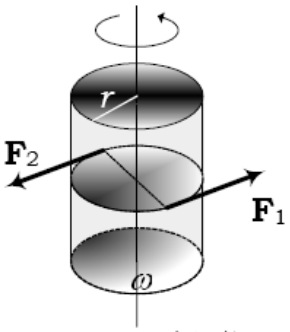
.مثال

ما الطاقة الحركية للأسطوانة الموضحة بالشكل (١٤-٩)

بعد ثانيتين من بدء حركتها من السكون تحت تاثير

القوتين F_1 وF_2 إذا كانت $F_1=5\ N$ و $F_2=7\ N$ و $r=0.3\ m$

وكان عزم القصور الذاتي للأسطوانة حول محور الدوران $0,2 kg.m^2$



الشكل (14-9)

الحل:

نلاحظ من الشكل (٩ -١٤) أن عزم كل قوة يتجه للأعلى (كبرغي يدور مع الاسطوانة)، أي أن العزم الكلي هو

$$\tau_T = rF_1 \sin 90° + rF_2 \sin 90° = (0.3\,\text{m})(12\,\text{N}) = 3.6\,\text{m.N}$$

ثم نجد التسارع الزاوي من قانون التحريك الدوراني:

$$\alpha = \frac{\tau_T}{I} = \frac{3.6\,\text{m.N}}{0.2\,\text{kg.m}^2} = 18\,\text{rad/s}^2$$

وبما أن التسارع الزاوي ثابت لذا نحسب السرعة الزاوية بعد ثانيتين من علاقات الحركة الدورانية بتسارع ثابت، أي

$$\omega = \omega_0 + \alpha t = 0 + (18\,\text{rad/s}^2)(2\,\text{s}) = 36\ \text{rad/s}$$

ومن ثم نحسب الطاقة الحركية الدورانية بكتابة:

$$K = \tfrac{1}{2} I\omega^2 = \tfrac{1}{2}(0.2\ \text{kg.m}^2)(36\ \text{rad/s})^2 = 129.6\ \text{J}$$

الزخم الزاوي(Angular Momentum)

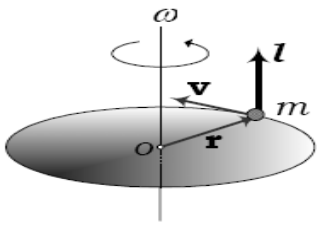
نعرف الزخم الزاوي لجسيم نقطي m يتحرك بسرعة v بالنسبة لمحور يبعد عنه مسافة محددة بالمتجه (r) (مقاسا من محور الدوران إلى الجسيم) بالعلاقة

$$\boldsymbol{l} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} \qquad (16\text{-}9)$$

حيث p=mv الزخم الخطي للجسيم

ونلاحظ من هذا التعريف أن الزخم الزاوي كمية متجهة قيمتها

$$l = mrv\sin\theta \qquad (17\text{-}9)$$



الشكل (15-9)

ويتحدد اتجاهها بقاعدة اليد اليمنى، كما في الشكل (١٥-٩)، بحيث يكون اتجاه الزخم باتجاه حركة برغي يدور مع الجسم.

كما نلاحظ أن وحدة .الزخم الزاوي في النظام الدولي هي $kg.m^2/s$

مثال

يتحدد موضع وسرعة كتلة 2 kg في المستوي xy بـــ $\mathbf{r} = 3\mathbf{i} - 4\mathbf{j}$ و $\mathbf{v} = 30\mathbf{i} + 40\mathbf{j}$، حيث تقدر r بـــ m و v بـــ m/s. ما زخمها الزاوي بالنسبة للمحور oz؟

الحل: نستخدم العلاقة (16-9) ونكتب:

$$\boldsymbol{l} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = m\mathbf{r} \times \mathbf{v} = (2\,\text{kg})(3\mathbf{i} - 4\mathbf{j}) \times (30\mathbf{i} + 40\mathbf{j})$$

أي أن

$$\boldsymbol{l} = 480\,\mathbf{k}\ \text{kg.m}^2/\text{s}$$

فقيمة الزخم الزاوي $kg.m^2/s$ ٤٨٠ ويتجه باتجاه المحور oz.

ويمكن ربط الزخم الزاوي لجسيم بسرعته الزاوية بتعويض السرعة الخطية بدلالة السرعة الزاوية في (١٧-٩) فنجد

$$l = mrv = mr(r\omega) = (mr^2)\omega$$

أي أن:

$$l = I\omega \qquad (18\text{-}9)$$

ونلاحظ مرة أخرى تناظر التحريك الدوراني والانتقالي. فالزخم في كلا الحالتين هو حاصل ضرب الممانعة بالسرعة

الشكل العام لقانون نيوتن الثاني في التحريك الدوراني

وجدنا في الفقرة (٥–٩) أن قانون التحريك الدوراني يكتب بالشكل

$$\tau_T = I\alpha$$

لكن التسارع الزاوي

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

أي أن:

$$\tau_T = I\frac{d\omega}{dt}$$

فإذا افترضنا أن الجسم يدور حول محور ثابت بحيث لايتغير عزم قصوره الذاتي، عندئذ نكتب العلاقة الأخيرة على النحو:

$$\tau_T = \frac{d(I\omega)}{dt}$$

أو

$$\boxed{\tau_T = \frac{dl}{dt}} \qquad (19\text{-}9)$$

فمحصلة العزوم المؤثرة على جسم بالنسبة لمحور ما تساوي معدل تغير زخمه الزاوي حول ذلك المحور بالنسبة للزمن. هذا هو الشكل العام لقانون التحريك الدوراني

9-9 .التحريك الدوراني لمنظومة جسيمات والأجسام الصلبة

نعمم في هذه الفقرة النتائج التي حصلنا عليها في التحريك الدوراني على منظومة مؤلفة من عدة جسيمات منفصلة عن بعضها، أو متماسكة كجسم صلب، وتتحرك دورانيا حول محور ثابت. فإذا كانت الجسيمات m_1 وm_2 و ... وm_n تدور حول محور بحيث أن الزخم الزاوي لكل واحدة بالنسبة له هو l_1 وl_2 و .... وl_n، على الترتيب، عندئذ يكون الزخم الزاوي للمنظومة كلها:

$$\mathbf{L} = \boldsymbol{l}_1 + \boldsymbol{l}_2 + \cdots + \boldsymbol{l}_n \qquad (20\text{-}9)$$

وباشتقاق العلاقة السابقة بالنسبة للزمن نجد

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \frac{d\boldsymbol{l}_1}{dt} + \frac{d\boldsymbol{l}_2}{dt} + \cdots + \frac{d\boldsymbol{l}_n}{dt}$$

ولكن τ هو محصلة العزوم المؤثرة على الجسيم i ولذلك تصير (٩–٢٠) على النحو:

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \tau_1 + \tau_2 + \cdots + \tau_n = \tau_T$$

أي أن:

$$\tau_T = \frac{d\mathbf{L}}{dt} \qquad (21\text{-}9)$$

فمحصلة العزوم المؤثرة على منظومة بالنسبة لمحور ما يساوي معدل تغير الزخم الزاوي الكلي للمنظومة بالنسبة لنفس المحور. هذا هو الشكل العام لقانون تحريك منظومة جسيمات أو جسم صلب .ويمكن كتابة الزخم الزاوي الكلي والطاقة الحركية الكلية للمنظومة بنفس الطريقة إذ نلاحظ أن كل عنصر منها يدور بسرعة زاوية ω_i فنكتب زخمه الزاوي بالشكل

$$l_i = I_i\omega_i$$

حيث I_i عزم القصور الذاتي للجسيم i بالنسبة لمحور الدوران. فيكون الزخم الزاوي الكلي هو:

$$L = l_1 + l_2 + \cdots + l_n = I_1\omega_1 + I_2\omega_2 + \cdots + I_n\omega_n = \sum_{i=1}^{n} I_i\omega_i \qquad (22\text{-}9)$$

وإذا دارت أجزاء المنظومة بنفس السرعة الزاوية ω (كجسم صلب) عندئذ تؤول العلاقة السابقة إلى:

$$L = I_T\omega \qquad (23\text{-}9)$$

حيث $I_T = \sum_{i=1}^{n} I_i$ عزم القصور الذاتي الكلي للمنظومة، أو الجسم الصلب.

حيث $I_T = \sum I_i = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$ عزم القصور الذاتي الكلي للمنظومة، أو الجسم الصلب.

كما نكتب الطاقة الحركية الكلية للمنظومة

$$K_T = K_1 + K_2 + \cdots + K_n = \tfrac{1}{2} I_1\omega_1^2 + \tfrac{1}{2} I_2\omega_2^2 + \cdots + \tfrac{1}{2} I_n\omega_n^2$$

أي أن:

$$K_T = \sum_{i=1}^{n} \tfrac{1}{2} I_i\omega_i^2 \qquad (24\text{-}9)$$

وأيضا، إذا دارت المنظومة حول محور ما بسرعة زاوية واحدة ω عندئذ نكتب العلاقة السابقة بالشكل:

$$K_T = \tfrac{1}{2} I_T\omega^2 \qquad (25\text{-}9)$$

ونصل أخيرا لقانون نيوتن الثاني في التحريك الدوراني لمنظومة أو جسم صلب حيث نكتب العلاقة(9-21):

$$\tau_T = \frac{d\mathbf{L}}{dt}$$

وبنعوض L من (9-23) نجد:

$$\tau_T = \frac{d(I_T\omega)}{dt}$$

فإذا افترضنا أن عزم القصور الذاتي الكلي للجسم الصلب أو المنظومة لايتغير خلال دورانه، عندئذ نكتب العلاقة الأخيرة على النحو:

$$\tau_T = I_T \frac{d\omega}{dt}$$

ولكن $\alpha = d\omega/dt$ هو التسارع الزاوي للجسم، ولذلك تصير العلاقة السابقة:

$$\tau_T = I_T\alpha \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{\tau_T}{I_T} \qquad (26\text{-}9)$$

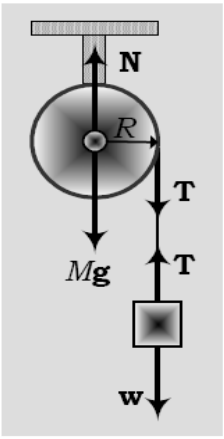
أي أن التسارع الزاوي يتناسب طردا مع سبب الدوران وعكسا مع ممانعته، كما هو متوقع

مثال

تدور بكرة كتلتها $M=2$ kg ونصف قطرها $R=0.2$ cm حول محور يمر من مركزها وعمودي على مستويها نتيجة سقوط جسم $m=0.5$ kg مربوط بخيط طويل ملفوف حول محيط البكرة، كما في الشكل (٩–١٧).

(أ) ما تسارع المنظومة وما الشد في الخيط؟

(ب) ماشغل العزم المؤثر على البكرة خلال ثانيتين إذا بدأت من السكون وما التغير في طاقتها الحركية نتيجة ذلك؟



الشكل(9-17)

الحل:

سنستخدم هذا المثل لتأكيد بعض النقاط المهمة في التحريك الدوراني للأجسام الصلبة. إذ نرى أن المنظومة مؤلفة من جزأين مرتبطين ببعضهما بواسطة الخيط بحيث يتحرك أحدهما دورانيا (البكرة) والآخر انتقاليا (الجسيم). فعندما نسأل عن تسارع المنظومة نحسب أحدهما، كالتسارع الخطي لـ m أو الزاوي للبكرة، ثم نجد الآخر. وقد وجدنا في المثل ٩–٢ أن العزم المؤثر على البكرة هو RT حيث R نصف قطرها و Tشد الخيط الملفوف حولها، لذا نكتب قانون التحريك الدوراني لها بالشكل

$$\tau = TR = I\alpha \quad \Rightarrow \quad T = \frac{I}{R}\alpha \qquad (1)$$

كما نكتب قانون التحريك الانتقالي للجسم m الذي يتحرك شاقوليا للأسفل:

$$mg - T = m \qquad (2)$$

ونربط بين الحركة الدورانية والانتقالية بملاحظة أن الجسم m مربوط بالخيط الملفوف حول البكرة، وبالتالي إذا تحرك m بأي تسارع a فإن كل نقطة من الخيط ستتحرك بنفس التسارع أيضا بما في ذلك النقطة المماسة لمحيط البكرة. لكن التسارع الخطي لهذه النقطة يرتبط بتسارع البكرة الزاوي α بالعلاقة a=Rα. أي أن التسارع الخطي لـ m يرتبط بالتسارع المماسي للبكرة بنفس العلاقة بسبب الخيط. لذلك نعوض a في العلاقة (١) أعلاه فنجد

$$T = \frac{I}{R^2}a \qquad (3)$$

وبجمع (2) و (3) نجد:

$$mg = (\frac{I}{R^2} + m)a$$

أي أن:

$$a = \frac{mg}{(I/R^2 + m)}$$

وهذه نتيجة مهمة لأنها تعطي تسارع منظومة تتحرك دورانا وانتقالا بنفس الوقت، حيث نرى أن دليل التحريك الانتقالي (التسارع الخطي a) يتناسب طردا مع سبب الحركة(mg في هذه الحالة) وعكسا مع الممانعة الكلية وهي الانتقال (الكتلة) والدوران (عزم القصور الذاتي حيث نلاحظ أننا قسمناه على مربع نصف القطر لتتناسب وحدة الممانعة الكلية في هذه الحالة مع الكتلة، أيkg ، لأن وحدة I هي .($kg.m^2$)ولذلك يمكن دائما كتابة تسارع أي منظومة لو انتبهنا إلى سبب التحريك وممانعته ! وباستخدام الجدول ١-٩ نجد I ثم نعوض قيم m و I و R في علاقة التسارع فنجد $a=3.27\ m/s^2$:

كما نحسب الشد في الخيط بتعويض a في (٣) فنجد

$$T = \frac{I}{R^2}(\frac{mg}{(I/R^2 + m)}) = 3.92\,\mathrm{N}$$

ثم نحسب التسارع الزاوي من α=a/R فيكون

$$\alpha = \frac{mg}{R(I/R^2 + m)} = 16.33\ \mathrm{rad/s^2}$$

ب) لحساب الشغل نحسب الزاوية التي دارتها البكرة في ثانيتين فنكتب

$$\theta = \tfrac{1}{2}\alpha t^2 + \omega_0 t = \tfrac{1}{2}(16.33\ \text{rad/s}^2)(2\ \text{s})^2 = 32.67\ \text{rad}$$

وبما أن العزم ثابت لذلك نستخدم العلاقة (١٤-٩) لنكتب :

$$W = \tau\theta = TR\theta$$

$$W = (3.92\ \text{N})(0.2\ \text{m})(32.67\ \text{rad}) = 25.6\ \text{J}$$

أي أن

وبحسب نظرية الشغل والطاقة فإن هذا الشغل يساوي تغير الطاقة الحركية للبكرة

الحركة العامة للأجسام الصلبة

لو نظرنا إلى أي جسم يتحرك في الفضاء بشكل عشوائي للاحظنا أنه يمكن أن ينتقل أو يدور أو كلاهما. فالحركة العامة للأجسام تتألف من انتقال كلي من مكان لآخر ودوران حول محور بنفس الوقت. ولو أمعنا النظر لحركة مقذوف يطير في الهواء لتبين لنا بوضوح كيف ينتقل ويدور معا، كما في الشكل (١-٦). وتوصف الحركة الانتقالية بواسطة مركز كتلة الجسم الذي يخضع لمحصلة القوى المؤثرة عليه ولهذا كنا نرسم الأجسام في الفصول الثالث والرابع والخامس نقطا أو مربعات صغيرة تمثل مركز الكتلة دون أن نعير حجمها أو شكلها أي اهتمام مفترضين أنها تتحرك انتقاليا فقط.

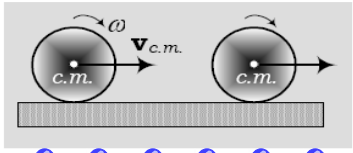
ونستخدم قوانين التحريك الانتقالي لمركز الكتلة، أي:

$$\mathbf{F}_T = M\mathbf{a}_{c.m} = \frac{d\mathbf{P}_t}{dt} \qquad (27\text{-}9)$$

حيث FT محصلة القوى الخارجية المؤثرة على الجسم و$a_{c.m}$تسارع مركز الكتلة، بينما P_T الزخم الخطي الكلي للجسم، أي زخم مركز الكتلة .أما الحركة الدورانية فتعتمد على المحور الذي يدور حوله الجسم وتوصف بقانون التحريك:

$$\tau_T = I\alpha = \frac{d\mathbf{L}_T}{dt} \qquad (28\text{-}9)$$

حيثτ_T محصلة العزوم الخارجية المؤثرة على الجسم وL_Tزخمه الزاوي الكلي .وتعتبر الحركة الدورانية العامة للأجسام الصلبة من أعقد المسائل في الميكانيك ولذا ندرس في هذه الفقرة نوعا واحدا من الحركات وهو التدحرج بدون انزلاق لجسم صلب حول محور. وتكمن أهمية التدحرج بدون انزلاق أن نقطة تماس الجسم مع الأرض لاتنزلق عليها بتاتا ولهذا يجب أن تكون قوة الاحتكاك بين هذه النقطة والأرض قوة احتكاك سكوني في كل لحظة، وبالتالي يكون شغلها مساويا للصفر دوما. أي أن الطاقة الميكانيكية في هذه الحركة تبقى محفوظة. فلو افترضنا أن لدينا قرصا (أو اسطوانة) كتلته m ونصف قطره R يتدحرج بدون انزلاق على مستو،



ملاحظة : المقررات الدراسية لمجال الفيزياء جزء لا يتجزأ من مذكرة الوظائف

كما في الشكل (٩-١٩)، فإننا نلاحظ أنه ينتقل من مكانه بشكل انسحابي يحدده انتقال مركز كتلته، بينما يدور خلال ذلك حول محور .مار من مركزهفإذا كانت سرعة مركز الكتلة هي$v_{c.m}$. وسرعة القرص الزاوية ω عندئذ تكون الطاقة الحركية الكلية للقرص هي:

$$K = \frac{1}{2} m v_{c.m.}^2 + \frac{1}{2} I_{c.m.} \omega^2 \qquad (29\text{-}9)$$

حيث$I_{c.m}$. عزم القصورالذاتي للجسم حول محورالدوران الماربمركز الكتلوحيث أن$v_{c\,m} = R\,\omega$

لذا تؤول الطاقة الحركية إلى:

$$K = \frac{1}{2}(I_{c.m.}/R^2 + m)v_{c.m.}^2 \qquad (30\text{-}9)$$

وهذه الطاقة، كما نتوقع تشمل الانتقال والدوران ونلاحظ أنها حاصل ضرب مربع السرعة بالممانعة الكلية .الآن لو كتبنا الطاقة الحركية بدلالة السرعة الزاوية لوجدنا:

$$K = \frac{1}{2}(I_{c.m.} + mR^2)\omega^2 \qquad (31\text{-}9)$$

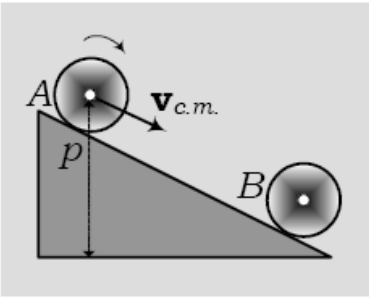
حيث نلاحظ أن الكمية $(I_{c.m.} + mR^2)$ تمثل عزم القصور الذاتي للجسم حول محور يبعد عن مركز الكتلة مسافةR ، ويدعى محور الدوران الآني (instantaneous axis of rotation) ونرمز له بـ I_p. ولذلك نعيد كتابة الطاقة الحركية بالشكل:

$$K = \frac{1}{2} I_p \omega^2 \qquad (32\text{-}9)$$

أي أن حركة الجسم تكافئ دورانا فقط ولكن حول محور الدوران الآني الذي يتنقل باستمرار مارا من نقطة تماس الجسم مع السطح الذي يتدحرج عليه في كل لحظة

.مثال

تتدحرج اسطوانة كتلتها M ونصف قطرها R على مستو مائل خشن بدون انزلاق، كما في الشكل(٩-٢٠). ماسرعة مركز كتلتها عندما تصل لقعر المستوي إذا بدأت من السكون؟



الشكل(9-20)

الحل:

سنستخدم حفظ الطاقة ونعتبر الحركة دورانا حول المحور الآني للدوران المار من نقطة تماس الاسطوانة مع المستوي، أي .p.فإذا كان عزم القصور الذاتي للأسطوانة بالنسبة لمحور الدوران المار من p هوI_pعندئذ نلاحظ أن الطاقة الكلية عند النقطة A هي طاقة وضع فقط

$$E_A = U = mgh$$

وعند النقطة B هي طاقة حركة فقط:

$$E_B = K = \tfrac{1}{2} I_p \omega^2$$

ونكتب مبدأ حفظ الطاقة :

$$E_A = E_B \quad \Rightarrow \quad mgh = \tfrac{1}{2} I_p \omega^2$$

وبإيجاد $I_{c.m}$من الجدول ٩-١ والاستفادة من نظرية المحاور المتوازية نلاحظ أن:

$$I_p = I_{c.m.} + mR^2 = \tfrac{1}{2} mR^2 + mR^2 = \tfrac{3}{2} mR^2$$

لذلك نجد من حفظ الطاقة أن:

$$\tfrac{1}{2}(\tfrac{3}{2} mR^2)\omega^2 = mgh \quad \Rightarrow \quad \omega = \sqrt{\frac{4gh}{3R^2}}$$

ومنه:

$$v_{c.m.} = R\omega = \sqrt{4gh/3}$$

مبدأ حفظ الزخم الزاوي

وجدنا في الفصل السادس أنه إذا كانت محصلة القوى المؤثرة على منظومة تساوي الصفر فإن الزخم الخطي لها يبقى ثابتا، أي إذا كان $\mathbf{F_T}=0$ فإن(ثابت= $\mathbf{P_T}$.) بمعنى أنه إذا اختفى سبب الحركة فإن الزخم لايتغير.وسنطبق هذا الشرط في حالة التحريك الدوراني،حيث نلاحظ من قانون التحريك (٩-٢٨) أن:

$$\boldsymbol{\tau}_T = \frac{d\mathbf{L}_T}{dt}$$

فإذا كانت محصلة العزوم المؤثرة على منظومة $\boldsymbol{\tau}_T$ تساوي الصفر عندئذ نستنتج من العلاقة السابقة أن الزخم الزاوي للنظام لن يتغير، أي:

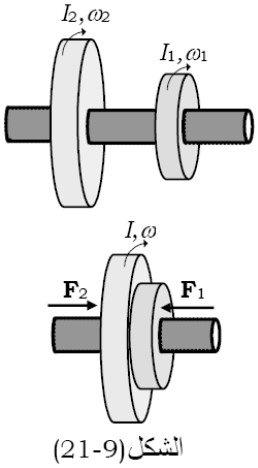
$$\boldsymbol{\tau}_T = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{L}_T = \text{ثابت} \qquad (33\text{-}9)$$

ثابت وهذا هو مبدأ حفظ الزخم الزاوي الذي يعتبر من أهم مبادئ الحفظ في الفيزياء وله تطبيقات عدة هامة في كل نواحي الحياة، ومنها ماهو مألوف لكل إنسان. ففي مسابقة الغطس مثلا تعتمد نتيجة المسابقة على عدد الدورات التي يتمها الغطاس عندما يقفز في الهواء قبل أن يصل للماء. ويقوم بذلك عادة بأن يلوي جسمه وهو في الهواء ويطبق ركبتيه على صدره ليجعل عزم قصوره الذاتي أصغر مايمكن، فتزداد سرعته الزاوية. وقبل وصوله للماء بقليل يفرد جسمه ويمد ذراعيه أبعد مايمكن فيزداد عزم قصوره الذاتي وتتناقص سرعته الزاوية. ونلاحظ أن القوة المؤثرة عليه طوال الوقت هي وزنه الذي يمر من مركز كتلته وبالتالي ليس له عزم حول محور الدوران الذي يمر من نفس المركز. وبنفس

الطريقة يقوم راقص فني على الجليد بضم يديه لصدره ليتناقص عزم قصوره الذاتي فتزداد سرعته الزاوية وعندما يريد التباطؤ يفرد يديه فيزيد عزم قصوره الذاتي وتتناقص سرعته الزاوية، ويبقى الزخم الزاوي محفوظا في هذه الحالة لأن قوة الوزن ورد فعل السطح تمران من مركز كتلته وليس لهما عزم حول محور الدوران المار من نفس المركز .وتوضح الصور التالية كيف يقوم الغطاس والراقص الفني على الجليد بحركاتهم.

مثال.

يدور قرصان منفصلان حول محور واحد بسرعتين زاويتين ω_1 و ω_2، على الترتيب، عندما يدفعان بقوتين F1 و F2 على امتداد محور الدورن، كما في الشكل (٢١-٩)، إلى أن يلتصقا ببعضهما ويصبحا جسما واحدا. ما السرعة الزاوية النهائية التي سيدور بها النظام الجديد إذا كان عزم القصور الذاتي لهما حول محور الدوران هو I_1 و I_2 ، على الترتيب؟



الشكل (21-9)

الحل: يستخدم هذا المثل كنظير لحالة التصادم غير المرن كليا في الحركة الخطية. ونرى هنا أن العزم الكلي المؤثر على القرصين قبل وبعد وخلال الالتحام يساوي الصفر لأن القوى الخارجية المطبقة توازي محور الدوران، كما أن عزم وزن كل قرص ورد الفعل يساوي الصفر دوما لأنه يمر من محور الدوران. نستنتج من ذلك أن الزخم الزاوي الكلي للنظام لايتغير، ونكتب

(قبل الالتصاق) L= (بعد الالتصاق)L

$$L\ (\text{قبل الالتصاق}) = I_1\omega_1 + I_2\omega_2$$

حيث:

أما بعد الالتصاق فيصير القرصان جسما واحدا له نفس السرعة الزاوية ω وعزم قصوره الذاتي مجموع عزمي القصور الذاتي للقرصين المنفصلين، أي أن:

$$L\ (\text{بعد الالتصاق}) = (I_1 + I_2)\omega$$

وبحسب مبدأ حفظ الزخم الزاوي يكون:

$$I_1\omega_1 + I_2\omega_2 = (I_1 + I_2)\omega \quad \Rightarrow \quad \omega = \frac{I_1\omega_1 + I_2\omega_2}{I_1 + I_2}$$

الاتزان العام للأجسام الصلبة

نختتم هذا الفصل بدراسة الشروط اللازم توافرها حتى يتزن أي جسم صلب اتزانا سكونيا عاما، بمعنى أنه لاينتقل من مكانه ولايدور على الإطلاق .فقد وجدنا في الفصل الرابع أن شرط اتزان جسم ضد الحركة الانتقالية، بحسب قانون نيوتن الأول، هو:

$\sum F = 0$ (34-9) ويطلق على هذه العلاقة اسم الشرط الأول للاتزان، وتكافئ العلاقات الثلاث:

$\sum F_x = 0$ و$\sum F_y = 0$ و$\sum F_z = 0$ (35-9) حيث F_x وF_y وF_z مركبات محصلة القوى على محاور إحداثية مناسبة.

.كما وجدنا في هذا الفصل أن كون محصلة القوى المؤثرة على نظام مساوية للصفر لاتضمن عدم دورانه إلا إذا كانت محصلة العزوم معدومة، أي:

$\sum \tau_T = 0$ (36-9) وهذا هو الشرط الثاني للاتزان العام، وتكافي العلاقات:

$$\sum \tau_x = 0 \quad \text{و} \quad \sum \tau_y = 0 \quad \text{و} \quad \sum \tau_z = 0 \qquad (37\text{-}9)$$

حيث τ_x وτ_y وτ_z مركبات محصلة العزوم على ثلاثة محاور إحداثية مناسبة، لأن شرط عدم دوران جسم بتاتا يعني أن عزوم القوى المؤثرة عليه يجب أن تكون معدومة بالنسبة لأي منظومة محاور نختارها. ولذا نختار محاور تجعل حل معادلات الاتزان سهلا، كما سنرى في الأمثلة اللاحقة.

وبما أن دراسة الاتزان العام لجسم صلب قد يكون معقدا أحيانا لذا نركز في هذه الفقرة على اتزان الأجسام ضد الدوران حول محور ثابت فقط. ولذلك يكون للعزوم مركبة واحدة فقط حول ذلك المحور، كما تصير القوى المؤثرة على الجسم موجودة في مستو (لأن المحور ثابت). ولذلك يصير شرط الاتزان الأول:

$\sum F_x = 0$ و$\sum F_y = 0$ (38-9)

وشرط الاتزان الثاني:

$\sum \tau = 0$ (39-9)

ونستنتج من هذه العلاقات أن عدد المجاهيل الممكن إيجادها في أي مسألة اتزان عام لايتجاوز ثلاثة، وإلا لوجب توفر شروط إضافية لحل المسألة كاملة .وفيما يلي بعض الخطوات المفيدة لحل مسائل اتزان أجسام صلبة مرتبطة ببعضها :

1-نختار أحد الأجسام ونوضح القوى المؤثرة عليه.

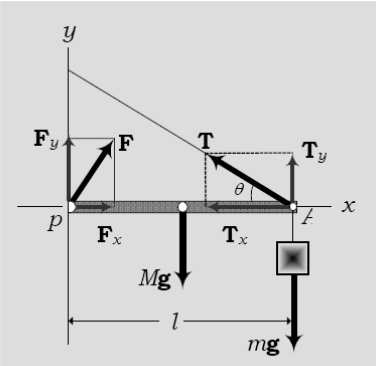
2- نختار منظومة محاور إحداثية مناسبة ونحدد مركبات القوى عليها والعزوم بالنسبة لأحدها

3- .نكتب معادلات الاتزان (٣٨-٩) و (٣٩-٩) لذلك الجسم ونحلها.

4- ننتقل إلى جسم آخر إن وجد ونكرر الخطوات السابقة .

مثال

يثبت عمود متجانس طوله(l=2 m) وكتلته (M=25 kg) بحائط شاقولي بواسطة مفصلة ويحفظ بوضع أفقي بربطه بحبل مشدود مثبت بالحائط، كما في الشكل .(21-9) مامركبات رد فعل نقطة التثبيت عند المفصلةpإذا علق حمل m=200 kg بنهاية العمود؟



الشكل(9-21)

الحل: هذا المثل مناسب لتوضح الخطوات التي نتبعها لحل مسائل الاتزان العام للأجسام الصلبة .فنلاحظ أولا أن العمود يخضع لقوة وزنهW=Mg ، ووزن الحمل المعلقw=mg ، وشد الحبلT ، ورد فعل نقطة التثبيت F. فنعتبر محورين ox و oy، كما هو موضح بالشكل (٢١-٩)، ونحلل القوى عليهما فنجد من شرط الاتزان الأول:

$$F_z - T_x = 0$$

و

$$F_y + T_y - mg - Mg = 0$$

كما نحسب عزوم هذه القوى بالنسبة لمحور مار من نقطة تعليق الحمل عموديا على المستوي xy عندA ، حيث نلاحظ أن عزم قوة رد فعل نقطة التثبيت يعاكس عزم وزن العمود (لماذا)، فنجد:

$$-F_y(l) + Mg(l/2) = 0$$

كما ان :

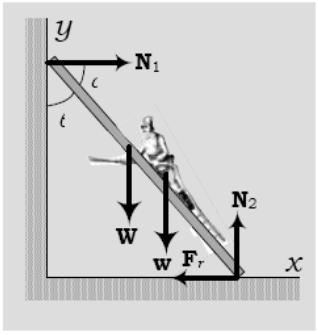
$$\tan\theta = \frac{T_y}{T_x}$$

وبحل هذه المعادلات نجد:

$$F_x = T_x = 4970\ \text{N}$$ و $$F_y = 122\ \text{N}$$ و $$T_y = 2870\ \text{N}$$.

مثال

يقف رجل كتلته m=65 kg على بعد ١m من بداية سلم طوله l=3 m وكتلته M= 10 kg ويستند على حائط أملس صانعا معه زاوية θ=25° ، كما في الشكل (٢٢-٩). ماذا يجب أن يكون معامل الاحتكاك بين السلم والأرض حتى يبقى النظام ساكنا؟



الشكل(22-9)

الحل: نلاحظ من الشكل (٢٢-٩) أن القوى المؤثرة على المنظومة المؤلفة من الرجل والسلم معا هي وزن السلم W ووزن الرجلw ، ورد فعل الحائطN_1 ، وقوة الاحتكاك السكونيF_s ، ورد فعل الأرض N_2. فحتى يتزن النظام يجب أن تكون محصلة القوى مساوية للصفر، ومحصلة العزوم حول أي محور نختاره معدومة أيضا .فنكتب الشرط الأول للاتزان

$$\mathbf{W} + \mathbf{w} + \mathbf{N}_1 + \mathbf{N}_2 + \mathbf{F}_s = 0$$

ونأخذ مركبتي العلاقة السابقة على المحورين ox و oy الموضحين بالشكل، نجد W+ w– N_2= 0 :

$N_1 - F_s = 0$ وكما نختار العزوم حول محور يمر من نقطة تماس السلم مع الأرض ونكتب محصلتها تساوي الصفر،حيث نلاحظ أن عزم رد فعل الحائط يعاكس عزم وزن السلم والرجل. لماذا؟

وبحل هذه المعادلات نجد.:μ=0.2

الجدول 9-1: نصف قطر دوران بعض الأجسام الصلبة $(I = Mk_z^2)$

الجسم	محور الدوران	k_z^2
سلك رفيع طوله a	عمودي على السلك عند المركز	$a^2/12$
	عمودي على السلك عند الطرف	$a^2/3$
صفيحة مستطيلة مستوية أبعادها a و b	مواز لطرفها b مارا من المركز	$a^2/12$
	عمودي عليها ويمر من المركز	$(a^2+b^2)/3$
قرص رقيق نصف قطره a	يمر من المركز في مستويه	$a^2/4$
	يمر من المركز عمودي على مستويه	$a^2/2$
حلقة رقيقة نصف قطرها a	يمر من المركز في مستويها	$a^2/2$
	يمر من المركز عمودي على مستويها	a^2
قشرة اسطوانية نصف قطرها a	محورها الطولي	a^2
اسطوانة صلبة قائمة نصف قطرها a وطولها b	محورها الطولي	$a^2/2$
	يمر من المركز عمودي على محورها	$(a^2+b^2)/12$
كرة صلبة ممتلئة نصف قطرها a	أي قطر فيها	$2a^2/5$
قشرة كروية رقيقة نصف قطرها a	يمر من المركز عمودي على الوجه ab ومواز للطرف c	$3a^2/2$
		$3a^2/2$
متوازي مستطيلات صلب قائم أبعاده a و b و c	يمر من المركز عمودي على الوجه ab وموازيا للطرف c	$(a^2+b^2)/12$

ملخص الفصل

عزم قوة	$\tau = rF\sin\theta$
عزم القصور الذاتي	$I = \sum m_i r_i^2$
قانون التحريك الدوراني	$\tau = I\alpha$
الزخم الزاوي	$l = rp\sin\theta = I\omega$
الشكل العام لقانون التحريك الدوراني	$\tau = \frac{dL}{dt}$
مبدأ حفظ الزخم الزاوي	$\tau = 0 \Rightarrow L =$ ثابت
شغل العزم	$W = \int \tau d\theta$
الطاقة الحركية الدورانية	$K = \frac{1}{2} I\omega^2$
شرطي اتزان الأجسام	$\sum F_x = 0$ و $\sum F_y = 0$ و $\sum \tau = 0$

الفصل الثاني

ميكانيكا الموائع

أولاً: الموائع الساكنة

المقدمة:

هناك معادن خفيفة كالألمنيوم بينما هناك معادن ثقيلة كالرصاص وهناك أجسام طرية يمكن ليها بسهولة كالورق وأجسام مستحيل أن نطويها كالبلاستيك والخشب ولاشك أن الاختلاف بينها يرجع لتركيب ذرات العنصر فذرات الرصاص تكون متراصة بقرب بعضها بشكل أكبر مقارنة مع الخشب ، لذا نقول بأن كثافة الرصاص أكبر من كثافة الخشب ، فما هي الكثافة؟

***الكثافة:**

تتميز السوائل والغازات بأنها عديمة الصلابة بحيث لا يمكن تحديد شكل لها ، كما أن ذراتها كبيرة جداً بحيث أنه من المستحيل عملياً تحديد موضع وسرعة وتسارع كل واحدة ولدراسةحركة أي جسم تتطلب معرفة كتلته لذلك فإن دراسة حركة وتحريك أي جسم تتطلب معرفة كتلته فلدراسة ميكانيكية السوائل والغازات ليست سهلة لأن تحديد كتلة الجسم عند دراسة حركة الرياح في الجو والأمواج في المحيطات والماء الأنهار صعب فعلا. لذا نختار حجماً معيناً من السائل المدروس ونحدد كتلته ونطبق قوانين التحريك عليه ونعمم النتائج فإذا اخترنا وحدة الحجوم من سائل أو غاز عندئذٍ تكون كتلته مساوية لكثافته($\rho = \frac{M}{V}\left(kg/m^3\right)$) التي نعرفها بأنها كتلة وحدة الحجوم من المادة والتي تعطى بالعلاقة والتي تعتمد على عوامل عدة كدرجة الحرارة والضغط وطبيعة المادة المعينة سواء كانت صلبة أم سائلة أن غازية ولا تتغير كثافة الأجسام الصلبة والسائلة كثيراً بالمقارنة مع الغازات التي تغير بشكل ملحوظ مع درجة الحرارة والضغط . ونظراً لأن الماء يتميز بكثافته التي تساوي $(1)g/cm^3$ أو $(1000)kg/m^3$ عند درجة حرارة (4^oC) لذا نقارن بقية السوائل

به ، فنعرف الكثافة النسبية بنسبة كثافة المادة إلى كثافة الماء ، أي أن $\rho_{rel} = \frac{\rho_{obj}}{\rho_{H_2o}} = \frac{\rho_{obj}}{1000}$ والكثافة النسبية ليس لها وحدات لأنها نسبة ، وعليه فما سبب شعور الإنسان بأنه خفيف الوزن عندما يسبح في البحر.

مثال:

تخلط $(300)cm^3$ من الماء مع $(600)cm^3$ من البنزين . فما كثافة المزيج الناتج.

الحل: $m_{water}=\rho_{water}\times V_{water}=1\times 300=300g=0.3kg$

$$m_{benz}=\rho_{benzr}\times V_{benzr}=0.739\times 600=443g=0.443kg$$

$$m_T=m_{water}+m_{benz}=0.3+0.443=0.743kg$$

$$V_T=V_{water}+V_{benz}=300+600=900cm^3=9\times 10^{-4}m^3$$

$$\rho=\frac{m_T}{V_T}=\frac{0.743}{9\times 10^{-4}}=825.6kg/m^3$$

***الضغط :**

من المعروف أن الأحوال الجوية تتغير خلال السنة بشكل واضح وفي نفس اليوم ، فكيف يؤثر الضغط الجوي طبيعة الطقس؟وكيف ترفع السيارة بسهولة كأنها لعبة خفيفة ؟ لذلك يجب علينا معرفة مفهوم الضغط.

كما نعلم أن القوة التي يؤثر بها المائع على سطح ما تكون عمودية على السطح لذلك

فالضغط هو مقدارالقوة المؤثرة عمودياً على وحدة المساحات من السطح $P=\frac{F}{A}(N/m^2)(Pa)$ **ويلاحظ أن** $1atm=1.01\times 10^5(Pa)\approx 1bar$

ويستخدم المليمتر الزئبقي لتقدير الضغط في المختبرات وموازين الضغط المخبرية ويعادل وزن اسطوانة من الزئبق مساحة قاعدتها $(1cm^2)$ **وارتفاعها** $(76cm)$ **أي** $(760mm)$ **لذلك نقول إن الضغط الجوي يساوي** $(760mmHg)$

والذي يطلق عليه اسم (التور torr).

مثال:

ما مقدار الضغط الناتج أسفل فرشة ماء على الأرض أبعادها $(2\times 2\times 0.3)m$.

الحل:

$$M=\rho\times V=1000\times 2\times 2\times 0.3=1200kg$$

$$F=W=M\times g=1200\times 9.8=11.76KN$$

$$P=\frac{F}{A}=\frac{117.6}{2\times 2}=2940Kpa$$

ومن المعروف لديك أن ضغط السائل عند نقطة في السائل تتعين من العلاقة $P=\rho\times h\times g$ **(استنتج ذلك) كما يتضح منها العوامل التي يتوقف عليها ضغط السائل عند نقطة في السائل.**

*الضغط في السوائل الساكنة :

إذا كان لدينا سائل ساكن في إناء فإن كل جزء منه يجب أن يكون خاضعاً لمحصلة قوى لا تساوي الصفر وإلا فإنه سيتحرك حتماً فمقلا يجب أن تكون القوى المؤثرة من الطرف الأيمن مساوية لتلك من الأيسر وليس معنى هذا أنه لا توجد قوى من الطرفين أصلاً إذ لو فتحنا ثقباً في الجدار الجانبي للوعاء لاندفع منه السائل مما يعني أنه كان خاضعاً لقوة من الجهة المعاكسة ، وهذا أيضاً من الجانب الآخر ، ولو نظرنا إلى القوى المؤثرة على جزء من السائل في الاتجاه السفلي فإنه سيخضع لقوتين نحو الأسفل هما وزنه (w) وقوة ضغط الهواء الذي فوقه $F = P_a.A$ حيث (P_a) الضغط الجوي ، فحتى يبقى هذا الجزء ساكن يجب أن يؤثر عليه السائل من أسفل بقوة $F_{up} = P.A$

مساوية ومعاكسة لمحصلة هاتين القوتين بالتالي نجد أن $w + P_a.A = pA$ ولكن

$$W = mg = \rho Vg = \rho Ahg$$

وعليها فإن: $P.A = P_a.A + \rho Ahg$ فالضغط عند أي نقطة من سائل يزيد عن الضغط $P = P_a + \rho hg$ الجوي بمقدار يتناسب مع عمق تلك النقطة. وأول من توصل لتلك العلاقة كان بلير باسكال لذلك تدعى مبدأ باسكال.

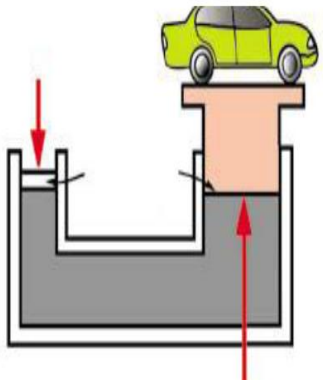
*قاعدة باسكال:

تنص قاعدة باسكال على أنه (إذا تم تطبيق ضغط على سائل ساكن في وعاء فإن هذا الضغط ينتقل دون نقصان إلى كل نقطة داخل السائل وإلى جدار الوعاء).

ومن خلال ذلك فإن $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$

*تطبيقات على مبدأ باسكال:

المكبس الهيدروليكي:



حيث يتم رفع السيارات الكبيرة عند الذراع العريضة بتطبيق قوة مناسبة أصغر من وزنها بكثير عند الذراع الضيقة بحيث يكون الضغط واحد.

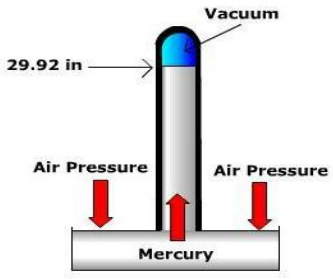
*الضغط الجوي:

يؤثر وزن الهواء المحيط بالكرة الأرضية بضغط على جميع الموجودات على الأرض ويقل هذاالضغط كلما ارتفعنا عن سطح الأرض وذلك لأن كمية الهواء تقل كلما اتجهنا إلى أعلى من سطح الأرض.

*أجهزة قياس الضغط:

البارومتر:

يستخدم لقياس الضغط الجوي وهو عبارة عن أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء موضوع في إناء بهزئبق فيؤثر الهواء على الزئبق الموجود بالإناء مما يؤدي لارتفاع في الأنبوبة ، فيكون الفرق في ارتفاع الزئبق في الإناءوالأنبوبة يمثل قيمة الضغط الجوي.



المانومتر:

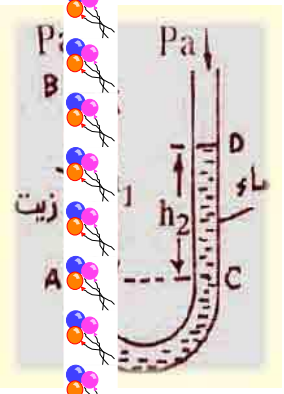
يستخدم لقياس الضغط الجوي أو للمقارنة بين ضغطي غازين

وهو عبارة عن أنبوبة على شكل حرف (U)

تم ملؤها جزئياً بالزئبق وتوصل أحد أذرع الأنبوبة بالغاز الأول والفرع الآخر بالغاز الثاني

ويعمل ضغط كل غاز بقوة تناسب مع ضغطه مما يسبب إعادة منسوب الزئبق في الأنبوبة

وبقياس الفرق بين ارتفاع الزئبق في فرعي المانومتر فيكون هو الفرق بين ضغطي الغازين.



مثال:

غواصة تستطيع أن تغوص إلى عمق أقصاه **(1000)m** تحت سطح البحر. احسب أقصى ضغط يتحمله غلافها الخارجي إذا كان الضغط الجوي يعادل $(76)cmHg$ وكثافة ماء البحر $(1.3)gm/cm^3$ وكثافة الزئبق $(13.6)gm/cm^3$.

الحل:

$$P_0 = \rho_{Hg}.h_0 g = 13.6\times1000\times9.8\times0.76 = 1.013\times10^5\ N/m^2$$

$$P_1 = \rho_{wg}.h.g = 13.6\times1000\times9.8\times1000 = 1.274\times10^7\ N/m^2$$

$$P = P_0 + P_1 = 1.284\times10^7\ N/m^2$$

*قاعدة الأواني المستطرقة :

في المانومتر يكون الضغط واحد عند كافة نقاط السائل الواقعة على ارتفاع واحد في إناء مفتوح ، لذا لو اعتبرنا عدة نقاط عند نفس العمق في سائل موضوع في إناء مفتوح ذو عدة أذرع مختلفة المقاطع عندئذ نلاحظ أن الفرق في الضغط بين أي نقطة منها وسطح السائل سيكزن واحداً ، ولكن هذا الفرق بحسب علاقة المانومتر يساوي $(\rho.h.g)$ وبما أن (g) ،(ρ) هي نفسها بالتالي سيرتفع السائل في كافة الأذرع إلى نفس الارتفاع، ويطلق على هذه النتيجة اسم قاعدة الأواني المستطرقة.

*قاعدة أرشميدس:

تنص القاعدة على أن (الجسم المغمور في سائل كلياً أو جزئياً يخضع لقوة دافعة نحو الأعلى تعادل وزن السائل الذي أزاحه الجسم)....كيف يمكنك إثبات ذلك؟

مثال:

أراد فيزيائي شراء قلادة ذهبية من تاجر عرضها عليه بثمن بخس إلا أنع ارتاب بالأمر فوزنها في الهواء فكانت $(5.98)N$ ، ثم وزنها في ماء عذب فوجدها $(5)N$ ، فاستنتج أنها مزيفة .فكيف ذلك ؟

الحل:

$$F_{up} = w - w' = 5..98 - 5 = 0.98N$$

$$F_{up} = \rho_w.V.g = 0.98N \Rightarrow V = \frac{0.98}{1000\times 9.8} = 10\times 10^{-4} m^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{w}{V.g} = \frac{5.98}{10\times 10^{-4}\times 9.8} = 6\times 10^3 kg/m^3$$

ولكن كثافة الذهب $\rho = 1.93\times 10^3 kg/m^3$ بالتالي فإن القلادة مزيفة.

*ظاهرة التوتر السطحي:

بعض الحشرات الخفيفة يمكنها الوقوف والسير فوق سطح الماء دون أن تبتل ، وأن نضع قطعة نقود أو إبرة فولاذية برفق لتطفو فوق سطح الماء ، وقطرات الندى فوق سطح أوراق النبات يكون شكلها كروي وغير ذلك وعليه فالسائل دائماً يتصرف كما لو كان محاطاً بغشاء مشدود وكأن سطح السائل متوتر ولذلك تسمى هذه الخاصية (ظاهرة التوتر السطحي)، والتي تنشأ عن قوى التماسك والتجاذب بين جزيئات السائل عند السطح ، أي أنها خاصية سطحية لا وجود لها في السائل. فما تفسيرك لذلك ؟

النظرية الجزيئية والتوتر السطحي:

كما تعلم أن الجزئ الموجود على سطح السائل يقع تحت تأثير قوى الجذب من جزيئات السائل الأخرى المحيطة به في شكل نصف كرة تكون محصلتها إلى أسفل حيث تعمل على شد هذا الجزئ إلى داخل السائل ، وكلما زاد اقتراب الجزئ من سطح السائل فإن حالة عدم الاتزان تزداد حتى تبلغ قيمتها العظمى عندما يكون الجزئ على سطح السائل ، لذلك فإن الجزيئات الموجودة على سطح السائل تتعرض إلى قوى جذب كبيرة في اتجاه داخل السائل فهذه القوى تجعل سطح السائل يميل إلى التقلص ليصغر في المساحة وهذه القوى تسبب قوى التوتر لسطح السائل والتي تعرف بقوى التوتر السطحي (γ) ، وحيث أن زيادة مساحة سطح سائل ما تستلزم نقل جزيئات من باطن السائل إلى السطح وذلك لزيادة عدد الجزيئات في السطح وبالتالي مساحته ، وحيث أن الجزيئات الموجودة على السطح طاقتها أعلى من تلك الموجودة في الداخل فإنه لابد من بذل شغل لزيادة مساحة السطح.

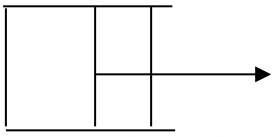
ولذلك يعرف

معامل التوتر السطحي

بأنه الشغل اللازم لزيادة مساحة سطح السائل بمقدار وحدة المساحات عند درجة حرارة وضغط ثابتين.ووحدة قياسه (j/m) وتوقف قيمته على نوع السائل ودرجة الحرارة والضغط، وتقل قيمته بزيادة أي من درجة الحرارة أو الضغط.

الطاقة السطحية:

لكي نقوم بزيادة مساحة سطح السائل فإنه من الضروري أن نحضر بعض الجزيئات من داخل السائل إلى السطحوهذا يتطلب بذل شغل للتغلب على هذه القوة وعليه يتضح أن طاقة الجزيئات على سطح السائل أكبر من طاقة الجزيئات داخله ، ويطلق على هذه الزيادة اسم الطاقة السطحية.



فإذا كان لدينا غشاء من سائل على إطار من السلك ذو ثلاثة أضلاع ويتحرك سلك طوله (L)بحرية على الضلعين الآخرين، فإذا أثرنا على هذا السلك بقوة (F) في مستوى الإطار وعمودياً على السلك ، فالشغلالمبذول بهذه القوة لحدوث إزاحة (b) تكون $W = F.b$ بالتالي $F = \gamma.L$

ومادام السطح متزن وطبقا للقانون الثالث لنيوتن فإن السطح يتعرض لضعف القوة ، وعليه

$$F = 2\gamma.L$$

$\therefore W = 2\lambda.L.b \Rightarrow F.b = \lambda(2L.b)$ حيث $(2.L.b)$ يمثل الزيادة الإجمالية في مساحة سطح السائل .

بالتالي $\lambda = \frac{F}{2L}$ ومن هنا يمكن إضافة تعريف آخر ل معامل التوتر السطحي بأنه القوة المؤثرة عمودياً على وحدة الأطوال من أي خط من خطوط السائل عندما تكون هذه القوى موازية للسطح.

ووحدة قياسه (نيوتن/متر).

*زاوية التماس:

هي زاوية داخل السائل تكون محصورة بين جدار الإناء والمماس لسطح السائل.

وتعتمد على: طبيعة السائل و طبيعة السطح الصلب الملامس للسائل وطبيعة الوسط الموجود فوق سطح السائل.

فعند وضع أنبوبة شعرية في إناء به ماء فإننا نلاحظ ارتفاع الماء قي الأنبوبة الشعرية ويكون سطح الماء مقعراً لأن قوة التلاصق بين الماء والأنبوبة أكبر من قوة التماسك بين جزيئات الماء وتكون زاوية التماس حادة.

أما في حالة الزئبق فيكون شكل سطح الزئبق محدب وزاوية التماس منفرجة.

وتعطى زاوية التلامس من العلاقة $\theta = \cos^{-1}\left(-\frac{\gamma_s}{\gamma_L}\right)$

حيث (γ_L) التوتر السطحي بين سطح السائل والوسط المحيط بالسائل.

(γ_s)التوتر السطحي بين سطح السائل وسطح المادة الصلبة.

*الخاصية الشعرية:

هي ظاهرة ارتفاع السوائل التي تبلل السطح أو انخفاضها للسوائل التي لا تبلل السطح في الأنابيب الشعرية.

ويعتمد الارتفاع (h)داخل الأنبوبة الشعرية على: طبيعة السائل وقطر الأنبوبة الشعرية (كلما قل القطر زاد الارتفاع) ويتعين الارتفاع (h) من العلاقة: $h = \frac{2\gamma.\cos\theta}{r.\rho.g}$ اثبت ذلك ....

مثال:

احسب معامل التوتر السطحي للماء إذا كان فرق ارتفاع الماء بين داخل وخارج الأنبوبة الشعرية $(2)cm$ علماً بأن القطر الداخلي للأنبوبة $(4)mm$

الحل:

$$h = \frac{2\gamma.\cos\theta}{r.\rho.g} \Rightarrow \gamma = \frac{hr.\rho.g}{2} = \frac{0.02\times 2\times 10^{-3}\times 9.8}{2} = 0.196N/m$$

الفصل الثالث

الديناميكا الحرارية

مقدمة :

علم الديناميكاالحرارية واحداً من فروع العلم التي تستخدم وتخدم جميع فروع العلم الأخرى على نطاق واسع ، وهونتاج جهودعلماء سعياً لاستنباط طريقة فعالة ومناسبة لمعرفة أثر الحرارة والشغل على طبيعة الذرات والجزيئات (المادة) اعتماداً على وصف المادة بدلالة خواصها الإجمالية من ضغط ودرجة حرارة وحجم، ولعل أبرزمانلمسه من إيجابيات هذاالعلم الآلات الحرارية التي ساهمت في الحضارة الإنسانية بشكل واسع .

(١-١) متغيرات الحالة (بارامترات الحالة) :

في علم الديناميكاالحرارية سنتناول بالمناقشة سلوك مجموعة محددة بدقة من الجزيئات تسمي (النظام) ، والنظام قديكون مثلاً جزيئات الغاز المحبوس في وعاء (الهواء داخل بالون) أوجزيئات سائل أومحلول، وكلاهما يعتبر نظاماً بسيطاً أوجزيئات ساق معدني أوشريط مطاطي مثلاً ويعتبر هذا نظاما معقداً وفي كل الأحوال يجب أن يكون النظام محدداً تماماً .

ونحتاج لوصف نظام استخدام كميات معينة تنطبق على النظام بأكمله أوعلى جزءمحدد منه وتعتبر درجة حرارة النظام (T) والضغط (P) وحجم النظام (V) كميات نموذجية لوصف النظام حيث يمكن قياسها بدقة وبسهولة كما تستخدم كميات أخرى كالطاقة الداخلية(U) والحرارة (الطاقةالحرارية / كميةالحرارة) (Q) والشغل (W) فيوصف النظام ولكن لايمكن اعتبارها متغيرات حالة وسنتناول في الفقرة التالية شرحاً يساعدنا على فهم هذه الكميات.

نفترض وجودغاز محبوس في أسطوانة يغلقها مكبسأ وبالون مملوء بالهواء وكلاهما (نظام) ،فإن كلاً من ضغط الجزيئات (P) ودرجة حرارتها (T) والحجم الذي تشغله (V) وهي كميات ثابتة طالما لم يحدث تسرب للغاز يغير حجمهأ وأن يتبادل حرارة مع الوسط المحيط به، ولايمثل تاريخ الجزيئات (زمن بقاءها في محتواها) أي أهمية في هذا الشأن .

بينما لايمكن اعتبار الشغل (W) متغير حالة حيث لايمكننا عندما يعود نظام إلى حالته الأولى من ضغط وحجم ودرجة حرارة إلى تأكيد أن الغاز لم يبذل خلال فترة حدوث الاتزان شغلاً كما أن الحرارة (الطاقةالحرارية) ليست متغير حالة حيث يمكن تسخين جزيئات الغاز المحبوس بطرق كثيرة لاتتضمن جميعها سريان الحرارة إلى الغاز فحرارة الشمس تزود الغاز بالطاقة الحرارية وتؤدي لتسخينه، والفعل الميكانيكي (الاحتكاك) يؤدي لرفع درجة الحرارة حتى لوكان الوسط المحيط بارداً وعلى ذلك لاتدل درجة الحرارة على كمية الطاقة الحرارية التي انتقلت للغاز لكي يصل إلى هذه الدرجة، ومن ثم فإن مصطلح المحتوي الحراري ليس محددا تماما وتكون الطاقة الحرارية محددة

بدقة فقط إذا كانت عملية الانتقال تتم نتيجة اختلاف درجتي حرارة النظام والوسط المحيط $(Q = mc\Delta T)$

وبالمثل فالطاقة الداخلية للنظام(U) والتي تمثل طاقتي الحركة والوضع والطاقة الكيميائية والكهربائية والنووية وجميع الصور الأخرى من الطاقة التي قد يمتلكها النظام (جزيئات الغاز) يصعب قياسها بدقة ولكننا نستطيع حساب التخير في هذه الطاقة (ΔU) ،لذلك لايمكن اعتبارها متغير حالة، بينما يمكن اعتبار التغير في الطاقة الداخلية متغير حالة.

(١-٢) القانون الأول للديناميكا الحرارية) :

يمثل القانون الأول للديناميكا الحرارية أحدي ركيزتين أساسيتين لعلم الديناميكا الحرارية بأكمله وهو بشكل محدد تطبيق لقانون بقاء (حفظ) الطاقة ولكن في صورة عامة ولنظام محدد ولفهمه دعنا نفترض

- نظام محدد (كمية من غازمحبوس في وعاء محكم الإغلاق) ، لهذا النظام طاقة داخلية محددة (U_1) تمثل كل أنواع الطاقة التي تمتلكها جزيئات النظام وهي كمية يصعب حسابها، هذه الكمية يمكن أن تتغير بإحدى طريقتين عامتين:

  - تبادل النظام الحرارة مع الوسط المحيط (فقداً أو اكتساباً) .
  - بذل النظام لشغل ضد بعض أنواع القوي الخارجية.
  - يمكننا في ضوء ماسبق حساب التغير في الطاقة الداخلية للنظام(ΔU) بدلالةالحرارة التي يتم تبادلها مع النظام (ΔQ) والشغل المبذول (من أوعلى) النظام (ΔW)حيث:

$$\boxed{\Delta U = \Delta Q - \Delta W}$$

ولتطبيق المعادلة السابقة يجب الانتباه إلى الإشارات الدالة على طبيعة تغير كل كمية فمثلاً

- إذا كان الشغل المبذول من النظام (بواسطة النظام) فإن ذلك يؤدي لنقص الطاقة الداخلية ولذلك تكون إشارته سالبة ..... والعكس بالعكس.
- إذا كانت الحرارة (الطاقة الحرارية) تنتقل من الوسط الخارجي إلي النظام فإنها ستؤدي إلي زيادة الطاقة الداخلية للنظام ولذلك تكون إشارتها موجبة .....والعكس بالعكس.

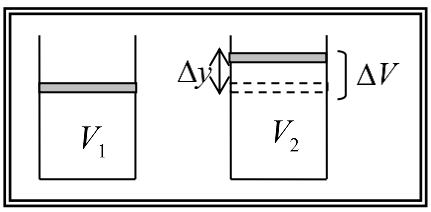
جدير بالذكر أن القانون الأول للديناميكا الحرارية ينطبق على جميع الأنظمة مهما كانت معقدة .

- **التفكير الناقد**

إذا اعتبرنا جسمك (نظام) فلكي يظل هذا النظام بسيطاً لن نسمح لك بالأكل (تناول الطعام) أو(إخراج الطعام) لكن هذا النظام يفقد طاقة داخلية باستمرار الوقت وهذه الطاقة المستهلكة تُصرف نتيجة انتقال الحرارة من الجسم للوسط المحيط وبعضاً منها على شكل شغل.

فهل يمكنك كتابة صيغة القانون الأول للديناميكا الحرارية لهذا النظام؟ وهل يمكن أن تفسر دلالة الإشارات المستخدمة في جميع الحدود في المعادلة؟

(٣-١) الشغل المبذول أثناء تغير الحجم :



إذا اعتبرنا أن النظام هو كمية الغاز المحبوس في أسطوانة مغلقة بمكبس عديم الاحتكاك كالمبين بالشكل المقابل.

والمطلوب :- حساب الشغل الذي يبذله الغاز عندما يدفع المكبس إلى الأعلى قليلاً

الحل :-

عندما تكون إزاحة المكبس صغيرة فإن ضغط الغاز لن يتغير بشكل ملحوظ وعلي ذلك يمكن اعتبار (التغير تحت ضغط ثابت)

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = P \cdot A$$

حيث (P) ضغط الغاز، (A) مساحة المكبس

$$\because \Delta W = F \cdot A \cdot \cos\theta \Rightarrow \therefore \Delta W = (P \cdot A) \times \Delta y \times \cos\theta = (P \cdot A) \times \Delta y \times 1$$
$$\because \Delta V = A \times \Delta y$$
$$\therefore \Delta W = P \cdot \Delta V$$

ويكون (ΔW) موجب أثناء التمدد لأن (V_2) اكبر من (V_1) .

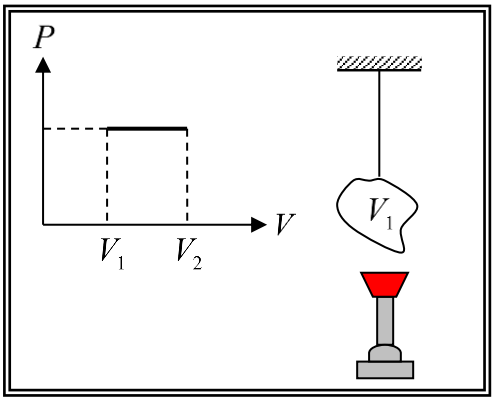
ويكون (ΔW) سالب إثناء الانكماش لأن (V_2) اصغر من (V_1) .

والمعادلة السابقة تنطبق على أي نظام ضغطه ثابت أثناء تغير الحجم

تذكر أن :

شغل النظام يمكن حسابه من مساحة الشكل تحت منحني (P – V)

ولتوضيح ذلك،



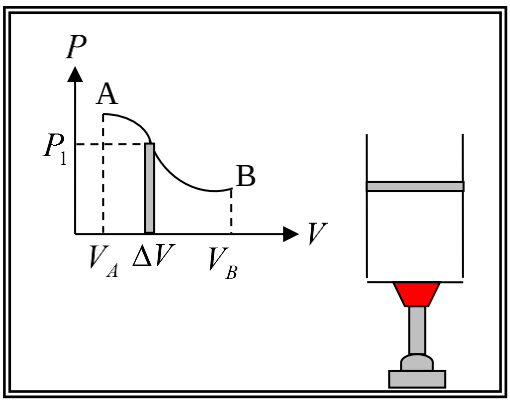
نفرض جسماً صلباً حجمه (V_1)موجود تحت الضغط الجوي (P_A) وأننا سخنا هذا الجسم فإن هذا الجسم سيتمدد ويصبح حجمه (V_2) ، ولن يتغير الضغط المسلط عليه أثناءالتمدد وسيظل(P_A) .

ويمكن تمثيل ذلك بالمنحني الموضح بالشكل المقابل حيث يكون

ΔW= مساحة الشكل تحت المنحني

ولتحقيق الغرض من هذه الفقرة يكون التساؤل ماذا لو تغير الحجم نتيجة تغير الضغط؟

ولتوضيح ذلك :-



نفترض وجود كمية من غاز محبوس في أسطوانة مغلقة بإحكام بواسطة مكبس عديم الاحتكاك حيث يمكن تغيير الضغط المسلط علي الغاز بوضع أثقال علي المكبس كمايمكن تغيير حجم الغاز وضغطه بتسخينه أوتبريده

وبفرض تغير حجم الغاز المحبوس من (V_A) إلى(V_B)أ ثناء تغير الضغط المسلط عليه، وفقاً للمسار الموضح بالشكل المقابل عندئذ يكون الشغل المبذول خلال المرحلة الصغيرة (ΔV)كما لوكان تحت ضغط ثابت (P)

ΔW = مساحة المستطيل المظلل

ويكون التمدد الكلي من (V_A) إلى (V_B) ممثلاً مجموع مساحات المستطيلات الصغيرة من A إلي B

$\Delta W = \sum$ (مساحة المستطيلات)

$\therefore \Delta W = (P - V)$ مساحة الشكل تحت منحني

(١-٤) العمليات المألوفة في الغازات

١- العملية (التغيرات) الأيزوثرمية :

هي العمليات التي تتم عند ثبوت (عدم تغير) درجة الحرارة للنظام أثناءالتغير من حالة إلى حالة وغالباً هذه العمليات تتم ببطء بدرجة تكفي لاعتبار الضغط ودرجة الحرارة منتظمين في أي لحظة خلال النظام بأكمله.

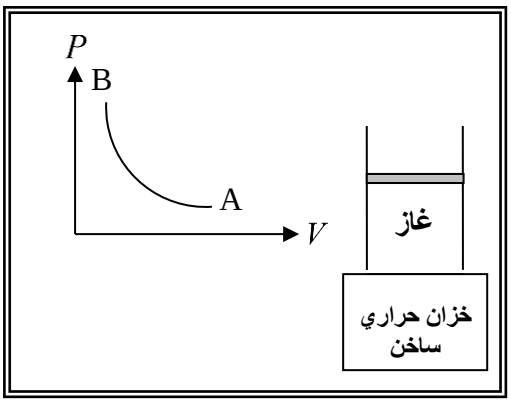
ولما كانت درجة حرارة الغاز المثالي مقياساً لطاقته الداخلية فإن العملية الأيزوثرمية هي عملية ثابتة الطاقة الداخلية أي أن:

$$\because U_1 = U_2 \Rightarrow \therefore \Delta U = 0$$

وتصبح صيغة القانون الأول للديناميكا الحرارية لغاز مثالي أيزوثرمي

$$\boxed{\because \Delta Q = \Delta U - \Delta W \Rightarrow \therefore \Delta Q = -\Delta W}$$

ولتوضيح العملية الأيزوثرمية



نفترض كمية من غاز محبوس في أسطوانة يغلقها مكبس وقاعدتها تتلامس حرارياً مع خزان حراري (ثابت درجة الحرارة) تلامساً جيداً مما يجعل درجة حرارة الغاز ثابتة دوماً بشرط عدم تحرك المكبس حركة سريعة

وبفرض زيادة الضغط على المكبس ببطء شديد عندئذ يزداد الضغط ويقل الحجم ببطء أيضا عند ثبات درجة الحرارة، يمكن تمثيل هذه العلاقة وفقاً لقانون الغاز المثالي كالموضح

بالرسم حيث

$$\boxed{\because PV = nRT \Rightarrow \therefore P = \frac{cons\tan t}{V} \Rightarrow P\alpha\frac{1}{V}}$$

وبفرض أن الغاز أنضغط من نقطة (B) إلي نقطة (A) فإذا خففنا الضغط ببطء فإن حجم الغاز يزداد مع بقاء درجة حرارته ثابتة وتظل العلاقة البيانية صحيحة وتسمى هذه العمليات (عمليات انعكاسية أوعكوسة) ، وبهذا تظل بارامترات الحالة لها نفس القيم في جميع المراحل بغض النظر عن الاتجاه الذي تجري فيه العملية .

يراعى أن العمليات ليست جميعها انعكاسية فالعمليات التي يصاحبها احتكاك كبير لايمكن أن تكون انعكاسية ... هل تعرف لماذا؟

٢- العمليات الأديباتيكية:

هي تلك العمليات التي لايفقد فيها النظام ولايكتسب طاقةحرارية

أي العمليات التي يكون فيها النظام معزولاً تماماً عن الوسط المحيط أي التي تتم بسرعة عالية جداً (كالانضغاط الفجائي للغاز) حيث تكون الطاقة المتبادلة بين النظام والوسط المحيط خلال تلك الفترة متناهية الصغر (صغيرة جداً) ويمكن إهمالها وعلى ذلك يمكن كتابة صيغة القانون الأول على النحو التالي :-

$$\because \Delta U = \Delta Q - \Delta W$$
$$\because \Delta Q = 0$$
$$\therefore \Delta U = -\Delta W$$

وهي تعبر عن أن :-

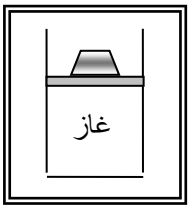
- **إذا كان النظام يبذل شغلاً فإن الطاقة الداخلية للنظام لابد وأن تقل هذا لأن الشغل يكون على حساب الطاقة الداخلية.**
- **إذا كان الشغل مبذول على النظام فإن طاقة النظام الداخلية لابد وأن تزيد.**
- **نلاحظ أن بارامترات الحالة كلها (T ,P,V) تتغير في هذا النوع من التحولات**

في ضوء ماسبق هل يمكنك وصف (شرح) ومن ثم تسمية العملية التي تحدث عندما يخرج غاز مضغوط تحت ضغط عالي عبر ثقب صغير إلى فراغ كبير كالموضح بالشكل المقابل

وهل يمكنك أن تعطي مثالاً واحداً علي الأقل لنوع واحد من هذا التغير يحدث في حياتنا اليومية.

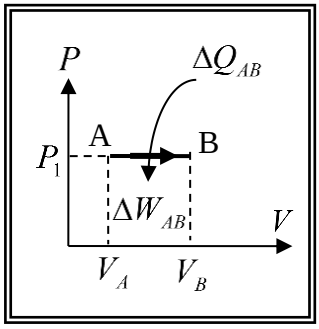
٣- العمليات الدورية :

لفهم هذه العمليات دعنا نجزئها إلى مراحلها المختلفة ودراسة كل مرحلة مع رسم العلاقة البيانية المعبرة عن هذه المرحلة وصولاً إلى الشكل المتكامل للعملية .



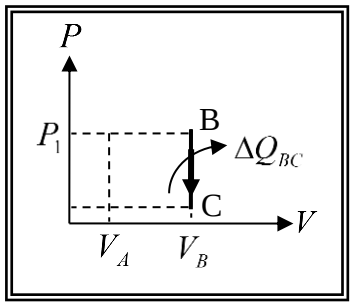
ونفترض من أجل ذلك أن لدينا نظاماً يتكون من غاز محصور في أسطوانة ذات مكبس موضوع عليه أثقال ايمكن زيادتها أو إنقاصها كالمبين بالرسم

المرحلة الأولى :-



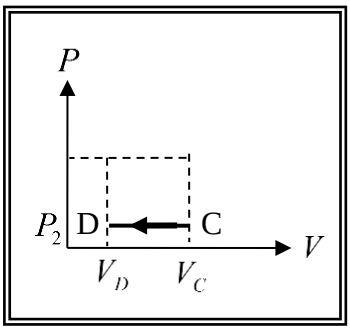
عند تسخين النظام (الغاز) ببطء سوف يزدادحجمه ويظل الضغط ثابت (تقريباً) لان الأثقال على المكبس لم تتغير ويمكن تمثيل هذه المرحلة بيانياً كما بالشكل المقابل والذي سبق لنا دراسته .

كما أن كمية الحرارة التي يكتسبها النظام تكون موجبة ولما كان الغاز قد تمدد (ازداد حجمه) فإنه يبذل شغلاً يمكن حسابه من مساحة الشكل تحت المنحنى (P – V)



المرحلة الثانية :- عند تبريد هذاالنظام ببطء (برفع الأثقال ببطءأيضا) بحيث يظل الحجم ثابتاً (المكبس لم يتحرك) ،فإن الشغل المبذول يساوي (صفراً) ويمكن تمثيل ذلك كما بالشكل المقابل ولكن (ΔQ) تكون سالبة ولكن الضغط يقل.

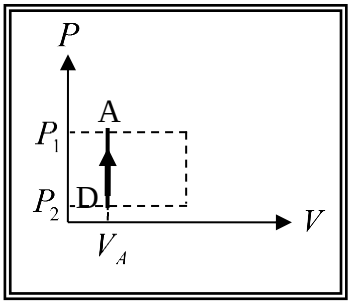
المرحلة الثالثة :-



مع استمرار تبريد الغاز فإن الغاز ينكمش تحت ضغط ثابت (P_2) وعليه فإن(ΔV) تكون سالبة وعلى ذلك يبذل النظام شغلا سالباً، ويمكن حسابه أيضا من مساحة الشكل تحت المنحنى كما أن(ΔQ) تكون سالبة

المرحلةالرابعة :- يسخن الغاز مع ثبات حجمه

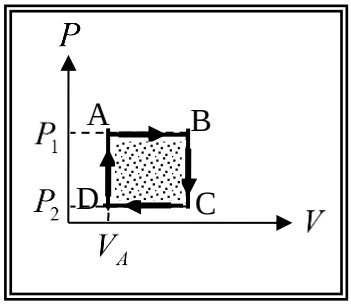
(بزيادة الأثقال علي المكبس)



مما يؤدي لزيادة الضغط ،ولايبذل النظام شغلاً في هذه العملية ولكن الحرارة تضاف إلى النظام .

الدورة الكاملة :-

بجمع الأشكال السابقة في علاقة بيانية واحدة نحصل على دورة حراري كاملة ويكون



الشغل الكلي = مساحة الشكل المظلل

$$\Delta W = \Delta W_{AB} - \Delta W_{CD}$$

وهذه النتيجة تتيح لنا إيجاد الشغل الناتج في محرك أو آلة بصورة مباشرة

هل يمكنك تسمية التغير الحادث في كل مرحلة من المراحل الأربعة السابقة؟

(يمكنك زيادة معلوماتك بدراسة دورة أوتو (الدورة المثالية) لمحرك جازولين عادي)

الآلة الحرارية (المضخات الحرارية والمبردات)

الآلة الحرارية :

هي أداة تقوم بتحويل الطاقة الحرارية التي تتلقاها إلى شغل ميكانيكي مفيد .

وتتكون أي آلة حرارية من ثلاث أجزاء رئيسية هي :-

١- المادة العاملة :

وهي مادة تمتص الطاقة الحرارية وتقوم بعمل الشغل المفيد كما تقوم بالتخلص من الطاقة غير المستفاد منها

مثل الجازولين في محركات الاحتراق الداخلي أو حتى المحرك الكهربائي الذي هو في الواقع جزء من المحرك الأكبر الذي يحتوي على مولدات وحدة توليد القوى.

٢- الخزان الحراري الساخن (المستودعا لساخن) :

وهو مصدر يزود المادة العاملة بالطاقة الحرارية بشكل مستمر دون أن تتغير درجة حرارته ويسمى أحيانا الفرن .

٣- الخزان الحراري البارد (المستودع البارد :

وهو مستودع يتم فيه التخلص من الطاقة التي لم يُستفاد منها في عمل شغل دون أن تتغير درجة حرارته أيضا .

وتستخدم محركات الطاقة الحرارية لبذل الشغل أما المبردات والمضخات الحرارية فإنها تقوم بالعملية العكسية تماماً أي أنها تستخدم الشغل لنقل الحرارة من منطقة باردة (داخل المبرد) إلى منطقة دافئة

(خارج المبرد) ، وفي هذه الحالة تسير الحرارة عكس اتجاه سريانها الطبيعي لذلك يلزم إمداد النظام بالطاقة (الشغل) من الخارج ليستمر سريان الحرارة وكثيراً ماتستخدم المضخات الحرارية في تدفئة المنازل حيث يسخن الهواءالمندفع إلى داخل المنزل بانتزاعه الحرارة من الخارج.

كفاءة (مردود) الآلة الحرارية؛

مع تفاقم مشكلة الطاقة التي يعاني منها العالم حالياً، ونقص مصادر الطاقة الطبيعية على سطح الأرض كان من الواجب البحث عن طرائق لتحسين كفاءة محركات السيارات وآلات النقل الأخرى ولكن وللأسف فإن هذه الغاية مقيدة بشدة لأن القانون الأول للديناميكا الحرارية يضع حداً للكفاءة الممكن تحقيقها.

ولفهم ذلك دعنا نُعرف كفاءة (مردود) الآلة الحرارية بأنها

النسبة بين صافي الشغل الناتج لكل دورة من دورات المحرك والطاقة الداخلة لكل دورة

- وصافي الشغل الناتج من كل دورة سبق لنا حسابه بالمساحة المحصورة داخل الدورة الواحدة لمنحنى (P – V) .
- الطاقة المصروفة في إنتاج هذا الشغل تكون دائماً أكبر من الشغل حيث يُفقد دائماً جزءاً من هذه الطاقة بطريقة غير منتجة للشغل مثل الغازات الساخنة التي تخرج من ماسورة عادم السيارة كما أن فواقد الطاقة في التغلب على الاحتكاك (مع الأرض ومع الهواء) مؤثرة بشكل كبير.

لذلك لاتوجد آلة حرارية كفاءتها (100%) .

وبتطبيق القانون الأول للديناميكا الحرارية والذي هو صورة من صور قانون بقاءالطاقة يكون

صافي الشغل الناتج لكل دورة = $\Delta Q_{in} - \Delta Q_{ex}$

$$\therefore \eta = \frac{\Delta Q_{in} - \Delta Q_{Ex}}{\Delta Q_{in}} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{\Delta Q_{Ex}}{\Delta Q_{in}}$$

وقد تعتقد أن كل ماينبغي عمله هو تصميم محرك تكون الطاقة المُهدرة في عمليات تصريف العادم صغيرة جداً ولكن هذا ليس بسيط كما يبدو ، وتكمن الصعوبة في أن الطاقة الحرارية يمكنها أن تبذل شغل عندما تنتقل من جسم ساخن إلى آخر بارد فقط أي أن الشغل يُبذل إذا كان سريان الحرارة موجود فقط.

بناءاً على ماتقدم يمكن استنتاج أن الشغل الذي تستطيع بذله بواسطة كمية معينة من الحرارة يعتمد على فرق درجتي الحرارة التي ينتقل بينهما وكلما كان الفرق بين درجتي حرارة المستودعين الساخن والبارد كبيراً كانت كفاءة الآلة أكبر.

وقد نجح كارنو سنة ١٨٢٤ في إثبات أن

$$\eta = 1 - \frac{T_{ex}}{T_{in}} \quad \text{(كفاءة المحرك)}$$

وعادة لاتكون درجة العادم أقل من درجة حرارة الجو (300 K)لذلك يجب أن تكون درجة المادة العاملة (المائع) عالية جداً في أكثر المراحل سخونة في الدورة.

لذلك يمكن القول أن كفاءة المحرك تتوقف على كيفية تصميمه (المادة المستعملة في صنعه والمادة العاملة / المائع المستخدمة في امتصاص الطاقة وعمل الدورة) .

والجدول التالي يوضح أمثلة على الكفاءة القصوى لبعض المحركات

نوع المحرك	الكفاءة القصوى
المحرك البخاري	15%
التوربين البخاري	35%
المحرك الجازوليني	30%
محرك الديزل	40%

القانون الثاني للديناميكا الحرارية

سنتناول هذا الموضوع بشكل يجعله بسيطاً ومنطقياً ومقبولاً سواءاً من المتعلمين أو المعلمين ، وسننطلق من مبادئ عامة نتفق جميعاً حولها .

فمثلاً نحن نتفق علي أن الطاقة محفوظة ، وقد سبق تأكيد ذلك من خلال دراسة القانون الأول للديناميكا الحرارية باعتباره صورة من صور هذا القانون والذي تناولته الفيزياء بشكل موسع ، لكن هذا القانون وفي أي شكل من أشكاله المعلومة للجميع لم يتطرق إلى كيفية سير الأحداث .

ولنضرب مثلاً يوضح المقصود

نحن نعلم أنه إذا سقط حجراً من ارتفاع ما في مجال الجاذبية الأرضية فإن طاقة وضعه التثاقلية الكامنة ستتحول إلى طاقة حركية ، وعندما يصطدم بالأرض ويسكن تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة حرارية ويمكن تأكيد تساوي هذه الطاقات .

ومع ذلك فإن الحجر المستقر علي الأرض لا يستطيع تلقائياً أن يعيد هذه الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية ومن ثم إلى طاقة وضع تثاقلية .

بالمثل نعلم أن الطاقة الحرارية تنتقل بشكل تلقائي من الجسم الساخن { الأعلى في درجة الحرارة } إلى الجسم البارد { الأقل في درجة الحرارة } ، ولكن من المستحيل في النظام الدوري حدوث العملية العكسية [انتقال الحرارة من الجسم البارد{ الأقل في درجة الحرارة } إلى الجسم الساخن { الأعلى في درجة الحرارة } بصورة تلقائية ، ولكن هذه العملية تحتاج إلى بذل شغل خارجي على النظام .

كما وأن في المحركات تكون الكفاءة { صفراً } إذا تساوت درجتي حرارة الخزانين الساخن والبارد

ومن هنا تمت صياغة القانون الثاني للديناميكا الحرارية والذي نص على أن

من المستحيل الاستفادة من الطاقة الحرارية إلا إذا انتقلت من منطقة درجة حرارتها مرتفعة إلى منطقة درجة حرارتها منخفضة .

وتأكيد ذلك أن المحيط يحتوي علي كميات هائلة جدا من الطاقة الحرارية ، لكننا لا نستطيع الاستفادة منها إلا إذا وجد مكان أبرد تستطيع الحرارة أن تنتقل إليه .

الموت الحراري للكون :

الكون كان منذ بلايين السنين كرة هائلة الحجم قطرها عشرة أمثال قطر الشمس ودرجة حرارتها مرتفعة جدا بصورة لا يمكن تخيلها ، وخلال هذه البلايين من السنين التي ربما تصل إلى (١١) بليون سنة تمدد الكون اديباتيكياً نتيجة تمدد حوافه الخارجية في الفضاء بسرعات كبيرة تقترب من سرعة الضوء .

وتنطبق قوانين الديناميكا الحرارية علي هذه العملية حيث تنتقل الحرارة من المناطق الساخنة إلى المناطق الباردة ، وبذلك ظلت درجة حرارة هذه الكرة الهائلة الحجم تنخفض باستمرار الا ان درجة حرارة الجزء العظم من الكون ظلت منخفضة إلى حد كبير (حوالي 3K).

ونحمد الله أننا لازلنا علي الأرض نستمد طاقة من الشمس القريبة نسبياً منا عن طريق الإشعاع .

ولكن دعنا نتساءل ... ماذا يحدث لو انخفضت درجة حرارة الشمس ؟

ولان ذلك الأمر متوقع حدوثه خلال بضع بلايين السنين القادمة ، فإن الحرارة سوف تتوقف عن الانتقال عندما تتساوي درجتي حرارة الشمس والأرض وإثناء ذلك ستقل تدريجيا معدل انتقال الحارة إلى الأرض حتى يتوقف تماماً ، وعلي الرغم من أن الطاقة الكلية للكون ستبقي محفوظة وثابتة لكنها عندئذ ستصبح عديمة الفائدة وسوف تموت النباتات لعدم وجود جسم ساخن يمدها بالحرارة والضوء وسوف تتوقف جميع المحركات عن العمل لعدم وجود مستودع بارد يمكن أن تُصرف الحرارة إليه .

باختصار سوف تتوقف الحياة في كل مكان في الكون وهذا هو ما يعرف بالموت الحراري للكون عموما نحن لسنا متأكدين من أن هذا يمكن أن يحدث في أي وقت ، بل نتوقع أن يعود الكون إلى الانكماش مرة أخري ليصبح كرة ملتهبة كما بدأ .وهذا موضوع أخر يطول الحديث فيه ، لكن يبقي أن نؤكد أن هذه مجرد نظريات علمية مبنية علي شواهد منطقية ولكن أمر الكون كله بيد عليم خبير هو الذي يعلم السر وأخفي .

الفصل الرابع

الإلكترونيات الحديثة

مقدمة

أصبحت الالكترونيات والاتصالات جزءا لا يتجزأ من حياتنا فالتلفزيون والتليفون المحمول والكمبيوتر والأقمار الصناعية وهذا يدل على التقدم الهائل في استخدام الالكترونيات ، والاتصالات حيث أمكن تداول المعلومات على شكل كلمات منطوقة أو مكتوبة أو رسومات بيانية أو أرقام
أو موسيقى أو صور أو بيانات موجودة على الحاسب الآلي

نطاقات الطاقة

كما هو معروف إن المادة تتكون من ذرات وان حالات المادة ثلاث هي الحالة الغازية والحالة السائلة والحالة الصلبة وان مستويات الطاقة للذرة لا تتأثر مالم تتعرض الذرة إلى أي مؤثر خارجي كالمجال الكهربائي أو اقتراب ذرات أخرى منها إلى غير ذلك من المؤثرات . وتكون المسافة بين الذرات في جزيئات الغازات كبيرة بالنسبة إلى نصف القطر للذرة لذلك فإن الالكترونات في مستويات الطاقة لذرة الغاز لايقع عليها أي تأثير من الكترونات الذرات المجاورة وتقع هذه الذرات فقط تحت تأثير أنويتها الخاصة بها . لذلك نجد أن كل جزئ غاز هو عبارة عن منظومة منفصلة أي مستويات الطاقة للذرة مشابهه لمستويات الطاقة في الذرة الواحدة .

أما الحالة السائلة فتتعرض الالكترونات في مستويات الطاقة لذرة السائل لتأثير أنويه الذرات المجاورة بالإضافة لتأثير أنويتها ونتيجة لذلك تتغير مستويات الطاقة لذرة السائل عما لو كانت في حالة منفصلة .

وقد أثبتت الدراسات إن للأجسام الصلبة من المعادن وأشباه الموصلات تركيب بلوري .

تعريف البلورة : هي ترتيب هندسي منتظم للذرات في الحالة الجامدة

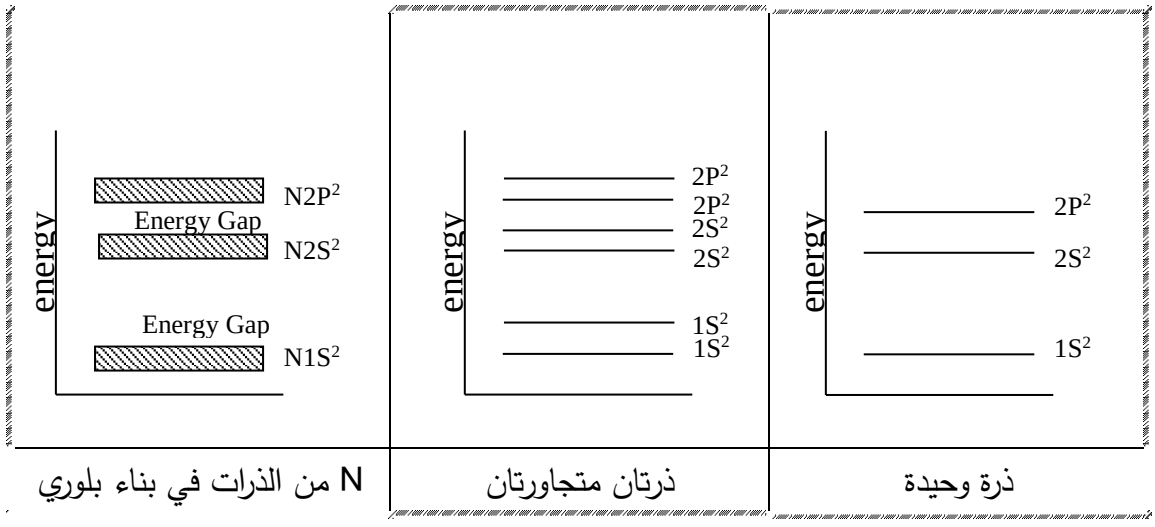
وفي هذه الحالة تكون ذرات المادة الصلبة قريبة جدا من بعضها البعض مما يؤدي إلى تأثر الالكترونات في مستويات الطاقة بانوية الذرات المجاورة بالإضافة إلى الأثر الناتج عن أنويتها الخاصة بها . أي إن الالكترونات لا تكون متأثرة بنواة ذرة معينة فقط وإنما تتأثر أيضا بالمجالات الكهربائية

للذرات المجاورة وهذا يعنى أن طاقة الإلكترون الكلية وبالتالي مستوى طاقته سوف تكون محصلة هذه المجالات الكهربائية مجتمعة .

وكنتيجة للبناء البلوري لذرات المعادن وأشباه الموصلات تتداخل الكترونات الذرات المتجاورة في الفراغ بين أنوية الذرات مما يؤدي إلى تغير في مستويات الطاقة وقد وجد أن التغيير يكون صغيرا لمستويات الطاقة الداخلية القريبة من النواة ، بينما وجد أن هذا التغيير يكون كبيرا وظاهرا بالنسبة لمستويات الطاقة الخارجية البعيدة عن النواة ، حيث تقسم أكثر من نواة هذه الالكترونات فيما بينها . بالرغم من التغير الحاصل على مستويات الطاقة الا أن المجموع الكلي لطاقة الذرات يبقى ثابتاً، حيث انه لو زادت طاقة أحدى مستويات الطاقة في ذرة معينة فاننا سوف نجد أن طاقة مستوى الطاقة المقابلة لها في الذرة المجاورة سوف تقل .

وقد أدى التأثير المتبادل بين الالكترونات في مستويات الطاقة الخارجية والبعيدة عن النواة الى تكوين ما يدعى بنطاقات الطاقة (Energ Bands) ولتوضيح مفهوم نطاقات الطاقة نذكر المثال التالي لنفرض ان لدينا ذرة كربون واحدة منفصلة والتوزيع الالكتروني لمستويات الطاقة حول نواة ذرة الكربون C هو كما يلي : $1S^2,2S^2,2P^2$

أما في ذرتين متجاورتين من الكربون فاننا نجد إن بعض مستويات الطاقة في إحدى الذرتين قد زادت طاقته بينما تقل طاقة مستويات الطاقة في الذرة الأخرى المجاورة بنفس المقدار. أما إذا كان لدينا عدد N من ذرات الكربون المشتركة في تركيبة بلورية واحدة فاننا نجد إن مستوى الطاقة الواحد في ذرة الكربون المنفصلة قد أصبح عبارة عن مستويات طاقة في الذرات المتقاربة وان الفارق في الطاقة بين هذه المستويات يكون صغيرا جداً في حين ان عددها يكون كبيراً لدرجة انه يمكن اعتبارها متداخلة ويدعى هذا العدد الكبير من مستويات الطاقة القريب جدا من بعضها البعض بنطاقات الطاقة .



وكما يتضـــح لنا أنه يوجد بكل نطاق طاقة عدد N من مســـتويات الطاقة يحتوى كل مســـتوى على إلكترونين أي ان عدد الالكترونات في كل نطاق طاقة يســاوي 2N من الالكترونات ، كما يلاحظ وجود فجوات في الطاقة بين كل نطاق طاقة وأخر يطلق على فجوات الطاقة (Energy Gap) هذه بالنطاق المحظور (Forbidden Band) ويمكن أن تتداخل بعض نطاقات الطاقة فيما بينها عندما تكون المسافة بين الذرات في البلورة صغيرة جداً ويعتمد ذلك على موصلية المادة .

وبالنظر الى N من الذرات في بناء بلوري لوجدنا أن النطاق الاول يحتوى على 2N من الالكترونات وهذا النطاق يتسع فقط 2N من الالكترونات لذلك نجد أن هذا النطاق ممتلئ وكذلك النطاق الثاني فهو ممتلئ أيضاً . أما النطاق العلوى فهو يحتوى 2N من الالكترونات في حين يتسع 6N من الالكترونات لذلك يحدد هذا النطاق تكافؤ العنصـــلر ويدعى بنطاق التكافؤ (Valence Band) كذلك يوجد نطاق طاقة أعلى من نطاق التكافؤ وهو النطاق الناتج عن النتقال الكترون من مســـتوى الطاقة 2P الى مســـتوى الطاقة 3S في حالة إثارة هذه الذرة ويدعى هذا النطاق بنطاق التوصـــيل (Conduction Band) وهو نطاق فارغ تماما من الالكترونات

تصنيف المواد حسب الموصلية للتيار

تنقسم الجوامد من حيث توصيلها للتيار الكهربائي (في ضوء نطاقات الطاقة لهذه المواد) الى :

١- مواد رديئة التوصيل (العازلات) Insuiadors

هي التى لا تســـمح بمرور التيار الكهربائي وفي هذه المواد يكون اتســـاع النطاق المحظور كبيرا أي الفارق في الطاقة بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصـــيل كبير نســـبيا يصـــل لحوالى 3.8 ev لذلك من المستحيل منح أي إلكترون هذه الطاقة.

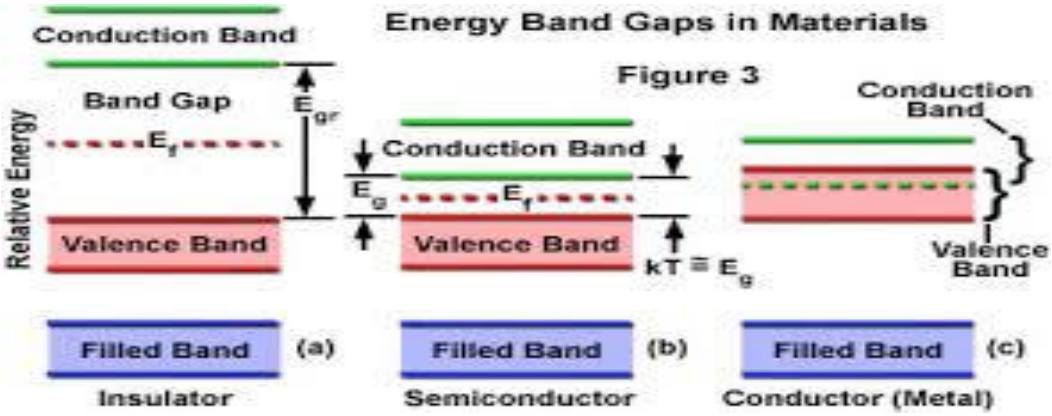
٢- مواد جيدة التوصيل (الموصلات) conductors

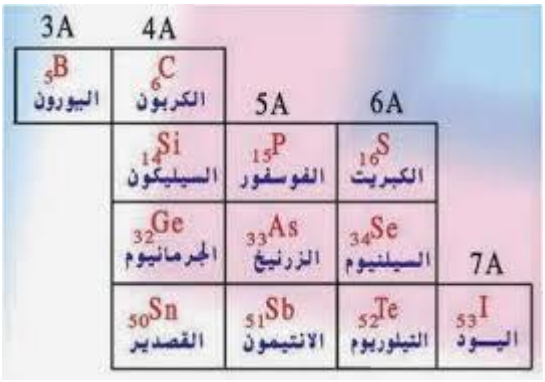
تتميز المواد الموصـــلة بعدم وجود نطاق محظور بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصـــيل ، أي يتداخل كل من نطاقي التكافؤ والتوصـــيل فيما بينهما وبذلك نجد أن الكترونات التكافؤ هي نفســـها الكترونات التوصـيل وعند تواجد مجال كهربائي ما تكتسـب هذه الالكترونات طاقة إضـافية مما يؤدي الى انتقالها بكل يسر وسهولة بين مستويات الطاقة المختلفة .

٣- أشباه الموصلات Semi conductors

تدعى المواد التى يكون عرض النطاق المحظور بها صغير حوالي (1ev) بأشباه الموصلات وفي هذه المواد وعند درجة الصـــفر المطلق تكون جميع الالكترونات في نطاق التكافؤ ولا يوجد أي منها في نطاق التوصيل لذلك فإن هذه المواد تكون عازلا مثالياً عند درجة الحرارة هذه ، أما عند زيادة حرارة هذه المواد فإن الالكترونات ســوف تقفز من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصـيل وبذلك تســلك ســلوك المواد

الموصلة ،ومن أشهر هذه المواد السيلكون والجرمانيوم وتنتمي معظم أشباه الموصلات الى المجموعة الرابعة في الجدول الدوري ويوضح الشكل التالي نطاقات الطاقة

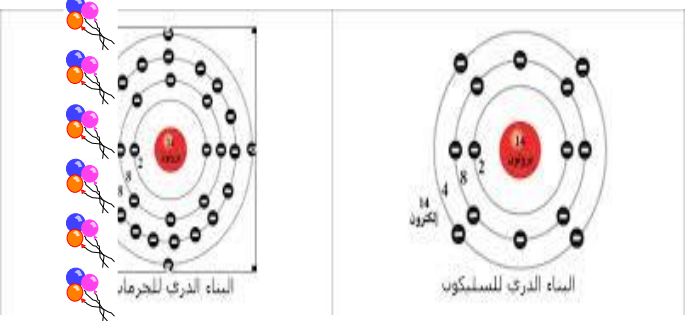




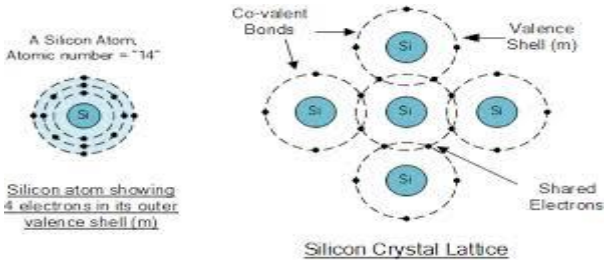
أشباه الموصلات Semi conductors

تقع أشباه الموصلات المستخدمة في الاغراض الالكترونية ضمن المجموعة الرابعة في الجدول الدورى أي ان هذه العناصر رباعية التكافؤ بها (٤) الكترونات في مستوى التكافؤ ومن اشهر هذه العناصر السيلكون والجرمانيوم فمثلا بلورة السيلكون النقي تتكون من ذرات سيلكون تربطها روابط تساهمية .

هي مواد توصل التيار الكهربائي في درجات الحرارة العالية ولا توصله في الدرجات المنخفضة وهي بذلك لا تعتبر عازلات كما لا تعتبر موصلات



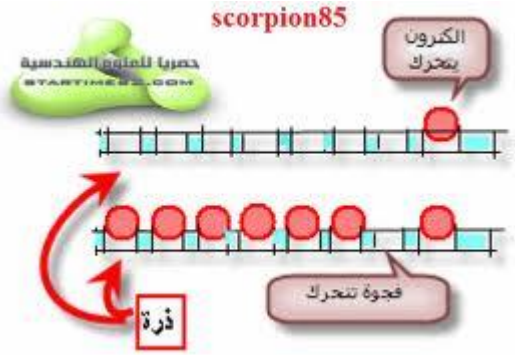
ذرة السيلكون تحتوى اربع الكترونات في القشرة الخارجية كما بالشكل لذلك تشارك كل ذرة سيلكون مع اربع ذرات من جيرانها لتكتمل القشرة الخارجية وبذلك تحتوى القشرة الخارجية لكل ذرة سيلكون على ثمانية الكترونات بالمشاركة وعلى ذلك تكون الكترونات السيلكون كالتالي :



١ – الكترونات المستويات الداخلية وهي مرتبطة بشدة جذباً بالنواة

٢ – الكترونات التكافؤ وهي في القشرة الخارجية ولها حرية أكبر في الحركة عبر المسافات البينية

وفي درجات الحرارة المنخفضـــة تكون جميع الروابط في البلورة ســـليمة ولا توجد في هذه الحالة الكترونات حرة وتكون عازلة ، وبارتفاع درجة الحرارة أو سـقوط ضـوء بشـرط ان تكون طاقته كافية لكسـر الرابطة تنكســـر بعض الروابط فتنطلق بعض الالكترونـات من روابطهـا وتصـــبح الكترونـات حرة .وبـذلـك تترك هـذه الالكترونات أمكنة فارغة في الروابط المكسـورة ويعبر عن هذه الاماكن الفارغة بالفجوات والتى كانت تشـــغلها الالكترونات المتحررة وتتحرك الالكترونات والفجوات حركة عشـــوائية ولان الذرة متعادلة كهربيا فان غياب الكترون عن الذرة يعنى ظهور شحنة موجبة ولذلك فإن الفجوة تمثل شحنة موجبة .



يلاحظ أن لا تسمى الذرة التى كسرت أحد روابطها أيونا لأن الفجوة سرعان ماتقتنص الكترونا أخر من رابطة مجاورة أو من الالكترونات الحرة فتعود الذرة متعادلة كما كانت وتنتقل الفجوة الى رابطة أخرى وهكذا .

وكلما زادت درجة الحرارة زاد عدد الالكترونات الحرة وبالتالي زاد عدد الفجوات مع مراعاة أن عدد الالكترونات الحرة يساوي عدد الفجوات في حالة السيلكون النقي . حتى تصل البلورة الى حالة الاتزان الديناميكي تسمى الاتزان الحراري إذ لا تنكسر الا نسبة ضئيلة من الروابط وفيها يتساوى عدد الروابط المكسورة في الثانية مع عدد الروابط التى يتم تكوينها في الثانية ليبقى في النهاية هناك عدد ثابت من الالكترونات الحرة والفجوات لكل درجة حرارة .

وعلى ذلك فان الالكترونات الحرة التى تتحرك هى أيضـــا مقيدة ولكن في حيز أكبر هو البلورة ذاتها ويحدها سـطح البلورة ويحتاج كسـر الرابطة الى حد أدنى من الطاقة إما على صـورة طاقة حرارية أو ضوئية كما ان التئام الرابطة تنطلق هذه الطاقة على شكل طاقة حرارية أوضوئية .

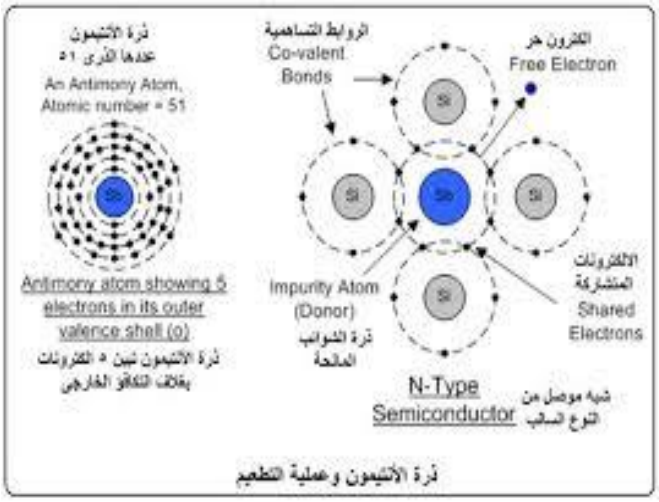
ويكون عدد الالكترونات = عدد الفجوات $n=p=n_i$

ويمكن تفسير عملية التوصيل الكهربي لأشباه الموصلات بأنها نتيجة لحركة الالكترونات والفجوات داخل البلورة فحركة الالكترونات تمثل اتجاه مرور التيار الالكتروني بينما تمثل حركة الفجوات (في الاتجاه العكسي) اتجاه مرور التيار الاصطلاحي وفي البلورة النقية يكون عدد الالكترونات المنتقلة في اتجاه مساويا لعدد الفجوات المنتقلة في الاتجاه العكسي .

التطعيم (إضافة الشوائب) لبلورات أشباه الموصلات

التطعيم يقصد به إضافة كمية قليلة من ذرات مادة أخرى الى بلورة شبه الموصل بهدف زيادة عدد الالكترونات الحرة أو الفجوات فيها والمادة المضافة تسمى الشوائب ويطلق على بلورة شبه الموصل التى تطعم بذرات من مادة شائبة أخرى بلورة شبه موصل غير نقية وتنقسم بلورات أشباه الموصلات غير النقية الى نوعين حسب نوع مادة الشوائب المضافة للبلورة كما يلي :

أولا : أشباه الموصلات من النوع (n)البلورة من النوع n–type

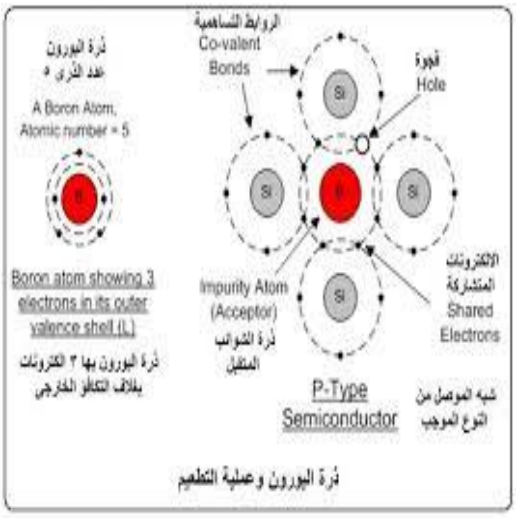


إضافة عنصر مثل الفوسفور (P) او الانتيمون (Sb) وغيره من المجموعة الخامسة من شأنه إحلال الذرة الشائبة مكان ذرة سيلكون ، وهنا تقوم ذرة الشائبة بنفس العمل الذي كانت تقوم ذرة شبه الموصل من حيث إنشاء الروابط مع الجيران كنظام البلورة

ولان الذرة بها خمس الكترونات فيصبح الإلكترون الخامس ضعيف الارتباط بالعنصر الشائب وسرعان مايصبح حرا وكنتيجة لعملية التطعيم تظهر كمية من الالكترونات الحرة يكون عددها مساوياً لعدد ذرات المادة الشائبة الداخلة في عملية التطعيم ويدعى هذا النوع من الشوائب نتيجة الخماسية التكافؤ بالشوائب المانحة أو الواهبة(donor impurity) حيث تهب ذرة الشائبة الكتروناً من الكتروناتها الخمسة ليشترك في التوصيل الكهربائي .وكما هو معروف ان الطاقة اللازمة لكسر الروابط التساهمية في اشباه الموصلات النقية تساوي فرق الطاقة بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل وتكون هذه الطاقة بحدود 1.1ev في حالة السيلكون وفي حدود 0.75ev في حالة الجرمانيوم أما عند تشكل البلورة من نوع N فإنه يتشكل مستويات طاقة للالكترونات الإضافية يقع تحت نطاق التوصيل ويكون فرق الطاقة بين هذا المستوى ونطاق التوصيل

بحدود 0.01ev فقط ويدعى هذا المستوى بالمستوى الواهب او المانح حيث تنتقل الالكترونات من هذا المستوى الى نطاق التوصيل

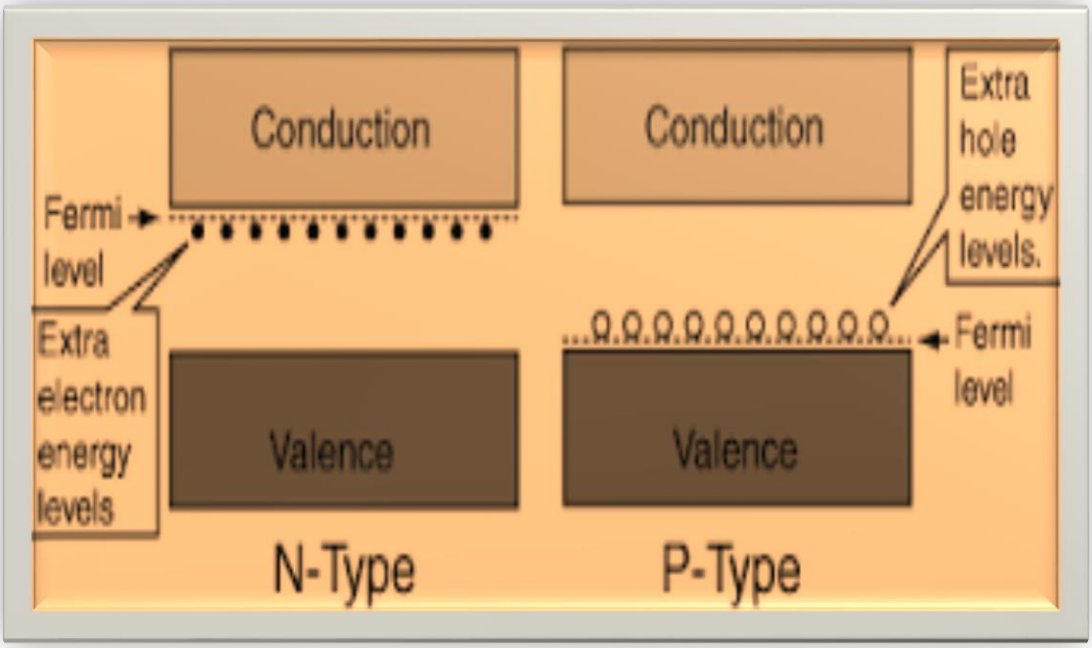
ثانياً :أشباه الموصلات من النوع (p) البلورة من النوع P-type



ونحصل على هذا النوع بإضافة ذرات الشوائب من مادة ثلاثية التكافؤ وهي تمثل عناصر المجموعة الثالثة في الجدول الدوري ومن هذه العنصر البورن والالمنيوم والانديوم ، فإذا ما اضيفت الى مادة السيلكون أو الجرمانيوم النقى شوائب من مادة ثلاثية التكافؤ فإن الالكترونات الثلاثة للمادة الثلاثية ترتبط بروابط تساهمية بينما تبقى الرابطة الرابعة غير مكتملة مما يؤدي الى تكون فجوة Hole أي ان المادة الشائبة تسمي في هذه الحالة بالشوائب الكاسبة Acceptor.

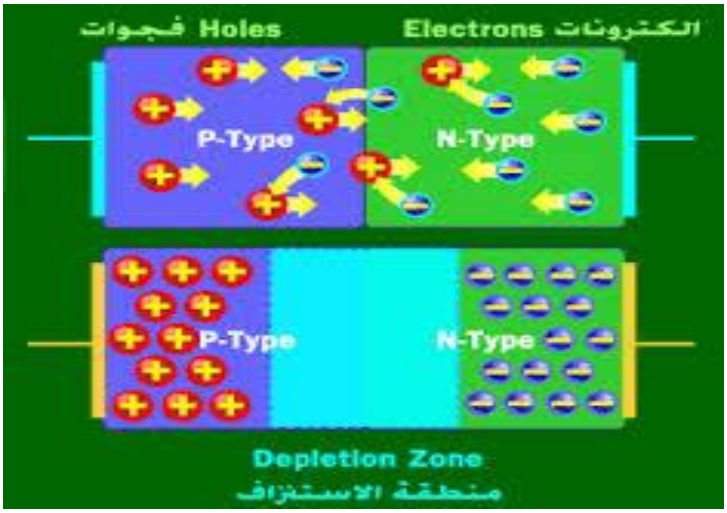
وتؤدي عملية التطعيم هذه الى تشكل مستوى يقع فوق نطاق التكافؤ ويكون فرق الطقة بين هذا المستوى ونطاق التكافؤ قليل جدا إذا ما قورن بفرق الطاقة بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل ويحدث التوصيل الكهربائي عند انتقال الالكترونات من نطاق التكافؤ الى هذا المستوى ويدعى هذا المستوى بالمستوى الكاسبLevedAcceptor. ويكون التوصيل الكهربائي نتيجة حركة الفجوات الموجبة.

الشكل التالي يوضح كلا من المستوى الواهب والمستوى الكاسب .



الوصلة الثنائية p–n the p–n junction Diode

يتم تشكيل ثنائي الوصلة p–n (الديواد) على بلورة أحادية ومتصلة من مادة شبه موصل نقي سيلكون أو جرمانيوم طعم احدى اجزاء هذه البلورة بشوائب مانحة وطعم الجزء الاخر بشوائب كاسبة ويتم تطعيم هذه البلورة بالشوائب بطرق مختلفة اثناء اعداد البلورة الاحادية او بعد اعدادها أي تصبح بلورة سالبة وبلورة موجبة ملتحمتين ومجرد تكون الوصلة الثنائية عند منطقة الالتحام كما بالشكل يحدث.



١- تعبر بعض الالكترونات الحرة من البلورة السالبة في اتجاه البلورة الموجبة لتملا عدد مساوي لها من الفجوات القريبة ويستمر الانتقال لفترة صغيرة جدا.

٢- وحيث ان البلورتان متعادلتان في الاصل ويحدث نتيجة هجرة الالكترونات يصبح الجهد على البلورة السالبة جهد موجب (شحنة موجبة) وعلى البلورة الموجبة جهد سالب (شحنة سالبة) وينشا بينهما فرق في الجهد يسمى جهد الحاجز يعمل على منع انتقال مزيداً من الالكترونات بينهما

٣- انتقال الالكترونات من البلورة السالبة يسبب نقص في نسبتها مما يسبب كسر روابط جديدة وتكوين فجوات اخرى زيادة في السالبية يعتبر ذلك كما لو انتقلت فجوات من البلورة الموجبة الى البلورة السالبة حتى يتوقف ذلك .

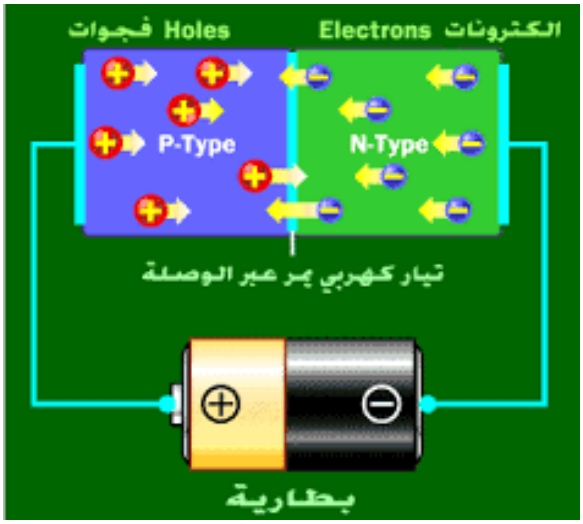
٤- تظهر منطقة خالية من حاملات الشحنة بينهما تسمى منطقة خالية أو قاحلة تفصل بينهما وعليها جهد موجب على البلورة السالبة وجهد سالب على البلورة الموجبة وينشأ فيها مجال كهربي ويتكون تيار الانتشار وهو التيار الناتج عن هجرة الالكترونات من البلورة السالبة نحو البلورة الموجبة.

٥- يؤدي المجال بينهما على دفع تيار من الالكترونات في اتجاه البلورة السالبة يسمى تيار الانسياب وهو التيار الناتج بسبب وجود فرق في الجهد بينهما يدفع الالكترونات من البلورة الموجبة الى البلورة السالبة

٦-يحدث حالة اتزان عندما يتساوى تيار الانتشار وتيار الانسياب وهما متساويان ومتضادان ومحصلتهما تساوي صفر.

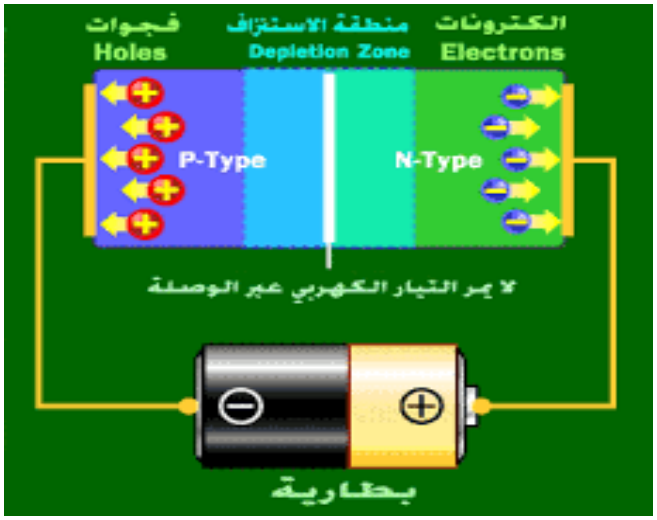
توصيل الوصلة بجهد خارجي (بدائرة خارجية)

أولا : التوصيل بطريقة الانحياز الأمامي



وفيه يكون الطرف (p) متصلا بالطرف الموجب للبطارية . والطرف (n) متصل بالطرف السالب للبطارية وعلى ذلك يكون المجال الناشئ عن البطارية عكس اتجاه المجال الداخلي في المنطقة الانتقالية فيضعفه ويسمح بذلك بمرور تيار ويوضح الشكل حركة الالكترونات والفجوات نتيجة تطبيق فرق جهد خارجي أمامي فيقل اتساع الفجوة وتقل المقاومة ويمر التيار الكهربائي.

ثانيا : التوصيل بطريقة الانحياز العكسي (التوصيل العكسي)



وفيه يوصل الطرف (p) بالطرف السالب للبطارية والطرف (n) بالطرف الموجب للبطارية كما بالشكل فينعكس اتجاه فرق الجهد وبذلك يكون المجالان الخارجي والداخلي في نفس الاتجاه ويزداد الجهد الحاجز ولا يمر التيار تقريبا ويزداد اتساع الفجوة وتزيد المقاومة .

ونخلص من طريقتي التوصيل الي:

١-الوصلة تسمح بمرور التيار في حالة التوصيل الامامي وتمنعه تقريبا في حالة الاتجاه العكسي .

٢- يمكن تشبيه عمل الوصلة الثنائية بمفتاح يكون المفتاح مغلقا في الاتجاه الامامي للجهد ومفتوحا في حالة الاتجاه العكسي .

٣- يمكن التأكد من سلامة الوصلة باستخدام أوميتر حيث يعطي مقاومة صغيرة جدا في اتجاه التوصيل الامامي وكبيرة جدا في الاتجاه العكسي .

٤- هذا السلوك يختلف تماما عن المقاومة الكهربية التى توصل التيار بنفس القيمة إذا انعكس اتجاه التيار في حال إذا ما انعكس فرق الجهد .

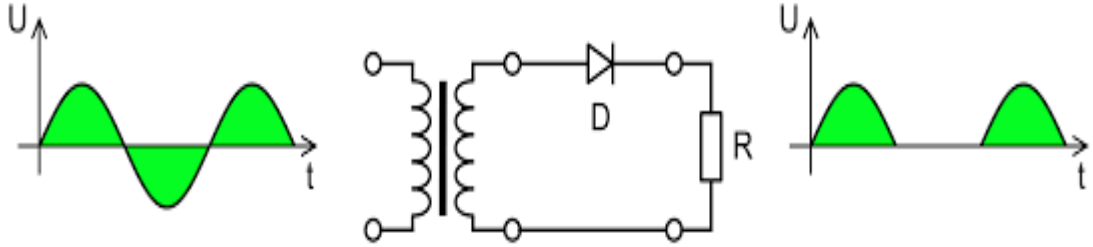
منحنى الخواص للدايود

وهو يمثل العلاقة بين التيار المار من خلال الديود وبين الجهد المطبق ليه سواء في حالة الانحياز الأمامي او الانحياز العكسي.حيث يوضح الجزء الايمن من المنحنى التغير السريع في قيمة التيار الامامي عند تغير الجهد الامامي المطبق على الديود وعندما تزداد قيمة الجهد الامامي زيادة ملحوظة يكون قانون أوم هو الانسب لتحديد العلاقة بين التيار والجهد الامامي والسبب في ذلك أنه عند زيادة الجهد الامامي تختفى الشحنة الفراغية من منطقة الاستنزاف وتصبح موصلية منطقة الاستنزاف متجانسة مع موصلية باقى اجزاء الديود .

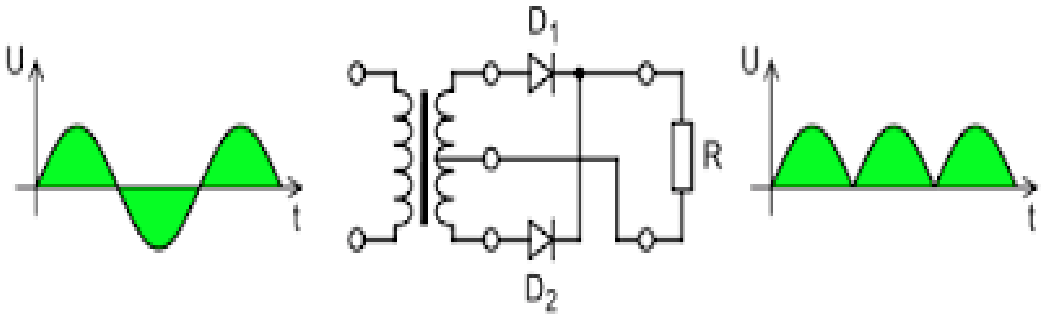
ويبين الجزء الايسر من المنحنى تغير التيار العكسي تبعا لتغير الجهد العكسي ومن الملاحظ أنه عند زيادة الجهد العكسي سرعان مايصل التيار العكسي الى قيمة التشبع ويصبح ثابتا مع زيادة الجهد العكسي الى قيم كبيرة وعند قيمة معينة لكل ديود يزداد التيار العكسي فجأة ويرجع السبب في ذلك الى زيادة شدة المجال الكهربائي في منطقة الاستنزاف حيث تتولد ازواج من الالكترونات– الفجوات جديدة تحت تأثير هذا المجال الكهربائي على ذرات النسق البلوري وتدعى هذه الظاهرة بظاهرة انهيار زينر .

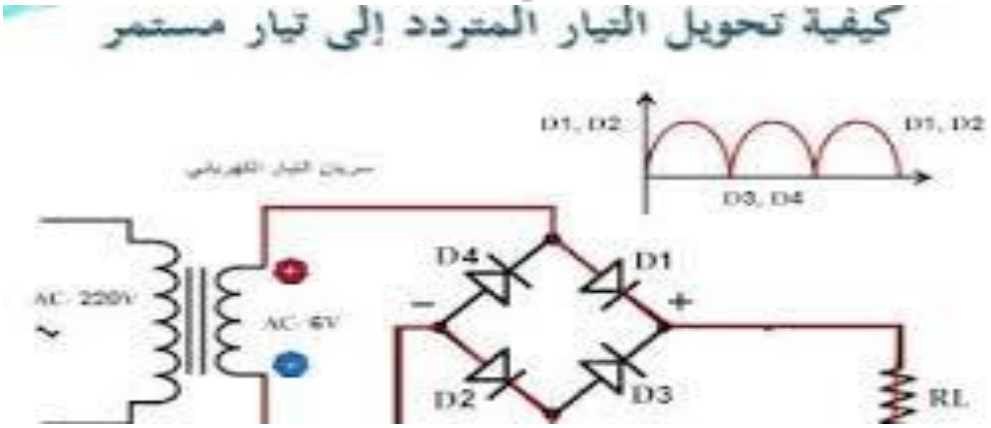
عمل الوصلة الثنائية في الدائرة الكهربائية

١– تقويم نصف موجي للتيار المتردد



٢– تقويم موجي كامل

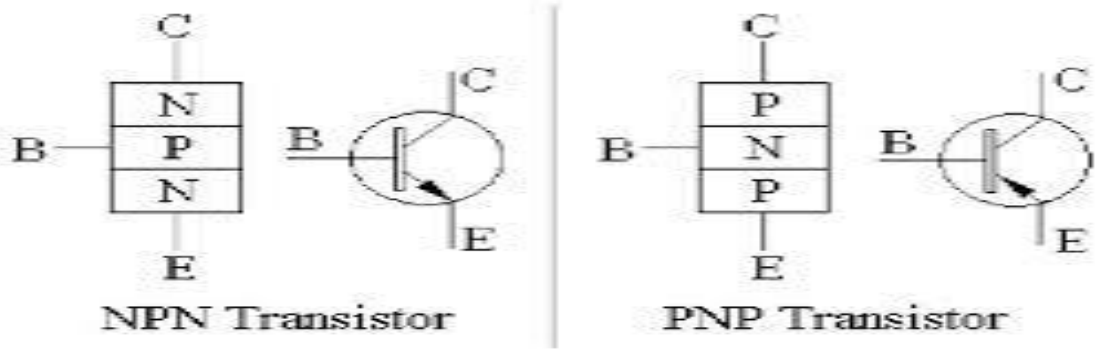




الترانزستور Transistor

تمكن العالم وليام شوكلى من انتاج أول وصلة ترانزستور عام ١٩٥٥ وهو يعد من الاكتشافات الدقيقة والمتناهية في الصغر واصبح اهم الاكتشافات في العصر الحديث

وتوجد أنواع مختلفة من الترانزستور وسنكتفي بالنوعين npn, pnp والترانزستور هو بلورة من مادة شبه موصل تم تطعيمها بطريقة معينة بحيث تكون المنطقة الوسطى منها شبه موصل (p) أو (n) أما المنطقتان الخارجيتان تكونان من نوعية مخالفة للمنطقة الوسطى .



وتسمى المنطقة الوسطى من البلورة القاعدة Base ويرمز لها بالرمز (B) والمنطقتان الخارجيتان هما الباعث Emiter ويرمز له بالرمز (E) والمجمع Collector ويرمز له بالرمز (C) وموضح بالشكل كل النوعين في الدوائر الكهربية والسهم الموضح بالشكل يشير الى اتجاه التيار الاصطلاحي. غالبا تكون منطقة الباعث بها شوائب عالية (مقاومته صغيرة نسبيا) ومنطقة القاعدة صغيرة للغاية وهي قليلة الشوائب أما منطقة المجمع فنسبة الشوائب بها أقل من الباعث

(مقاومة أكبر)

طرق توصيل الترانزستور في الدوائر الالكترونية .

القاعدة المشتركة

- بحيث تكون طرف مشترك لكل من أشارة الدخل و أشارة الخرج ، مع تطبيق إشارة الدخل بين طرفى القاعدة والمشع ويتم أخذ إشارة الخرج المناظرة من بين طرفى القاعدة والمجمع كما هو موضح بالشكل مع توصيل طرف القاعدة بالأرضى أو إلى نقطة جهد مرجعى reference تيار الدخل المار خلال المشع كبيرلأنه مجموع كل من تيار القاعدة وتيار المجمع ، نتيجة لذلك يكون تيار المجمع أقل من تيار الدخل للمشع ومن ثم يكون "كسب التيار" لهذه الدائرة يساوى الواحد (الوحدة) أو أقل ، وبعبارة أخرى فإن هذا النوع "يضعف أو يوهن" "attenuates" إشارة الدخل .

non-inverting voltage " دائرة مكبر جهد غير عاكس" هذا النوع من دوائر المكبرات يكون in-phaseتكونان فى نفس الوجه Vout وإشارة الخرج Vin أى أنجهدى إشارة الدخل , amplifier

.

.هذا النوع من المكبرات غير شائع نتيجة لخصائص الارتفاع الغير عادى فى الكسب

:لهذه الدائرة يعطى بالعلاقة (Av) كسب الجهد ·

Common Base Voltage Gain

$$A_V = \frac{Vout}{Vin} = \frac{I_C \times R_L}{I_E \times R_{IN}}$$

حيث(α) alpha – current gain هو كسب التيار Ic/Ie

عامة تستخدم هذه الدائرة فقط فى دوائر المكبر ذات . هو كسب المقاومة RL/Rin و

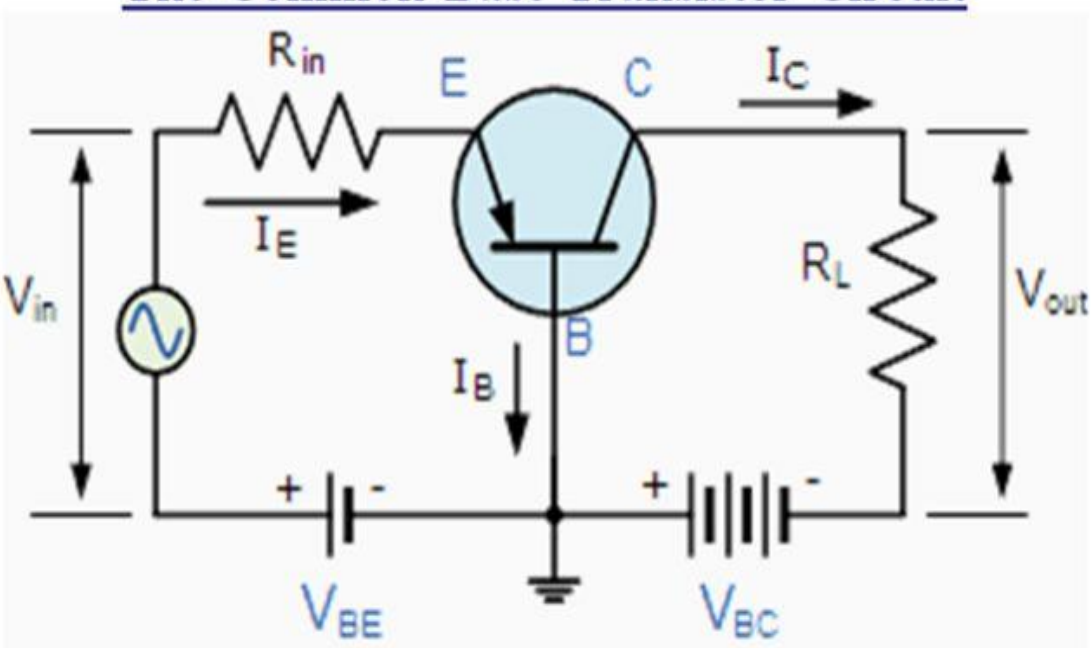
مثلالمكبر الابتدائى single stage amplifier المرحلة الواحدة

radioأومكبرات التردد العالى microphone pre–amplifierللميكروفون

جيدة جدا للترددات response لأن لها استجابة frequency (Rf) amplifiers

. المرتفعة

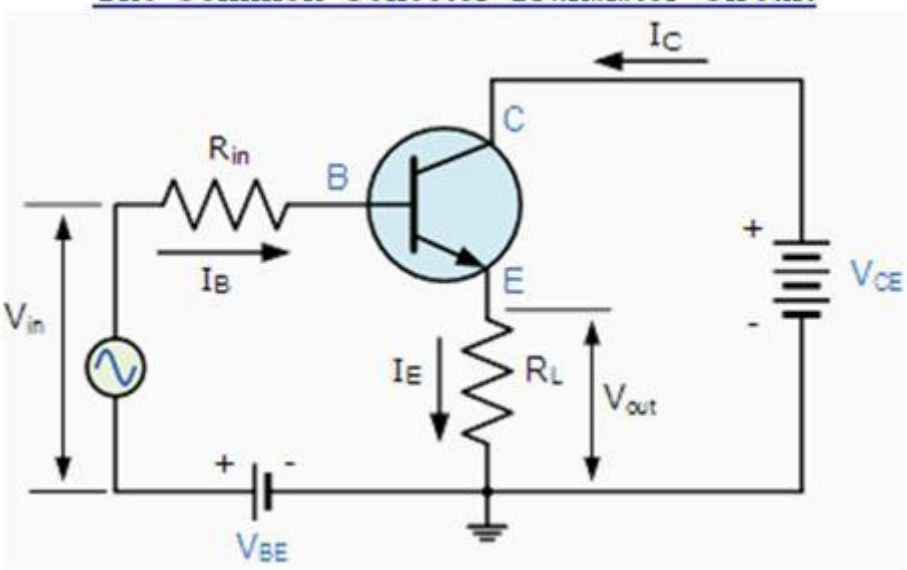
The Common Base Transistor Circuit



ثانيا المجمع المشترك

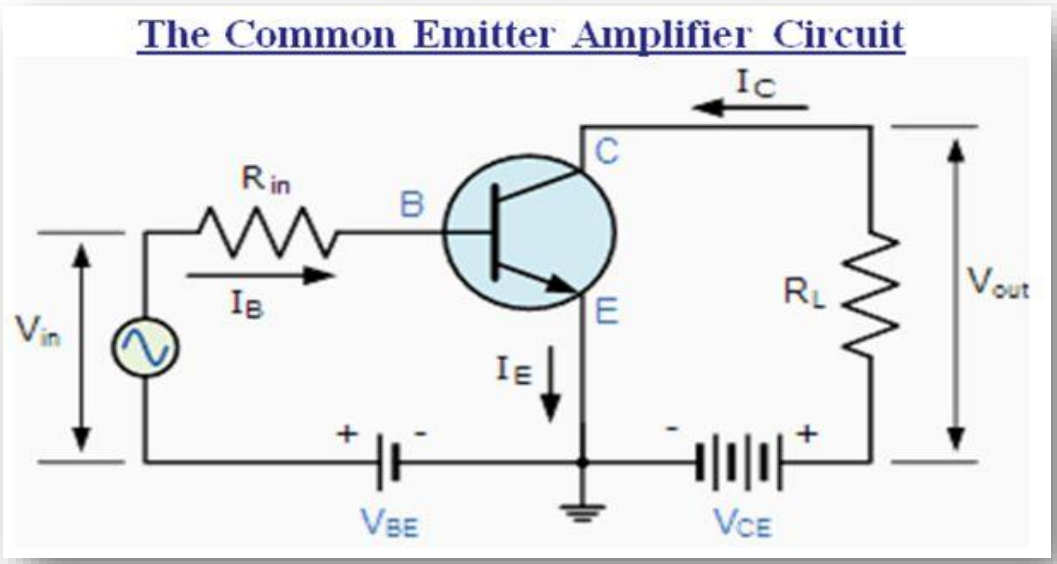
- **فى هذه الدائرة يكون المجمع مشترك أو متصل بالأرضى من خلال مصدر القدرة . يتم توصيل إشارة الدخل مباشرة إلى** القاعدة بينما يتم أخذ الخرج من حمل المشع كما هو

The Common Collector Transistor Circuit



ثالثا: الباعث المشترك

- **المشترك يتم تطبيق إشارة الدخل بين القاعدة والمشع بينما (فى دائرة المشع (الباعث يتم أخذ الخرج من بين المجمع والمشع . هذا النوع من الدوائر هوالأكثر استخداما فى المكبراتالتى تبنى على أساس الترانزستورات وهى تمثل الطريقة العادية لتوصيل الترانزستور ثنائى القطبية . تنتج دائرة مكبر المشع المشترك أعلى كسب فى التيار وفى القدرة من كافة لتوصيل "معاوقة الدخل تكون منخفضة" الدوائر الأخرى . والسبب الأساسى فى ذلك هو أن لتوصيل إنحياز عكسى "معاوقة الخرج مرتفعة" بينما تكون . PN إنحياز أمامى للوصلة PN للوصلة**



: فى هذه الدائرة

= Ie التيار الخارج من الترانزستور يجب أن يساوى التيارات الداخلة للترانزستور" أى " ·

Ic + Ib.

ويرمز له بالحرف اليونانى Ic/Ib لأنه النسبة "لهذه الدائرة "كبير جدا "كسب التيار" ·

. (β) ,Beta"بيتا"

Ic/Ie فإن النسبة Ib + Ic = Ie وحيث أن تيار المشع لهذه الدائرة يعرف بالعلاقة ·

. αويرمز لها بالحرف اليونانى Alpha "ألفا" تسمى

. دائما تكون أقل من الوحدة α قيمة : ملحوظة

تتحدد بالتركيب الفيزيائى Ie , Ic, Ib ونظرا لأن العلاقة الكهربائية بين التيارات الثلاثة ·

سوف يؤدى إلى تغيير , (Ib) للترانزستور نفسه ، فإن أى تغيير صغير فى تيار القاعدة

"نتيجة لذلك ، فإن "تغيرات صغيرة فى التيار المار بالقاعدة . (Ic) كبير فى تيار المجمع

. "سوف تتحكم فى تيار دائرة "المجمع – المشع

. لمعظم ترانزستورات الاستخدام العام 200 و 20 بين Beta عادة تكون قيمة بيتا ·

بالجمع بين صيغة كل من ألفا و بيتا نحصل على العلاقة الرياضية بين هذين البارامترين

: ومن ثم كسب التيار للترانزستور كما يلى

$$\text{Alpha},(\alpha) = \frac{I_C}{I_E} \quad \text{and} \quad \text{Beta},(\beta) = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\therefore I_C = \alpha . I_E = \beta . I_B$$

$$\text{as: } \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \qquad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

الفصل الخامس

الفيزياء النووية

الطاقة من التفاعلات النووية

في التفاعل الكيميائي ترتبط ذرات العناصر مع بعضها البعض بواسطة الإلكترونات في مستوياالطاقة الخارجية { بتكوين روابط تساهمية أو أيونية }

أما في التفاعلات النووية فإنها تحدث داخل النواة وتعتمد على مكوناتها

النظائر:

هي صور مختلفة لذرة العنصر الواحد تتفق في العدد الذرى والخواص الكيميائية وتختلف في عدد الكتلة لاختلاف عدد النيوترونات.

أمثلة	نظائر الهيدروجين			نظائر الأكسجين		
	بروتيوم $_1H^1$	ديوتيريوم $_1H^2$	تريتيوم $_1H^3$	$_8O^{16}$	$_8O^{17}$	$_8O^{18}$
عدد الكتلة	1	٢	3	16	17	18
عدد النيوترونات	0	1	2	8	9	10
العدد الذرى	1			8		

ثبات أنوية العناصر: يرجع ثبات أنوية العناصر إلى النسبة بين عدد النيوترونات وعدد البروتونات (p : n) في النواة.

العناصر الثابتة: تكون النسبة (p : n) في ذراتها تتراوح بين 1 : 1 ، وحتى1.51 : 1

[١] العناصر التي أعدادها الذرية صغيرة تكون النسبة 1(p : n) : 1

$_2He^4$	$_6C^{12}$	$_{10}Ne^{20}$	$_8O^{16}$

[٢] العناصر التي أعدادها الذرية كبيرة نسبياً تكون النسبة (p : n) وحتى1.51 : 1

$_{35}Br^{79}$	$_{26}Fe^{56}$	$_{82}Pb^{206}$
1 : 1.26	1 : 1.51	1 : 1.51

العناصر غير الثابتة (المشعة): تكون النسبة (p : n) ١,٦ : ١ أو ١,٥٩ : ١

$_{92}U^{238}$	$_{90}Th^{234}$
1 : 1.59	1 : 1.6

تقسيم النظائر:
[أ] نظائر مستقرة: مثل نظائر الأكسجين.
[ب] نظائر مشعة: مثل نظائر اليورانيوم.

النواة مخزن الكتلة

تتركز كتلة الذرة في النواة لوجود البروتونات والنيوترونات داخل النواة وكتلة كل منها كبيرة بالنسبة لكتلة الإلكترونات التي تدور حول النواة وبذلك يمكن إهمال كتلة الإلكترونات.

النواة مخزن الطاقة

تخضع الجسيمات داخل النواة إلى نوعين من القوى هما:

[١] قوى التنافر: بين البروتونات وبعضها البعض لأنها موجبة الشحنة.

[٢] قوى التجاذب: توجد بين:-
(أ) النيوترونات وبعضها البعض.
(ب) النيوترونات والبروتونات لتبادل الميزونات.

الميزون: جسيم صغير له كتلة الإلكترون يحمل شحنة موجبة أو سالبة.
تبادل الميزونات بين النيوترونات والبروتونات:

أولاً: بروتون ⟵ نيوترون + ميزون موجب

ثانياً: نيوترون ⟵ بروتون + ميزون سالب

تفسير تماسك النواة:

تكون النواة متماسكة لأن قوى التجاذب داخل النواة أقوى بكثير من قوى التنافر.

العلاقة بين المادة والطاقة

- **عند اكتشاف النشاط الإشعاعي أثبت العلماء أن انبعاث الطاقة يصحبه نقص في الكتلة.**
- **كمية الطاقة المنبعثة تتناسب طردياً مع النقص في الكتلة.**
- **أوضحت أبحاث العالم المصري الدكتور: "على مصطفي مشرفة" أن المادة والطاقة والإشعاع صور متعددة لشيء واحد.**

نظرية الكم لبلانك:-

{ يمكن تحويل المادة إلى طاقة والعكس }

قانون بلانك:-

الطاقة = الكتلة المتحولة × مقدار ثابت

المقدار الثابت :-

هو الشغل الذى يمكن الحصول عليه عندما تتحول كتلة مقدارها gm (1) إلى طاقة.

قانون إينشتين:-

الطاقة = الكتلة المتحولة × مربع سرعة الضوء

$$E = m \times C^2$$

المقدار الثابت قدره إينشتين بمربع سرعة الضوء ويساوى $(3x10^8)^2$ m/s

وحدات قياس الطاقة

الجول	السعر	الإلكترون فولت

الإلكترون فولت:-

هو الشغل المبذول لنقل شحنة إلكترون بين نقطتين فرق الجهد بينهما واحد فولت.

يستخدم كوحدة لقياس الطاقة الذرية

ولصغر هذه الوحدة اتخذ المليون إلكترون فولت (M.e.v.) وحدة لقياس الطاقة الذرية.

المليون إلكترون فولت = 10^6 فولت

حساب كمية الطاقة الناتجة عن تحول المادة

[١] عندما تكون كتلة المادة بالجرام:-

(أ) لحساب الطاقة بالجول:-

$$E_{(J)} = \frac{m_{(g)}}{10^3} \times (3 \times 10^8)^2 = m_{(g)} \times 9 \times 10^{13} J$$

(ب) لحساب الطاقة بالسعر :-

$$E_{(Cal)} = m_{(g)} \times \frac{9 \times 10^{13}}{4.184} = m_{(g)} \times 2.15 \times 10^{13} J$$

[٢] عندما تكون كتلة المادة بوحدة الكتل الذرية:

$$E_{(M.e.v.)} = m(a.m.u.) \times 931 M.e.v.$$

طاقة الترابط النووي

طاقة الربط النووية :-

هي الطاقة اللازمة لربط مكونات النواة.

منشأ طاقة الترابط النووي:-

تحول النقص في الكتلة بين كتلة مكونات النواة والكتلة الفعلية للذرة إلى طاقة تعمل على ترابط مكونات النواة.

حساب طاقة الترابط النووي

[١] حساب عدد النيوترونات:-

عدد النيوترونات = عدد الكتلة – العدد الذرى

[٢] حساب مجموع كتل مكونات النواة (الكتلة الحسابية).

الكتلة النظرية (الحسابية) =

عدد البروتونات × كتلة البروتون + عدد النيوترونات × كتلة النيترون

[٣] إيجاد الفرق بين كتلة مكونات الذرة والكتلة الفعلية لها.

النقص في الكتلة = الكتلة الحسابية – الكتلة الفعلية

[٤] حساب طاقة الترابط النووي من العلاقة:

طاقة الترابط النووي = النقص في الكتلة × M.e.v. (931)

[٥] حساب طاقة الترابط للجسيم الواحد (طاقة الترابط النووي النوعية) من العلاقة:

$$\text{طاقة الترابط للجسيم الواحد} = \frac{\text{طاقة الترابط النووي الكلية}}{\text{عدد الكتلة}}$$

ملاحظات:-

الكتلة الفعلية:-هي كتلة الذرة بعد تماسك مكوناتها

طاقة الترابط النووي النوعية:- هى طاقة الترابط للجسم الواحد داخل النواة.

تتخذ مقياس لثبات النواة فكلما زادت طاقة الترابط النووي النوعية كلما زاد ثبات النواة.

يمكن استخدام القوانين المختصرة الآتية:-

$$\text{الكتلة الفعلية} = \text{الكتلة الحسابية} - \frac{\text{طاقة الترابط النووى الكلية}}{931}$$

$$\text{الكتلة الحسابية} = \text{الكتلة الفعلية} + \frac{\text{طاقة الترابط النووى الكلية}}{931}$$

النشاط الإشعاعي الطبيعي

تعريف النشاط الإشعاعي الطبيعي:

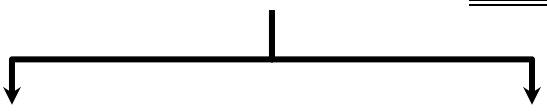
هو تفتت تلقائي لنواة ذرة عنصر مشع بحيث تخرج من النواة إشعاعات غير مرئية.

وسبب ذلك:-

- **الوزن الذرى للعنصر المشع كبير.**
- **زيادة أعدد النيوترونات عن أعداد البروتونات في النواة الواحدة بمقدار كبير.**
- **طاقة الترابط النووي بها غير كافية لربط مكوناتها.**

وبالتالي يتحول العنصر المشع خلال سلسلة من الإشعاعات حتى يصل في النهاية إلى عنصر مستقر.

تقسيم العناصر من حيث الاستقرار



عناصر مستقرة	عناصر غير مستقرة
لا يحدث لأنويتها تفتت تلقائي (أنويتها مستقرة)	يحدث لأنويتها تفتت تلقائي (أنويتها غير مستقرة)

- تتم عملية التفتت بمعدل زمنى يختلف من عنصـــر إلى آخر حيث قد تســـتغرق جزء من الثانية وقد تستغرق ملايين السنين.
- التفتت لا يتم في جميع الذرات في وقت واحد وإنما يتم تدريجياً.

عمر النصف:

هو الزمن اللازم ليتفتت فيه نصف عدد أنوية العنصر المشع.

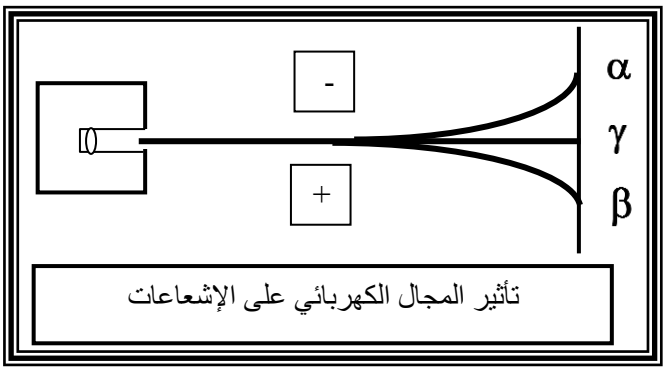
حساب فترة عمر النصف:

الزمن الكلى	
فترة عمر النصف	عدد الفترات

$$\text{النسبة المئوية للمتبقي} = \frac{\text{الكتلة المتبقية}}{\text{الكتلة الكلية}} \times 100$$

أنواع الإشعاعات

المقارنة	ألفا α	بيتا β	جاما γ
طبيعتها	جسيمات مادية أنوية $(_2He^4)$	جسيمات مادية إلكترونات	موجات كهرومغناطيسية
الكتلة	كتلة نواة الهيليوم	كتلة الإلكترون ٠,٠٠٠٥٤٨	ليس لها كتلة
الشحنة	+2	-1	غير مشحونة
تأثرها بالمجالات	تتأثر بطريقة تدل على أنها موجبة	تتأثر بطريقة تدل على أنها سالبة	لا تتأثر



تأثير المجال الكهربائي على الإشعاعات

التحولات المترتبة على خاصية الإشعاع

[١] عند خروج جسيم ألفا $_2He^4$:
تفقد الذرة المشعة 2 بروتون و2 نيوترون ولذلك يتكون عنصر جديد:-
(أ) يقل العدد الذرى بمقدار 2 (ب) يقل العدد الكتلي بمقدار 4.

مثال:

$_{92}U^{238}$	⟶ نشاط إشعاعي	$_{90}Th^{234}$	+	$_2He^4$
يورانيوم		ثوريوم		جسيم إلفا

[٢] عند خروج جســـيم بيتا $_{-1}e^0$:-يتحول أحد النيوترونات داخل النواة إلى بروتون وإلكترون ويخرج في صورة جسيم بيتا ولذلك يتكون عنصر جديد: -
(أ) يزيد العدد الذرى بمقدار 1 (ب) لا يتغير العدد الكتلي.

مثال:

$_{90}Th^{234}$	⟶ نشاط إشعاعي	$_{91}Pa^{234}$	+	$_{-1}e^0$
ثوريوم				جسيم بيتا

$_6C^{14}$	⟶ نشاط إشعاعي	$_7N^{14}$	+	$_{-1}e^0$
نظير كربون		نيتروجين		جسيم بيتا

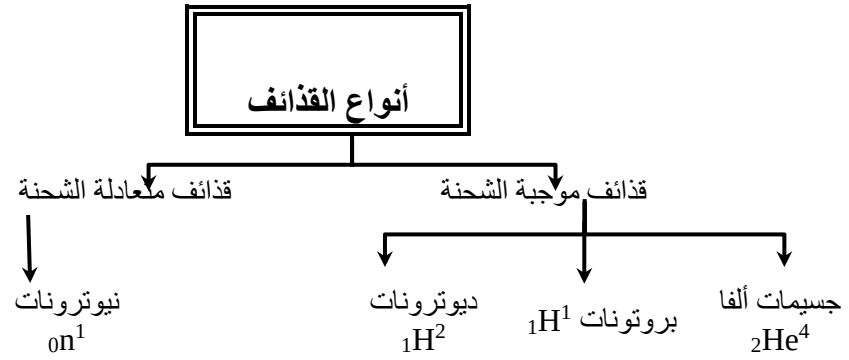
[٣] عند خروج أشـــعة جاما: لا يتغير العدد الذرى ولا العدد الكتلي حيث أن أشـــعة جاما موجات كهرومغناطيسية وليست جسيمات.

النشاط الإشعاعي الصناعي

تعريفه:

يحدث نتيجة قذف أنوية بعض العناصر بواسطة قذائف نووية ذات طاقة مناسبة حيث يحدث اضطراب في هذه الأنوية يؤدى إلى تكوين نظير مشع صناعي أو عنصر جديد

- ويمكن التحكم فيه من خلال إجراؤه داخل المفاعلات النووية
- أو يصعب التحكم فيه كما في القنابل الذرية.



أمثلة لتفاعلات نووية

[١] باستخدام قذيفة النيوترون:

$$_{13}Al^{27} + {}_0n^1 \xrightarrow{\text{(سريع)}} {}_{11}Na^{24} + {}_2He^4$$

[٢] باستخدام قذيفة البروتون:

$$_3Li^7 + {}_1H^1 \longrightarrow 2\ {}_2He^4 + \text{Energy}$$

[٣] باستخدام قذيفة الديوترون:

$$_6C^{12} + {}_1H^2 \longrightarrow {}_5B^{10} + {}_2He^4$$

[٤] باستخدام قذيفة ألفا:

$$_7N^{14} + {}_2He^4 \longrightarrow {}_8O^{17} + {}_1H^1$$

ملاحظات:

- **يتساوى مجموع أعداد الكتلة والأعداد الذرية في طرفي المعادلة.**
- **تتوقف التفاعلات النووية على:**

[أ] طاقة القذيفة. [ب] نوع العنصر المقذوف. [ج] نوع القذيفة.

استغلال الطاقة من التفاعلات النووية

الحصول على الطاقة من التفاعلات الانشطارية

تعريف الانشطار النووي:

تفاعل نووي صناعي يتم فيه قذف نواة ذرة عنصر مشع بقذيفة نووية، حيث تنقسم نواة العنصر المشع إلى نواتين لعنصرين مختلفين ونيوترونات وطاقة هائلة.

مثال: انشطار نواة اليورانيوم $_{92}U^{235}$

$$_{92}U^{235} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{56}Ba^{140} + {}_{36}Kr^{93} + 3\ {}_0n^1 + Energy$$

بطيء باريوم كربتون

التفاعل المتسلسل:

سلسلة من التفاعلات الانشطارية الهائلة التي تحدث في جزء من الثانية حيث تصيب النيوترونات الناتجة أبوية ذرات يورانيوم أخرى وهكذا يستمر التفاعل تلقائياً دون بذل أي طاقة جديدة.

❁ يمكن التحكم فيه واستغلاله كمصدر للطاقة بواسطة المفاعلات الذرية.
❁ لا يمكن التحكم فيه كما في القنبلة الذرية.

التطبيقات السلمية للتفاعلات الانشطارية

(المفاعلات الانشطارية)

تركيب المفاعل الانشطاري:

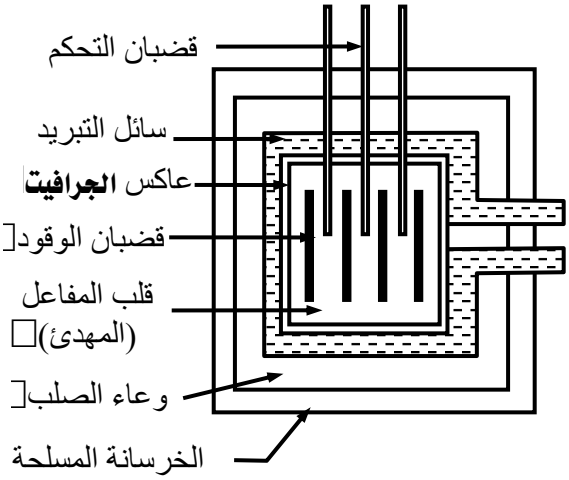
[١] قلب المفاعل: مكعب ضخم من الجرافيت به:

قنوات أفقية ورأسية: يوضع بها قضبان المادة القابلة للانشطار مغلفة بالصلب القوى

الوقود النووي : يورانيوم طبيعي وهو خليط من نظير $_{92}U^{235}$ بنسبة 0.7% ونظير $_{92}U^{238}$ بنسبة 99.3%.

وظيفة الجرافيت: مادة مهدئة تبطئ من سرعة النيوترونات حتى يمكن أن تصطدم باليورانيوم ويحدث التفاعل كما أنه يتحمل درجات الحرارة المرتفعة.

[٢] عاكس الجرافيت: يحيط بالقلب ووظيفته منع هروب النيوترونات خارج المفاعل.



[٣] نظام تبريد المفاعل:

الغرض منه سحب الحرارة الناتجة عن الانشطار باستمرار من داخل قلب المفاعل حيث يتم إمرار الغاز المبرد (ثاني أكسيد الكربون) أو السائل المبرد (الماء الثقيل) أو (الماء العادي) داخل قلب المفاعل.

[٤] نظام التحكم:

ويتكون من قضبان من الكادميوم أو البورون والتي لها قدرة على امتصاص النيوترونات وبذلك يمكن التحكم في سرعة التفاعل ويتم ذلك بإدخالها جزئياً أو كلياً في قلب المفاعل لإبطاء أو إيقاف التفاعل.

[٥] درع من الصلب:- لاحتواء قلب المفاعل وكافة أجزاؤه ودوائر التبريد.

[٦] درع خرساني:- طبقة سميكة من الخرسانة المسلحة يبلغ سمكها حوالى ٢ متر. لمنع نفاذ الإشعاعات الذرية خارج المفاعل وتحمل كل الحوادث المحتملة

مخاطر المفاعلات النووية

[١] الإشعاعات الذرية: احتمال تسرب بعض الإشعاعات رغم الدروع الواقية ولذلك عند تصميم المفاعلات يوجد عند مخارج المفاعل أجهزة رقابية وقياسية يمكنها أن توقف المفاعل إذا زاد انطلاق المواد المشعة عن الحد المسموح.

[٢] النفايات الذرية:وهي نوعان من المخلفات:

أ) مخلفات من النوع المنخفض أو المتوسط من حيث الطاقة الإشعاعية.

ب) مخلفات عالية الإشعاع وتشمل الوقود المحترق والماء المستخدم في التبريد.

التخلص من النفايات:توضع في أواني من الصلب بعد خلطها بالخرسانة وتدفن في باطن الأرض أو أعماق المحيطات.

[٣] الطاقة الحرارية الزائدة:

- **تبنى المفاعلات بالقرب من شواطئ الأنهار أو البحار لاستخدام مياهها في عملية التبريد**
- **وينتج عن عملية التبريد باستخدام الماء حدوث تلوث حرارى في البحار والمحيطات حيث ترتفع درجة حرارة الماء بمقدار 6 : 9 °C وهذا يؤدى إلى انفصال الأكسجين المذاب في الماء مما يؤدى إلى هلاك الكائنات الحية.**

فوائد المفاعلات النووية

[١] الحصول على البلوتونيوم 239 من اليورانيوم 238.

$$_{92}U^{238} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{92}U^{239} + \gamma$$

$$_{92}U^{239} \longrightarrow {}_{93}Np^{239} + {}_{-1}e^{0}$$

نبتونيوم جسم بيتا

$$_{93}Np^{239} \longrightarrow {}_{94}Pu^{239} + {}_{-1}e^{0}$$

بلوتونيوم جسم بيتا

[٢] الحصول على نظائر مشعة.

$$_{53}I^{127} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{53}I^{128} + \gamma$$

يود — نظير اليود المشع — أشعة جاما

وتستخدم النظائر المشعة في مجالات كثيرة:-

١- **الطب:- في تشخيص بعض الأمراض وعلاج الأمراض السرطانية.**

٢- **الزراعة:- القضاء على بعض الآفات وتحسين سلالات بعض النباتات.**

٣- **الصناعة:- الكشف عن عيوب الصناعة.**

٤- **الأبحاث العلمية:- مثل إثبات أن الماء هو مصدر الأكسجين في عملية البناء الضوئي وليس ثاني أكسيد الكربون باستخدام ماء به نظير $_{8}O^{18}$ حيث وجد أن الأكسجين الناتج هو $_{8}O^{18}$.**

[٣] توليد الكهرباء وإدارة الآلات حيث يتم تسخين الماء حتى الغليان باستغلال الطاقة الحرارية داخل واستخدام بخار الماء الناتج في إدارة التوربينات.

الحصول على الطاقة من التفاعلات الاندماجية

تعريف التفاعل الاندماجي:

هو اندماج نواتين أو أكثر لعنصر معين وينتج عن الدمج نواة عنصر آخر كتلته أقل من مجموع كتل الأنوية المندمجة.

❁ يتحول النقص في الكتلة إلى طاقة تبعاً لقانون أينشتين.

مثال: اندماج نظائر الهيدروجين

❁ **يفضل الهيدروجين ونظائره في عملية الاندماج لأن قوى التنافر بين الأنوية ضعيفة لاحتواء نواة ذرة الهيدروجين على بروتون واحد.**

$$_{1}H^{2} + {}_{1}H^{2} \xrightarrow{\text{حرارة}} {}_{2}He^{3} + {}_{0}n^{1} + \text{Energy}$$

$$_{1}H^{3} + {}_{1}H^{2} \xrightarrow{\text{حرارة}} {}_{2}He^{4} + {}_{0}n^{1} + \text{Energy}$$

❁ تحدث داخل الشمس تفاعلات اندماجية بسبب وجود نظائر الهيدروجين.

شروط حدوث التفاعل الاندماجي:

[١] وجود نظائر الهيدروجين.
[٢] وجود طاقة حرارية عالية لتصـــبح أنوية الهيدروجين عارية من الإلكترونات حتى تســـهل عملية الاندماج. ولذلك يستخدم تفاعل متسلسل للحصول على الطاقة اللازمة.

التطبيقات السلمية للتفاعلات الاندماجية

مزايا الحصول على طاقة اندماجية:

[١] كبر الطاقة الحرارية الناتجة.
[٢] توفر نظائر الهيدروجين في مياه البحار.
[٣]يمكن الحصول على طاقة كهربية مباشرة
[٤] لا يتخلف عنها نواتج مشعة خطرة.

صعوبة الحصول على طاقة اندماجية في السلم:

[١] صعوبة الحصول على طاقة حرارية تصل إلى الملايين.
[٢] صعوبة وجود وعاء يتحمل جداره الطاقة المتولدة من التفاعل.
❁ أمكن التغلب على ذلك باستخدام مجال مغناطيسي قوى يعمل على تركيز أنوية الهيدروجين بعيداً عن الجدران.

التطبيقات الحربية للتفاعلات النووية

أولاً: القنبلة الانشطارية

أساس صنع القنبلة: إحداث تفاعل انشطاري متسلسل في وقت قصير.

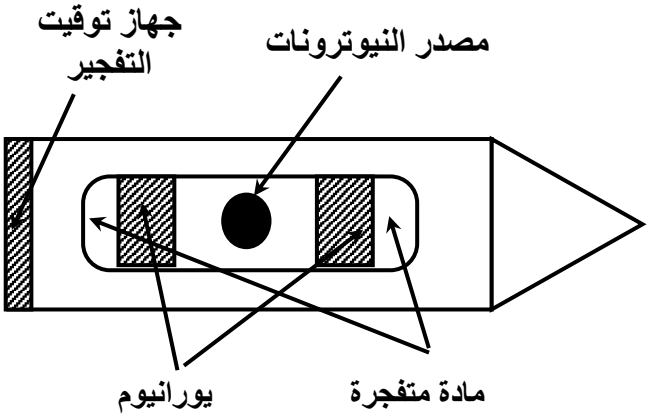
تركيب القنبلة:

[١] مادة قابلة للانشطار: $_{94}Pu^{239}$, $_{92}U^{235}$

توضع على شكل قطع صغيرة حجمها أقل من الحجم الحرج وكتلتها أقل من الكتلة الحرجة على أن تجمع هذه القطع آلياً لتكون أكبر من الكتلة الحرجة.

[٢] مصدر لقذائف النيوترونات: مثل البريليوم

[٣] جرافيت: يعوق هروب النيترونات.



القوة التدميرية للقنبلة الانشطارية

[١] قوة الانفجار:

حيث يحدث ضغط مفاجئ يصل إلى بضعة ملايين من الضغط الجوي يعقبه موجة من التخلخل ينتج عنها دمار خطير لكل ما هو في محيط الانفجار.

[٢] حرارة الإشعاع:حيث تصل إلى أكثر من 10 ملايين درجة مئوية تصهر كل المواد الواقعة في محيطها.

[٣] انبعاث أشعة جاما: لها تأثير مميت على الكائنات الحية.

[٤] تخلف مواد مشعة متخلفة عن الانفجار (الغبار الذرى): وهى ضارة بالنبات والحيوان والإنسان حيث:- (أ) تتلف الأنسجة وتشوه الأجنة.

(ب) تغير التركيب الوراثي للخلايا.

(ج) تسبب السرطان.

ثانياً: القنبلة الاندماجية (الهيدروجينية)

أساس صنع القنبلة:إحداث تفاعل اندماجي

تركيب القنبلة:

[١] قنبلة انشطارية: وهى مصدر للطاقة الحرارية الهائلة اللازمة للتفاعل الاندماجي.

[٢] نظائر الهيدروجين: الديوتيريوم $_1H^2$ ، التريتيوم $_1H^3$

القوة التدميرية للقنبلة الهيدروجينية

تفوق القوة التدميرية للقنبلة الانشطارية لأنها تعتبر مكونة من قنبلتين انشطارية واندماجية.

[١] الحرارة الناتجة أعلى بكثير من الناتجة من القنبلة الانشطارية.
[٢] نشوء ضغط عالي يعقبه موجات من التخلخل.
[٣] أشعة جاما الناتجة عن القنبلة الانشطارية.
[٤] مواد مشعة متخلفة.

الوقاية من الإشعاع الذرى:

[١] الابتعاد عن مصادره.
[٢] وجود مخابئ على أعماق بعيدة تحت الأرض ومصنوعة من الخرسانة السميكة.

الفصل السادس

ميكانيكا الكم

لمعرفة الأسس النظرية والتجريبية لموضوع ميكانيكا الكم لابد من الإشارة إلى النظرية الموجية للضوء حيث أن هذه النظرية تعتقد أن الضوء عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية تسير بسرعة الضوء (c) ولها تردد معين مقداره (f) وطول موجته (λ) حيث

$$c = \lambda . f$$

وقد استطاعت هذه النظرية تفسير بعض الظواهر المتعلقة بالضوء مثل:

حيود الضوء ، تداخل الضوء ، الإنكسار ، الإنعكاس ، الإستقطاب .

إلا أن النظرية الجسيمية للضوء والتي تسمى أيضاً بالنظرية الفوتونية تعتقد أن الضوء عبارة عن جسيمات متناهية في الصغر كتلتها وهي في حالة السكون صفراً ، تسير بسرعة (c) وتكون الطاقة للضوء مكممة ، وهذه الكمات تسمى فوتونات.

وقد استطاعت هذه النظرية تفسير الظواهر التالية:

إشعاع الجسم الأسود ، الظاهرة الكهروضوئية ، ظاهرة كمبتون.

وبعد صراع مرير بين النظرية الموجية ، والنظرية الجسيمية اقترح أن الضوء ذو طبيعة ثنائية (مزدوجة) للأجسام والموجات بحيث تسلك سلوك الأمواج في بعض الظواهر وسلوك الجسيمات في ظواهر أخرى ، ولا يمكن أن يسلك سلوك الجسيمات والأمواج في آن واحد.

وطاقة الضوء (E) مكممة ، وله طول موجي (λ) ، وتردده (f) بحيث

$$E = h . f$$

حيث h هو ثابت بلانك وقيمته $h = 6.6\times10^{-34}$ j.s والزخم الخطي للفوتون

(كمية حركته) $p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}$

١- إشعاع الجسم الأسود:

الجسم الأسود هو الجسم الذي لديه القابلية لامتصاص جميع الإشعاعات بكافة ترددتها.

فمن المعروف أن قابلية الأجسام للإشعاع مرتبطة بقابليتها للامتصاص لذلك فإن الجسم الأسود يشع الإشعاعات بكافة ترددتها. وتأتي هذه النتيجة باعتبار أن ذرات الجسم الأسود تكون متقاربة ، وتعتبر هذه الذرات كمتذبذبات تشع طاقة ، وبما أن الجسم الأسود يحتوي على عدد كبير من الذرات باهتزازات مختلفة فإن مستويات الطاقة في الذرات تكون متقاربة بحيث أنها تعطي طيفاً مستمراً. وعند دراسة طيف الجسم الأسود لوحظ أنها تبدأ الطاقة من الصفر وتنتهي إلى الصفر كما أنها تقع بين طول موجة صفر وطول موجة لانهائي وكلما ارتفعت درجة الحرارة يقل الطول الموجي.

ونظراً لفشل النظرية الموجية في تفسير ذلك اقترح ماكس بلانك بأن تبادل الطاقة بين الضوء وجدران الجسم الأسود يكون بشكل كمات من الطاقة مقدارها $h.f$

وقد لوحظ أن التوزيع الطيفي للإشعاع لايعتمد على مادة الجسم ولكن يعتمد فقط على درجة الحرارة.

وقد وضع العالم (واين) علاقة بين درجة حرارة الجسم والطول الموجي عند أقصى مقدار للطاقة المنبعثة عرفت باسم قانون واين وهي: $\lambda_{max}.T = \alpha$ حيث α ثابت واين ويساوي $2.898\times10^{-3} m.k$ ، T هي درجة الحرارة المطلقة للجسم بالكلفن.

وحسب قانون ستيفان بولتزمان فإن القابلية الإشعاعية للجسم الأسود تتناسب طردياً مع الأس الرابع لدرجة حرارته ، أي أن : $\zeta = \sigma.T^4$ حيث ζ معدل إشعاع الطاقة لكل وحدة زمن لكل وحدة مساحة ووحدتها واط/م^2 ، σ ثابت ستيفان بولتزمان ومقداره $\sigma = 5.67\times10^{-8} w/m^2.k^4$ ، أما الطاقة الكلية المنبعثة من الجسم الأسود فيمكن حسابها من العلاقة : الطاقة الكلية في وحدة الزمن= ζ × مساحة السطح.

ويمكن تمثيل الجسم الأسود بصندوق مغلق جدرانه الداخلية مكسوة بالرخام الأسود ، وله فتحة صغيرة وعند دخول الإشعاع مهما كانت طول موجته من الفتحة فإنه يمتص من قبل الجدران الداخلية السوداء بعد أن يعاني من انعكاسات عديدة ، وتعتبر النجوم من أشهر الأمثلة على الجسم الأسود

٢- الظاهرة الكهروضوئية:

هي انبعاث الكترونات من سطوح المعادن عندما يسقط عليها ضوء بتردد معين ، وهذه الظاهرة هي إحدى الدلائل على الصفات الجسيمية للموجات ، ولن نخوض في الحديث عنها لتناولها في الصف الثاني عشر.

٣- ظاهرة تأثير كمبتون :

اكتشف كومبتون أن هناك زيادة في الطول الموجي (نقصان في التردد) للأشعة السينية عند اصطدامها بالكترونات الهدف . ولم تستطع النظرية الموجية تفسير هذه الظاهرة ، إلا أن كمبتون استطاع تفسيرها بنجاح على أساس أن الضوء له خاصية جسيمية بحيث تحمل هذه الجسيمات طاقة مقدارها $h.f$ ولها كمية حركة مقدارها $\frac{h}{\lambda}$. فعند تصادم الفوتون مع إلكترون ساكن فإن الفوتون يفقد طاقة تساوي الطاقة الحركية التي يكتسبها الإلكترون المتشتت.

في ضوء ذلك نجد أنه عند دراسة الضوء فإن بعض الظواهر الضوئية يكمن تفسيرها على أساس موجي، وظواهر أخرى على أساس جسيمي. وقد وصف العلماء الضوء بطبيعة مزدوجة (موجيه – جسيمية) تكون الطاقة فيه مكممة ومرتبطة بطول موجي وتردد معين ، بالإضافة إلى ذلك فإن لكل جسم مادي طول موجي مصاحب له أثناء حركته ، وهذه الأمواج هي أمواج دي برولي حيث يتعين الطول الموجي المصاحب من العلاقة $\lambda = \frac{h}{p}$ وقد أثبتت التجارب هذه العلاقة عملياً بواسطة حيود الإلكترونات داخل البلورات.

وحيث أن سرعة الموجه تساوي $f.\lambda$

ومن معادلة اينشتين: $E = m.c^2 = h.f \therefore f = \frac{mc^2}{h}$

$$\lambda.f = \frac{h}{p} \times \frac{mc^2}{h} = \frac{mc^2}{mv} = \frac{c^2}{v}$$

وحيث أن سرعة الجسم (v) أقل دائماً من سرعة الضوء ، فإن سرعة موجات دي برولي التي تصاحب الجسم دائماً أكبر بكثير من سرعة الضوء (c) ولا يعني ذلك أن الموجة سوف تسبق الجسم بل يمكن أن نتخيل أن الجسم محاط بحزمة أو مجموعة من الموجات تنتقل بالسرعة (v) بينما الموجات الفردية المكونة للمجموعة تنتقل بالسرعة $\frac{c^2}{v}$.

ومن هنا فإن الجسيمات المادية لها خصائص الموجات وبالتالي يحدث لها ظواهر مختلفة مثل الحيود والتداخل إذا تهيأت لها الظروف المناسبة.فإذا أمكنا مسارعة الالكترونات خلال فرق جهد مهين إلى سرعة عالية نسبياً فإننا نحصل على طول موجة مصاحبة للإلكترونات بحيث تكون في حدود أبعاد الذرة ، لذلك فإنه يمكن لهذه الموجات أن تمر خلال المادة ويحصل لها حيود خلال ذرات هذه المادة.

إن نظرية ميكانيكا الكم هي نظرية العالم دون المجهري ، وتختلف عن الميكانيكا الكلاسيكى من حيث أن الكميات في الميكانيكا الكلاسيكي تكون ذات قيمة واحدة ، أما في ميكانيكا الكم فنحن نأخذ احتمال للقيمة ضمن مدى محدد والقيمة الأكثر حدوثاً هي معدل القيم التي يأخذ ضمن هذا المدى. والكمية المتغيرة التي تعبر عن موجات دي برويللي تسمى دالة الموجة ويرمز لها بالرمز (Ψ)

وقيمة دالة الموجه التابعة لجسم متحرك عند الموقع (x,y,z) واللحظة (t) تتعلق باحتمال وجود الجسيم في ذلك المكان والزمان ، ومع هذا فإن Ψ لايمكن قياسها تجريبياً وليس لها معنى فيزيائي مباشر ، وذلك لأن الاحتمالية P بأن شيئاً في موقع معين عند لحظة معينة يمكن أن يأخذ القيمة بين (صفر إلى ١) حيث :

تمثل عدم وجود الجسيم قطعياً P=0

تمثل وجود الجسيم حتمياً P=1

تعني أن هناك احتمالية % 30 لإيجاد الجسيم في ذلك الموقع عند تلك اللحظة P=0.3

إن احتمالية وجود جسيم دالته الموجية ψ عند الموقع (x,y,z) واللحظة (t) تتناسب مع $|\psi|^2$ في ذلك المكان والزمان. فإذا كانت قيمة $|\psi|^2$ كبيرة فهذا يعني أن هناك احتمالية كبيرة لوجود الجسيم ، أما إذا كانت قيمة $|\psi|^2$ صغيرة فهذا يعني أن هناك احتمالية صغيرة لوجود الجسيم، لذلك تسمى $|\psi|^2$ بالكثافة الاحتمالية.ويعبر دائماً عن دالة الموجة Ψ بكمية مركبة ذات جزء حقيقي وجزء خيالي ، لذلك فإن الكثافة الاحتمالية تأخذ حاصل ضرب

$$\psi^* \psi$$

حيث ψ^* هي الجزء المرافق ل ψ . $\therefore \psi = A + iB \quad \therefore \psi^* = A - iB$

$$\therefore P = \psi.\psi^{*} \quad \therefore P\alpha \mid \psi \mid^{2}$$

$$\therefore p = A^{2} - i^{2}B^{2} = A^{2} + B^{2}$$

من هذا نستنتج أن $\mid \psi \mid^{2}$ دائماً كمية حقيقية موجبة وهذا متوقع لأنها تمثل الاحتمالية P ، والاحتمالية لا تأخذ قيم سالبة.

والجسيمات الأولية يمكن وصفها على أنها تمتلك حزمة موجية (موجات دي برويلي) وأن هذه الحزم تتحرك بسرعة تساوي سرعة الجسيم نفسه ، ويكون طول موجة دي برويلي هو أحد الأطوال الموجية في هذه الحزمة. وفي حالة الأجسام الصغيرة جداً كالإلكترونات فإنه يمكن أن يكون الإلكترون في مكان ما من الحزمة وهذا ينشأ عنه عدم تحديد لموقع الإلكترون وسرعته عند لحظة ما بدقة تامة مهما بلغت الحزمة من الصغر. وينشأ عدم تحديد موقع الجسيم وسرعته معاً في آنٍ واحد عدم تحديد في الكميات التي تعتمد أساساً على موضع الجسيم أو سرعته أو اتجاهه. وينص مبدأ عدم التحديد للعالم هينزبرج على أنه من غير الممكن تحديد موضع الجسيم وكمية حركته تحديداً قاطعاً في آنٍ واحد ، وما ينطبق على كمية الحركة ينطبق على أي كمية لها علاقة به كالسرعة و الطاقة . ويعطي مبدأ عدم التحديد بالعلاقة: $\Delta x.\Delta P \geq \hbar$

وهذه تعني أن حاصل ضرب الخطأ في موقع الجسيم Δx والخطأ في كمية الحركة ΔP في تجربة لقياس x ، p آنياً هو أكبر أو يساوي $\hbar$. ولا نستطيع أن نقيس آنياً كلٍ من موقع وكمية حركه الجسيم بدرجة غير متناهية في الدقة. ونلاحظ أنه إذا كانت Δx كبيرة تكون Δp صغيرة ، والعكس صحيح. ومبدأ عدم التحديد غير معمول به في حالة الأجسام الكبيرة المحسوسة لأن اللاتحديد في تحديد كمية الحركة للجسيم أو مكانه صغير جداً جداً يمكن إهماله ، أما في حالة العالم دون المجهري فإن لهذا المبدأ أهمية كبيرة. وهناك علاقة لمبدأ عدم التحديد

عند قياس الطاقة E خلال فترة ومنية Δt نتيجة لعملية معينة وهي:

$$\Delta E.\Delta t \geq \hbar$$

وتنص المعادلة الأخيرة على أن حاصل ضرب الخطأ في قياس الطاقة ΔE

والخطأ في تحديد الزمن Δt لعملية ما أكبر أو يساوي $\frac{h}{2\pi} = \hbar$.

معادلة شرودنجر الموجية:

الصيغة البسيطة للدالة الموجية ψ والتي تمثل حركة موجية ما باتجاه المحور x هي المعادلة التالية: $\psi = A\sin bx$ حيث A هي سعة الموجة ، b ثابت يعتمد علي الموجة عند

π bx=2 $\Leftarrow$ x=b ، $\therefore b = \frac{2\pi}{\lambda}$ بالتالي تصبح المعادلة كالتالي

$\psi = A\sin\frac{2\pi}{\lambda}$ ويمكن التعبير عنها أيضاً بدالة جيب التمام $\psi = A\cos\frac{2\pi}{\lambda}$

وبصورة عامة تصبح $\psi = A\sin\frac{2\pi}{\lambda} + B\sin\frac{2\pi}{\lambda}$ وباشتقاق المعادلة مرتين

بالنسبة ل x فإن:

$$\frac{d\psi}{dx} = \frac{2\pi}{\lambda}A\cos\frac{2\pi}{\lambda}x \pm \frac{2\pi}{\lambda}B\sin\frac{2\pi}{\lambda}x$$

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 A\sin\frac{2\pi}{\lambda}x \pm \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 B\cos\frac{2\pi}{\lambda}x$$

$$= -\frac{4\pi^2}{\lambda^2}\psi$$

إذا افترضنا أن هذه $\lambda = \frac{h}{p}$ ومن علاقة دي برويلي $\therefore \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{4\pi^2}{\lambda^2}\psi = 0$

المعادلة يمكن تطبيقها علي المادة نحصل علي $\therefore \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{4\pi^2 p^2}{h^2}\psi = 0$

وحيث أن الطاقة الكلية للجسيم E هي مجموع طاقته الكامنة u وطاقته الحركية K

$$\therefore E = K + U = \frac{1}{2}mv^2 + U$$

$$v = \frac{p}{m} \therefore E = \frac{1}{2}m\frac{p^2}{m^2} + U$$

$$\therefore P^2 = 2m(E - U)$$

$$\therefore \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(E-U)\psi = 0$$

$$\therefore \frac{h^2}{8\pi^2 m}.\frac{d^2\psi}{dx^2} + (E-U)\psi = 0$$

$$\therefore \frac{-h^2}{8\pi^2 m}.\frac{d^2\psi}{dx^2} + U\psi = E\psi$$

ويسمي المقدار $\therefore (\frac{-h^2}{8\pi^2 m}.\frac{d^2}{dx^2} + U)\psi = E\psi$ بمعامل $(\frac{-h^2}{8\pi^2 m}.\frac{d^2}{dx^2} + U)$

هاملتون ويرمز له بالرمز $\hat{H}$ وبالتالي تصبح المعادلة علي الشكل : $\hat{H}\psi = E\psi$

وهذه المعادلة تعبر عن الطبيعة الموجية للمادة ببعد واحد فقط ، ولكن الجسيمات تتحرك في الفراغ بثلاث أبعاد ،

وعليه يمكن تعميم هذه المعادلة لثلاثة أبعاد على الشكل :

$$\therefore \frac{h^2}{8\pi^2 m}\left(\frac{d^2\psi}{dx^2}+\frac{d^2\psi}{dy^2}+\frac{d^2\psi}{dz^2}\right)+U\psi=E\psi$$

وهذه هي معادلة شرودنجر غير المعتمدة علي الزمن.

إن ψ تمثل دالة الموجة حيث أن اشتقاقها كما فعلنا في دراسة حركة الموجات باتجاه معين. ولكن ماذا تعني ψ للجسم؟

أن ψ تعطي فكرة عن احتمالية وجود ذلك الجسيم عند لحظة ما في مكان ما ولكن لاتمثل الإحتمالية لأن الإحتمال يتراوح من صفر إلى +١ ، حيث صفر تعني عدم الإحتمالية لوجود الجسيم بينما تمثل وجود الجسيم بالتأكيد ، في حين أن قيمة ψ كما نعلم يمكن أن تكون سالبة.لذلك وجد أن احتمالية وجود الجسيم بالإمكان تمثيلها بالدالة $|\psi|^2$ لأنها دائماً تكون لها قيمة موجبة أو صفر.

إذن فالدالة الموجية تمثل حالة الجسيم ، والتفسير الفيزيائي للدالة يكون ممثلاً في احتمالية وجود الجسيم في مكان خاص من الفراغ.

المراجع :

١- الميكانيكا أساسياتوتطبيقاتد. حازم فلاح أستاذ الفيزياء المشارك.جامعـــة الأزهر

٢-الفيزياء العامة د. محمد عطية سويلم – د. محمد روبين إدريس – وآخرون الطبعة الثالثة.

٣-الفيزياء للجامعات – الجزء الأول – الميكانيكا أ.د محمد فاروق أحمد.

٤-الميكانيكا وخواص المادة د. محمد قيصرون –جامعة البحرين.

٥-الميكانيكا والقياس الجزء الأول – ترجمة د. حازم فلاح ٢٠٠٩

٦-خواص المادة د.جيهان فاروق ٢٠١٤

٧-أساسيات علم الفيزياء { الطبعة السابعة } .

٨ –الفيزياء الحديثة (فيزياء القرن العشرين)د/ محمد محمود عمار

9 - الفيزياء الجامعية (شوم المقررات الجامعية)