

تم تحميل هذا الملف من موقع المناهج القطرية



\*للحصول على أوراق عمل لجميع الصفوف وجميع المواد اضغط هنا

<https://almanahj.com/qa>

\* للحصول على أوراق عمل لجميع مواد المستوى الثاني عشر العلمي اضغط هنا

<https://almanahj.com/qa/17>

\* للحصول على جميع أوراق المستوى الثاني عشر العلمي في مادة فيزياء ولجميع الفصول, اضغط هنا

<https://almanahj.com/qa/17physics>

\* للحصول على أوراق عمل لجميع مواد المستوى الثاني عشر العلمي في مادة فيزياء الخاصة بـ الفصل الثاني اضغط هنا

<https://almanahj.com/qa/17physics2>

\* لتحميل كتب جميع المواد في جميع الفصول للمستوى الثاني عشر العلمي اضغط هنا

<https://almanahj.com/qa/grade17>

للتحدث إلى بوت المناهج القطرية على تلغرام: اضغط هنا

[https://t.me/qacourse\\_bot](https://t.me/qacourse_bot)



في الفيزياء

2023

الممتاز

تم تحميل هذا من  
موقع المناهج القطرية

alManahj.com/qa

اسم الطالب:

ملخص القوانين الرياضية

+ الجانب النظري



33773452

قيم بعض الثوابت الهامة	
$k = 9 \times 10^9 (m/F)$ أو $(N.m^2/C^2)$	ثابت كولوم للفراغ أو الهواء
$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} (C^2/N.m^2)$ أو $(F/m)$	السماحية الكهربائية للفراغ
$\epsilon_r = 1$	السماحية النسبية للهواء
$\rho = 1000 kg/m^3$	كثافة الماء
$\rho = 1 kg/m^3$	كثافة الهواء
$P_0 = 1.013 \times 10^5 atm$	الضغط الجوي
$1eV = 1.6 \times 10^{-19} J$	الإلكترون فولت
$h = 6.63 \times 10^{-34} J.s$	ثابت بلانك
$m_e = 9.1 \times 10^{-31} kg$	كتلة الإلكترون
$e = 1.6 \times 10^{-19} C$	شحنة الإلكترون
$c = 3 \times 10^8 m/s$	سرعة الضوء في الفراغ

قيم البادئات الهامة		
$10^{12}$	T	تيرا
$10^9$	G	جيجا
$10^6$	M	ميغا
$10^3$	K	كيلو
$10^{-2}$	c	سنتي
$10^{-3}$	m	ميلي
$10^{-6}$	$\mu$	ميكرو
$10^{-9}$	n	نانو
$10^{-12}$	p	بيكو

بعض الحجوم والمساحات	
$V = \frac{4}{3}\pi r^3$	حجم الكرة (القطرة)
$V = Ad = \pi r^2 d$	حجم الأسطوانة
$A = l^2$	مساحة المربع
$A = l \times w$	مساحة المستطيل
$A = \frac{1}{2}bh$	مساحة المثلث

## الدرس 1: قانون كولوم

## الوحدة 1: المجال الكهربائي والجهد الكهربائي

- الشحنات المتشابهة تتنافر ، بينما الشحنات المختلفة تتجاذب.
  - إذا كانت الشحنة الأولى  $q_1$  تؤثر على الشحنة الثانية  $q_2$  بقوة فعل تساوي  $F_{12}$  ، فإن الشحنة الثانية  $q_2$  تؤثر على الشحنة الأولى  $q_1$  بقوة رد فعل تساوي  $F_{21}$  تساويها مقدار وتعاكسها اتجاهها وذلك حسب قانون نيوتن الثالث أي أن:
- $$F_{21} = - F_{12}$$
- نص قانون كولوم: إن القوة الكهروستاتيكية بين شحنتين كهربائيتين تتناسب طرديا مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين وعكسيا مع مربع المسافة بينهما وعكسيا مع السماحية الكهربائية للوسط.
  - السماحية الكهربائية للوسط تعرف بأنها حاصل ضرب ثابت العزل (السماحية النسبية) في السماحية الكهربائية للوسط.

## ملخص العلاقات الرياضية

قانون كولوم	
$F_e = \frac{kQq}{r^2}$	قانون كولوم لحساب القوة الكهربائية
$k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$	ثابت كولوم
$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$	السماحية الكهربائية للوسط
$\frac{F_2}{F_1} = \frac{(Qq)_2}{(Qq)_1} \times \frac{r_1^2}{r_2^2} \times \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$	النسبة بين قوتين

## ملخص الكميات الفيزيائية والوحدات

الرمز	الكمية الفيزيائية والوحدة
$F_e$	القوة الكهربائية بوحدة نيوتن (N)
$Q$	الشحنة الأولى (المولدة للمجال) بوحدة كولوم (C)
$q$	الشحنة الثانية (المدرسة أو المتأثرة بالمجال) بوحدة كولوم (C)
$r$	المسافة بين الشحنتين بوحدة المتر (m)
$k$	ثابت كولوم $(N \cdot m^2 / C^2)$ أو $(m/F)$
$\epsilon$	السماحية الكهربائية للوسط $(C^2 / N \cdot m^2)$ أو $(F/m)$
$\epsilon_r$	ثابت العزل (السماحية النسبية) ليس له وحدة
$\epsilon_0$	السماحية الكهربائية للفراغ (أو الهواء) $(C^2 / N \cdot m^2)$ أو $(F/m)$

## الوحدة 1: المجال الكهربائي والجهد الكهربائي الدرس 2/A: المجال الكهربائي

- المجال الكهربائي: هو الخاصية الكهربائية للمنطقة المحيطة بالشحنة الكهربائية ويظهر فيها تأثير القوة الكهربائية ، ويعمل كمنظم للطاقة الكهربائية التي توزع القوى الكهربائية بين الشحنات.
- شدة المجال الكهربائي عند نقطة: هو القوة الكهربائية المؤثرة في وحدة شحنة موجبة.
- يحدد اتجاه المجال الكهربائي بواسطة شحنة اختبار موجبة وهمية (افتراضية)
- خطوط المجال الكهربائي: هي مخططات وهمية تمثل القوى المؤثرة في وحدة شحنة اختبارية موجبة
- خصائص خطوط المجال الكهربائي:

1. يكون اتجاهها باتجاه القوة المؤثرة على شحنة اختبارية موجبة.
2. هي خطوط وهمية لا تتقاطع.
3. تتجه بعيداً عن الشحنات الموجبة ونحو الشحنات السالبة.
4. تكون الخطوط متقاربة للمجالات القوية ومتباعدة للمجالات الضعيفة.

- تكون شدة المجال الكهربائي داخل الموصل المستقر صفراً، لذا توضع الأجهزة الإلكترونية وأسلاك التوصيل داخل قفص (قشرة) فلزية لحمايتها من المجالات الخارجية.

### ملخص العلاقات الرياضية

$E = 0$	داخل الموصل	الموصل الكروي
$E = \frac{kQ}{R^2}$	على سطح الموصل	
$E = \frac{kQ}{r^2}$	خارج الموصل	

$E = \frac{F_e}{q}$	تعريف شدة المجال الكهربائي
$E = \frac{kQ}{r^2}$	شدة المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية

### ملخص الكميات الفيزيائية والوحدات

الكمية الفيزيائية والوحدة	الرمز
ثابت كولوم $N \cdot m^2 / C^2$	$k$
بعد النقطة عن الشحنة المولدة للمجال (أو مركز الموصل الكروي) بوحدة المتر $m$	$r$
نصف قطر الموصل الكروي $m$	$R$
بعد النقطة عن سطح الموصل الكروي $m$	$h$

الكمية الفيزيائية والوحدة	الرمز
شدة المجال الكهربائي $N/C$	$E$
القوة الكهربائية بوحدة نيوتن $N$	$F_e$
الشحنة المولدة للمجال بوحدة كولوم $C$	$Q$
شحنة الاختبار أو (المدرسة أو المتأثرة) بوحدة كولوم $C$	$q$

## الوحدة 1: المجال الكهربائي والجهد الكهربائي

### الدرس B/2: الجهد الكهربائي

- الجهد الكهربائي: هو طاقة الوضع الكهربائية لكل وحدة شحنة.
- فرق الجهد الكهربائي: هو التغير في طاقة الوضع الكهربائية لكل وحدة شحنة.
- طاقة الوضع الكهربائية: هي الطاقة المخزنة داخل الشحنة بسبب وجودها بالقرب من شحنة أخرى ويساوي الشغل المبذول عليها
- التغير في طاقة الوضع الكهربائية: هو الطاقة المخزنة داخل الشحنة بسبب انتقالها بين النقطتين ويساوي مقدار الشغل اللازم لنقل الشحنة بين النقطتين.

➤ الإلكترون فولت: الطاقة المكتسبة /المفقودة عند انتقال شحنة مقدارها  $1 e$  بين نقطتين فرق الجهد الكهربائي بينهما  $1 V$

#### خصائص الجهد الكهربائي

1. الجهد الكهربائي الكلي الناتج عن مجموعة من الشحنات هو المجموع الجبري لجهود الشحنات كل على حدة.
  2. فرق الجهد الكهربائي بين نقطة وأخرى لا يعتمد على المسار المتبع بين هاتين النقطتين.
  - سطوح تساوي الجهد: هو سطح وهمي تكون فيه قيم الجهد الكهربائي لجميع النقاط الواقعة عليه متساوية.
  - الشغل المبذول لنقل الشحنة بين نقطتين تقعان على سطح متساوي الجهد يساوي صفراً.
  - التغير في طاقة الوضع الكهربائية للشحنة عند انتقالها بين نقطتين تقعان على سطح متساوي الجهد يساوي صفراً.
  - خصائص سطوح تساوي الجهد:
1. تكون قيم الجهد الكهربائي متساوية لجميع النقاط الواقعة
  2. لا يُبذل شغل لنقل شحنة ما من نقطة لأخرى على سطح على سطح تساوي الجهد نفسه.
  3. وهمية لا تتقاطع.
  4. سطوح تساوي الجهد تكون متعامدة مع خطوط المجال الكهربائي.

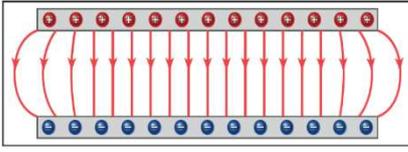
#### ملخص الكميات الفيزيائية والوحدات

#### ملخص العلاقات الرياضية

الكمية الفيزيائية والوحدة	الرمز
الجهد الكهربائي (فولت V)	$V$
طاقة الوضع الكهربائية بوحدة (جول J)	$E_p$
فرق الجهد الكهربائي (فولت V)	$\Delta V$
التغير في طاقة الوضع الكهربائية بوحدة (جول J)	$\Delta E_p$
ثابت كولوم $N.m^2/C^2$	$k$
الشحنة المولدة للجهد بوحدة (كولوم C)	$Q$
شحنة الاختبار أو (المدرسة أو المتأثرة) بوحدة (كولوم C)	$q$
بعد النقطة عن الشحنة المولدة للجهد بوحدة (المتري m)	$r$

$V = \frac{E_p}{q}$	تعريف الجهد الكهربائي
$\Delta V = \frac{\Delta E_p}{q} = \frac{W}{q}$	تعريف فرق الجهد الكهربائي
$V = \frac{kQ}{r}$	الجهد الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية
$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$	الجهد الكهربائي الناشئ عن عدة شحنات نقطية

## الوحدة 1: المجال الكهربائي والجهد الكهربائي الدرس 3: المجال الكهربائي المنتظم



المجال الكهربائي بين لوحين فلزيين مشحونين.

➤ تنقسم المجالات الكهربائية إلى نوعين منتظم وغير منتظم، تولّد الشحنات الكهربائية النقطية مجالاً غير منتظم (متغير الشدة والاتجاه).

➤ ينشأ المجال المنتظم (ثابت الشدة والاتجاه) بين لوحين متوازيين مشحونين بشحنتين مختلفتين، حيث تكون شدة المجال الكهربائي ثابتة لجميع النقاط بين اللوحين، ويكون

المجال الكهربائي غير منتظماً عند الأطراف حيث تكون خطوط المجال منحنية ومتباعدة بشكل غير متساوٍ.

➤ خصائص المجال الكهربائي المنتظم: (1) متوازية (2) تفصلها مسافات متساوية.

➤ عند دخول جسيم مشحون إلى مجال منتظم فإنه يكتسب تسارعاً

### ملخص العلاقات الرياضية

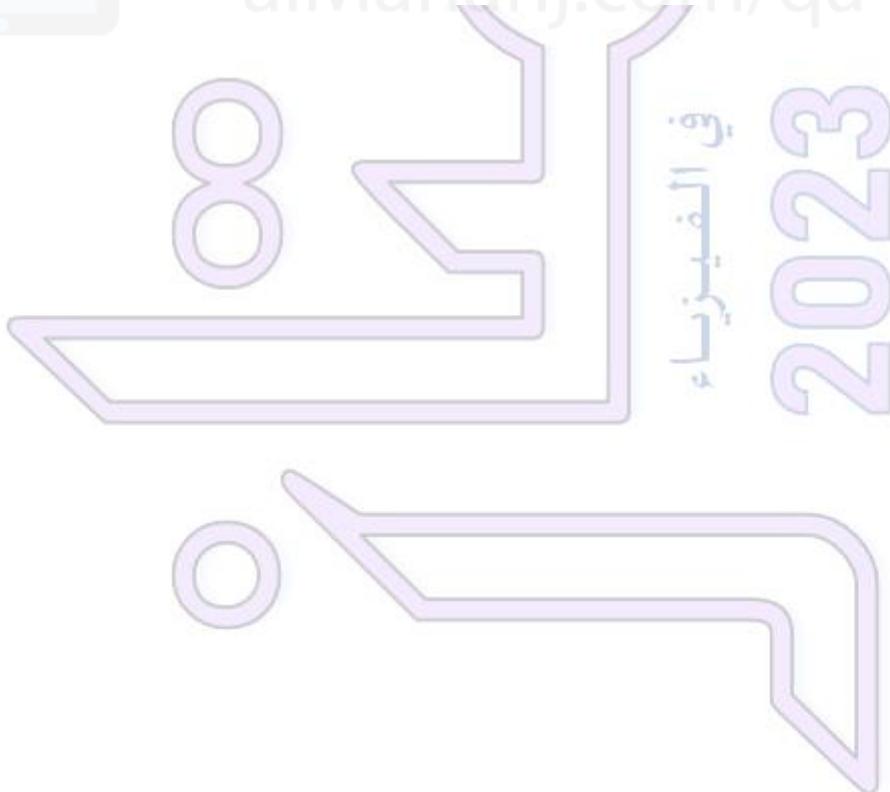
$E = \frac{\Delta V}{\Delta d} = \frac{F_e}{q}$	المجال الكهربائي المنتظم
$F_e = qE = q \frac{\Delta V}{\Delta d}$	القوة المؤثرة على جسيم مشحون في مجال منتظم
$v = \sqrt{\frac{2q\Delta V}{m}} = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}$	السرعة النهائية لجسيم مشحون في مجال منتظم
$\Delta E_p = -W$	الشغل والتغير في طاقة الوضع الكهربائية
$\Delta E_p = qE\Delta d$	التغير في طاقة الوضع

### ملخص الكميات الفيزيائية والوحدات

الرمز	الكمية الفيزيائية والوحدة
$V$	الجهد الكهربائي ( فولت $V$ )
$E_p$	طاقة الوضع الكهربائية بوحدة ( جول $J$ )
$\Delta V$	فرق الجهد الكهربائي ( فولت $V$ )
$\Delta E_p$	التغير في طاقة الوضع الكهربائية بوحدة ( جول $J$ )
$W$	الشغل المبذول لنقل الشحنة ( جول $J$ )
$\Delta d$	المسافة بين النقطتين بوحدة ( المتر $m$ )
$Q$	الشحنة المولدة للجهد أو المجال بوحدة ( كولوم $C$ )
$q$	شحنة الاختبار أو (المدروسة أو المتأثرة) بوحدة ( كولوم $C$ )

## المقارنة بين المجال الكهربائي ومجال الجاذبية الأرضية

المجال الجاذبية	المجال الكهربائي
أوجه التشابه:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• تخضع القوة في كلا المجالين لقانون التربيع العكسي.</li> <li>• كلا المجالين كمية فيزيائية متجهة.</li> <li>• الطاقة المخزنة في النظام الناتج عن وجود (شحنة أو كتلة) في المجال تتناسب عكسيًا مع المسافة.</li> <li>• الجهد الكهربائي وجهد الجاذبية كلاهما كميات عددية.</li> </ul>	
أوجه الاختلاف:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• القوة التي يؤثر بها تنتج عن الكتلة.</li> <li>• ثابت التناسب هو نفسه لجميع الأوساط (ثابت كوني).</li> <li>• اتجاه القوة دائمًا يكون تجاذب.</li> <li>• جهد الجاذبية يكون دائمًا سالب.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• القوة التي يؤثر بها تنتج عن الشحنة.</li> <li>• ثابت التناسب يختلف من وسط لآخر.</li> <li>• اتجاه القوة قد يكون تجاذب أو تنافر حسب نوع الشحنات.</li> <li>• الجهد الكهربائي يكون موجب أو سالب حسب نوع الشحنة.</li> </ul>



## الوحدة 4: ديناميكا الموائع

### الدرس 1: سلوك الموائع

- يُعرّف المائع بأنه شكل من أشكال المادة التي تتدفق وتغير شكلها استجابة لأية قوة مطبقة عليها.
- تقسم الموائع إلى نوعين: القابلة للانضغاط (الغازات) وغير القابلة للانضغاط (السوائل).
- يُعرف معدل التدفق ورمزه  $Q$  بأنه: حجم المائع ( $V$ ) الذي يعبر عمودياً مساحة مقطع مجرى المائع في وحدة الزمن.
- السرعة المتوسطة لمائع: متوسط سرعات كافة نقاط المائع التي تتحرك بشكل عمودي على مساحة مقطع الأسطوانة، وهي المقصودة في قانون معدل التدفق.
- تنص معادلة الاستمرارية على: أن معدل التدفق الحجمي بين المقاطع المختلفة للأنبوب يكون ثابتاً، وبالتالي يكون حاصل ضرب مساحة المقطع في سرعة التدفق متساوٍ لجميع أجزاء الأنبوب. وبالتالي تتناسب مساحة مقطع الجريان عكسياً مع سرعة المائع.
- تمثل معادلة الاستمرارية تطبيقاً لمبدأ حفظ المادة.
- الطبقة الحدية: هي الطبقة الثابتة المتصلة بجدران الأنبوب نتيجة الاحتكاك.
- تتكون أنبوبة فنتوري من أنبوبة مختلفة الأبعاد ذات ممر ضيق (مساحة أصغر) في منتصفها لخصر تدفق المائع وزيادة سرعته وبالتالي نقصان ضغطه. وتستخدم في الكثير من الأجهزة مثل بخاخات العطور وأجهزة قياس السرعة والضغط.
- خط الانسياب: هو خط وهمي يمثل مسار حركة جزء معين من المائع.
- تعتبر معادلة برنولي تطبيقاً لمبدأ حفظ الطاقة حيث يكون مجموع طاقة الضغط وطاقة الحركة وطاقة الوضع ثابتاً لجميع نقاط خط الانسياب.
- تنص معادلة برنولي على أن مجموع الضغط والكثافة الحجمية لطاقة الحركة والكثافة الحجمية لطاقة الوضع ثابتاً لجميع نقاط خط الانسياب. وبالتالي سيتناسب ضغط المائع عكسياً مع سرعة الجريان.
- سرعة الجريان تتناسب عكسياً مع كل من الضغط ومساحة المقطع.
- من التطبيقات على مبدأ برنولي جناح الطائرة وتصميم سيارات السباق وأجنحة السيارات.

#### أولاً: تدفق المائع ومعادلة الاستمرارية

العلاقة الرياضية	الكمية الفيزيائية
$Q = \frac{V}{t} = A v = \pi r^2 v$	معدل التدفق
$Q_1 = Q_2$ $A_1 v_1 = A_2 v_2$	معادلة الاستمرارية
$Q = Q_1 + Q_2 + \dots$ $A v = A_1 v_1 + A_2 v_2 + \dots$	معادلة الاستمرارية بوجود تفرع

ثانياً: معادلة برنولي	
العلاقة الرياضية	الكمية الفيزيائية
$P = \frac{F}{A} = \frac{E}{V}$	الضغط
$W = F \cdot d = \Delta E = P\Delta V$	الشغل والطاقة والضغط
$E_{T(1)} = E_{T(2)}$ $mgh + \frac{1}{2}mv^2 + PV = \text{ثابت}$ $mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 + P_1V = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 + P_2V$	قانون حفظ الطاقة
$\rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 + P = \text{ثابت}$ $\rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + P_1 = \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + P_2$	معادلة برنولي
$P = \rho gh$	الضغط الناتج عن سائل
$v = \sqrt{2g\Delta h}$	سرعة تدفق سائل أسفل خزان

## ملخص الكميات الفيزيائية والوحدات

الرمز	الكمية الفيزيائية والوحدة
$P$	الضغط ( $Pa$ )
$\rho$	الكثافة ( $kg/m^3$ )
$g$	تسارع الجاذبية الأرضية ( $g = 9.8 m/s^2$ )
$h$	الارتفاع ( $m$ )
$F$	القوة ( $N$ )
$E$	الطاقة ( $J$ )
$W$	الشغل المبدول ( $J$ )

الرمز	الكمية الفيزيائية والوحدة
$Q$	معدل التدفق الحجمي ( $m^3/s$ )
$V$	الحجم ( $m^3$ )
$t$	الزمن ( $s$ )
$A$	مساحة المقطع ( $m^2$ )
$v$	سرعة المائع ( $m/s$ )
$r$	نصف قطر مقطع الأنبوب ( $m$ )
$d$	الإزاحة ( $m$ )

## الوحدة 4: ديناميكا الموائع

### الدرس 2: الغاز المثالي

- ❖ قانون شارل: يتناسب حجم الغاز طرديا مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت ضغطه.
- ❖ قانون جاي لوساك: يتناسب ضغط الغاز طرديا مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت حجمه.
- ❖ قانون بويل: يتناسب حجم الغاز عكسيا مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته.
- ❖ الصفر المطلق: هي درجة الحرارة التي ينعدم عندها حجم الغاز بثبوت ضغطه أو هي درجة الحرارة التي ينعدم عندها ضغط الغاز بثبوت حجمه.

❖ الغاز المثالي: هو شكل تخيلي للمادة يساعدنا على فهم السلوك الحقيقي للغازات

❖ خصائص الغاز المثالي:

1. يتكون الغاز المثالي من جزيئات صغيرة تتحرك بشكل عشوائي، ولها كتلة. وحجم جزيئات الغاز مهمل بالنسبة لحجم الإناء الذي توجد فيه.
2. تتفاعل جزيئات الغاز فقط من خلال التصادمات المرنة الكلية، حيث تتبادل الجزيئات أثناء التصادمات الطاقة وكمية الحركة فيما بينها من جانب، وفيما بينها وبين جدران الإناء الذي توجد فيه من جانب آخر.
3. لا توجد قوى بين جزيئات الغاز المثالي إلا أثناء التصادم.
4. زمن التصادم صغير جدا بالمقارنة مع الفترات الزمنية بين التصادمات من الناحية العملية.

### ملاحظات مهمة

A. يجب تحويل درجة الحرارة إلى النظام الدولي (الكلفن) في جميع مسائل وقوانين الغازات حسب العلاقة التالية:

$$T_k = T_C + 273$$

B. يجب التحويل إلى النظام الدولي SI عند استخدام العلاقة التالية:  $PV = nRT$  لجميع الكميات الفيزيائية الضغط والحجم ودرجة الحرارة كالاتي:

▪ الضغط يجب أن يحول إلى الباسكال Pa كالاتي:  $76\text{cmHg} = 1\text{ atm} = 1.013 \times 10^5\text{ pa}$

▪ الحجم يجب أن يحول إلى المتر المكعب ( $\text{m}^3$ ) كالاتي:  $1\text{ L} = 10^{-3}\text{ m}^3$        $1\text{ mL} = 1\text{cm}^3 = 10^{-6}\text{ m}^3$

C. لا ضرورة لتحويل الضغط والحجم إلى النظام الدولي عند استخدام العلاقات الرياضية التي تحتوي حالتين للضغط  $P_1, P_2$  أو حالتين للحجم  $V_1, V_2$  متجانستين في الوحدة.

D. يجب أن تكون قيمة الضغط هي القيمة المطلقة للضغط والتي تساوي قيمة ضغط الغاز مضافا إليها الضغط الجوي  $P_0$  حسب

العلاقة التالية:  $P_{\text{مطلق}} = P_{\text{مقاس}} + P_{\text{جوي}}$

## ملخص العلاقات الرياضية

العلاقة الرياضية	الكمية الفيزيائية
$T_k = T_C + 273$	درجة الحرارة المطلقة
$P_{\text{مطلق}} = P_{\text{مقاس}} + P_{\text{جوي}}$	الضغط المطلق
$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	قانون شارل
$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$	قانون جاي لوساك
$P_1V_1 = P_2V_2$	قانون بويل
$PV = nRT$ $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$	قانون الغاز المثالي
$n = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$	عدد المولات

## ملخص الكميات الفيزيائية والوحدات

الكمية الفيزيائية والوحدة	الرمز	الكمية الفيزيائية والوحدة	الرمز
الضغط (Pa)	$P$	عدد الجزيئات	$N$
الحجم ( $m^3$ )	$V$	عدد أفوجادرو $6.022 \times 10^{23}$	$N_A$
درجة الحرارة (K)	$T$	ثابت الغاز العام (ثابت الغاز المثالي) $R=8.31$ J/K.mol	$R$
عدد المولات (mol)	$n$	الكتلة المولية (kg/mol)	$M$
		كتلة الغاز (kg)	$m$

## الوحدة 5: الديناميكا الحرارية الدرس 1: خصائص النظام الديناميكي الحراري

- النظام الديناميكي الحراري: هو مجموعة محدودة من المادة والطاقة التي نُعرّفها لتحليل أية تغيّرات داخل النظام.
- حدود النظام: سطح وهمي مغلق يحيط بالنظام (وتعتبر المادة والطاقة داخل النظام جزءاً من ذلك النظام).
- محيط النظام: المادة والطاقة خارج حدود النظام.
- تقسم الأنظمة الديناميكية الحرارية إلى 3 أنواع وهي النظام المفتوح والنظام المغلق والنظام المعزول.
- 1. النظام المفتوح: هو النظام الذي يتم فيه تبادل كل من المادة والطاقة بين النظام ومحيطه عبر حدود النظام.
- 2. النظام المغلق: هو النظام الذي يتم فيه تبادل الطاقة بين النظام والمحيط، ولكن لا يحدث تبادل للمادة عبر حدود النظام.
- 3. النظام المعزول: هو النظام الذي لا يسمح بتبادل المادة ولا الطاقة بين النظام والمحيط.
- تمثل المساحة أسفل المنحنى البياني  $(P - V)$  الشغل المبذول بواسطة الغاز، ويقاس بوحدة  $J$ . ويكون الشغل موجبا عند تمدد الغاز (الغاز يبذل شغلا على المحيط) ويكون سالبا عند انكماش الغاز (المحيط يبذل شغلا على الغاز)، وصفرا عند ثبات الحجم.
- الدورة الديناميكية الحرارية: هي العملية الديناميكية الحرارية التي تتكرر باستمرار بحيث يعود النظام لحالته الابتدائية.
- الشغل الكلي خلال الدورة الديناميكية الحرارية المبذول للغاز يساوي المساحة المحصورة داخل الدورة كاملة.
- الحالة الديناميكية الحرارية للنظام: هي حالة النظام الديناميكي الحراري في لحظة ما، والتي يتم وصفها بمتغيرات الحجم ودرجة الحرارة والضغط.
- متغيرات الحالة الديناميكية الحرارية للنظام: هي الكميات أو المتغيرات الفيزيائية التي تستخدم لوصف النظام الديناميكي الحراري، وتعتمد على حالته النهائية وليس على المسار المطلوب للوصول لهذه الحالة مثل  $(P, V, T)$ .
- يمكن تعريف معادلة الحالة (دالة الحالة): بأنها العلاقة بين متغيرات الحالة في النظام الديناميكي الحراري. فهي تعتمد على الحالة النهائية للنظام، أي تعتمد على متغيرات الحالة  $(P - V - T)$  ولا تعتمد على المسار.
- ومن الأمثلة على دوال الحالة للنظام الديناميكي الحراري الطاقة الداخلية للنظام، حيث تعتمد على الحالة النهائية للنظام أي على متغيرات الحالة  $(P - V - T)$ .
- دالة المسار: هي الدالة التي تعتمد على المسار المتبع بين حالتين، أي طريقة الانتقال بين الحالتين مثل (الشغل والحرارة).
- الطاقة الداخلية: مجموع الطاقات (الطاقة الكلية) التي تمتلكها ذرات أو جزيئات النظام.
- السعة الحرارية النوعية عند ضغط ثابت  $(C_p)$ : هي خاصية تصف تغيّر الطاقة الحرارية لوحدة الكتل لكل درجة من درجات الحرارة.
- يمكن اعتبار التغير في الطاقة الكلية لنظام ديناميكي حراري صلب مساوياً للتغير في الطاقة الحرارية للنظام.
- يختلف حساب الطاقة الداخلية للغازات كأنظمة ديناميكية حرارية عن الأنظمة الصلبة والسائلة، حيث تكون دراسة الطاقة الداخلية للغازات أكثر تعقيداً، للأسباب التالية: الغازات قابلة للانضغاط والاختلافات بين الغازات أحادية الذرة والغازات الجزيئية.
- الطاقة الداخلية للغاز = طاقة الحركة + طاقة الوضع + طاقة إضافية مرتبطة بأنماط الدوران والاهتزاز
- في الأنظمة الغازية تكون الطاقة الداخلية للغاز المثالي تساوي مجموع الطاقة الحركية لكل جسيماته فقط حيث لا يوجد أشكال أخرى للطاقة مثل طاقة الوضع أو الدوران أو الاهتزاز.
- وبما أن حجم جسيمات الغاز المثالي صغير جداً (مهمل) مقارنة بحجم الإناء، ولأن تصادمات الجسيمات فيه مرنة كلياً، يكون لذلك ثلاث نتائج ديناميكية حرارية:
- 1. طاقة الوضع، والتي تشكل جزءاً من الطاقة الداخلية للنظام، تكون صفرافاً في حالة الغاز المثالي.
- 2. لا تمتلك الجسيمات النقطية للغاز المثالي نماذج دورانية أو اهتزازية لتخزين الطاقة.
- 3. وعليه، فإن الطاقة الداخلية للغاز المثالي تساوي مجموع الطاقة الحركية لكل جسيماته. (لغاز)  $U = E_k$
- تعتمد الطاقة الداخلية للغازات على درجة حرارته المطلقة بشكل رئيس وكذلك عدد المولات (الجزيئات).

## ملخص العلاقات الرياضية

العلاقة الرياضية	الكمية الفيزيائية
$W = P \Delta V$	الشغل بوساطة الغاز تحت ضغط ثابت
$Q = mc_p \Delta T$	التغير في الطاقة الداخلية للأنظمة الصلبة والسائلة يساوي التغير في الطاقة الحرارية:
$U = \frac{3}{2} nRT$	الطاقة الداخلية للغاز المثالي:
$PV = nRT$	معادلة الحالة للغاز المثالي:

## ملخص الكميات الفيزيائية والوحدات

الرمز	الكمية الفيزيائية والوحدة
$W$	الشغل المبذول بوساطة الغاز بوحدة الجول (J)
$P$	ضغط الغاز بوحدة الباسكال (Pa)
$\Delta V$	التغير في حجم الغاز بوحدة ( $m^3$ )
$Q$	التغير في الطاقة الداخلية للأنظمة الصلبة والسائلة (التغير في الطاقة الحرارية) بوحدة الجول (J)
$m$	الكتلة بوحدة الكيلوجرام (kg)
$c_p$	السعة الحرارية النوعية (الحرارة النوعية) عند ثبوت الضغط J/kg.K أو J/kg.C°
$\Delta T$	التغير في درجات الحرارة K أو C°
$U$	الطاقة الداخلية بوحدة الجول (J)
$n$	عدد مولات الغاز بوحدة المول (mol)
$R$	ثابت الغاز = $(8.314 J/K.mol)$
$T$	درجة الحرارة المطلقة للغاز (K)
$N$	عدد جسيمات الغاز
$N_A$	عدد الجسيمات لكل مول (عدد أفوجادرو $6.022 \times 10^{23}$ )

## الوحدة 5: الديناميكا الحرارية

### الدرس 2: قوانين الديناميكا الحرارية

القانون الصفري للديناميكا الحرارية: الوصف ((هو القانون الذي يصف الاتزان الحراري ويعرفه)).

◀ الذي ينص أيضا على أنه: { لا يمكن للحرارة أن تتدفق بشكل طبيعي بين أي جسمين عند درجة الحرارة نفسها. }  
 ⚙ الاتزان الحراري: هو الحالة التي تكون فيها درجة الحرارة متساوية في جميع أنحاء النظام.

القانون الأول للديناميكا الحرارية: الوصف ((هو صيغة عامة لحفظ الطاقة، بما في ذلك جميع المتغيرات الديناميكية الحرارية)).

◀ وينص على أن: {التغير في الطاقة الداخلية لنظام يساوي الحرارة المكتسبة أو المفقودة بالإضافة إلى الشغل المبذول على النظام أو بوساطته}.

⚙ الشغل W: يكون الشغل موجبا (+) عندما يبذل بوساطة النظام، ويكون الشغل سالبا (-) عندما يبذل على النظام.  
 ⚙ الحرارة Q: تكون الحرارة موجبة (+) عندما تعطى للنظام، وتكون الحرارة سالبة (-) عندما تفقد من النظام.

القانون الثاني للديناميكا الحرارية: الوصف ((هو القانون الذي يصف اتجاه التدفق الطبيعي للطاقة الحرارية، ويعرف كـمياً جديدة تسمى "الانتروبي")).

◀ ينص على أن: {الحرارة تتدفق فقط بشكل تلقائي من درجة الحرارة الأعلى إلى درجة الحرارة الأقل، ولا تتدفق في الاتجاه المعاكس}  
 ⚙ يوضح القانون الثاني للديناميكا الحرارية على أن الانتروبي الكلية يمكن أن تزداد أو تبقى ثابتة للعمليات التي تحدث بشكل طبيعي.  
 $(\Delta S \geq 0)$

⚙ تقسم العمليات من حيث تلقائية الحدوث بشكل طبيعي إلى: عمليات تلقائية وغير تلقائية

- تكون العملية تلقائية إذا حدثت بشكل طبيعي دون أي تدخل خارجي. مثل تدحرج الكرة نحو أسفل التل. وتزداد الانتروبي دائما
- تكون العملية غير تلقائية إذا احتاجت لكي تحدث إلى تدخل خارجي. مثل عودة الكرة إلى أعلى التل،

⚙ في الأنظمة الديناميكية الحرارية لا تحدث العمليات بشكل متساو ذهابا وإيابا، وإنما في اتجاه واحد فقط، فمثلا تتدفق الحرارة باتجاه واحد فقط من درجة الحرارة الأعلى إلى درجة الحرارة الأقل، ولا يمكن أن يحدث العكس تلقائيا، لذا فهي غير انعكاسية.

⚙ أي عملية تتدفق فيها الحرارة بشكل تلقائي وسريع تكون غير انعكاسية. هناك العديد من الأمثلة على العمليات غير الانعكاسية مثل: الزجاج المكسور لا يعيد تجميع نفسه تلقائيا. والصبغة المختلطة مع الماء لن تنفصل مرة أخرى تلقائيا.

⚙ تكون العملية قابلة للانعكاس فقط إذا بقيت الانتروبي ثابتة أي أن  $\Delta S = 0$ .

⚙ الانتروبي: هو "دالة ديناميكية حرارية تقيس مدى الفوضى أو العشوائية في النظام." ويرمز له بالرمز (S). وتعتبر دالة حالة

⚙ الحالة العيانية (الماكروسكوبية): متوسط تأثير الجسيمات المجهرية للنظام مثل الذرات والجزيئات.

⚙ لكي نقيس الانتروبي (مدى الفوضى أو العشوائية في النظام) فإننا نقيس عدد الطرائق المختلفة التي يمكن بها ترتيب الجسيمات المجهرية في النظام والتي يكون لها نفس الحالة العيانية (الماكروسكوبية) نفسها.

القانون الثالث للديناميكا الحرارية: الوصف ((هو القانون الذي يعطي التفسير الحقيقي للصفر المطلق وعلاقته بالانتروبي)).

◀ ينص على أن: {الصفر المطلق هو أدنى درجة حرارة ممكنة، لأنها هي الدرجة التي يكون عندها انتروبي النظام صفرا}.

⚙ النظام عند الصفر المطلق ليس لديه القدرة على نقل الحرارة إلى أي نظام آخر.

عند درجة الصفر المطلق، يكون للنظام أقل طاقة ممكنة، ويكون للنظام طريقة ترتيب واحدة لتنظيم جميع الذرات، ويكون ترتيبه حينئذٍ مثالياً، وفي هذه الحالة يكون الانتروبي صفراً.

⚙ بزيادة درجة الحرارة، تزداد طاقة النظام، وتزداد عدد الطرق الممكنة لترتيب ذراته وتبادل الأماكن بين الجزيئات، وتزداد الانتروبي.

⚙ تزداد الانتروبي مع الانتقال من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة ثم إلى الغازية.

⚙ يحدث تغير في الانتروبي للنظام عند تبادل الطاقة الحرارية حتى إذا ظلت درجة حرارته ثابتة.

## ملخص الكميات الفيزيائية والوحدات

العلاقة الرياضية	الكمية الفيزيائية
القانون الأول للديناميكا الحرارية	$\Delta U = Q - P\Delta V$ $\Delta U = Q - W$
القانون الثاني للديناميكا الحرارية (الانتروبي)	$\Delta S = \frac{Q}{T}$
الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل المادة من حالة لأخرى خلال العمليات التالية (الانصهار والتبخير... إلخ)	$Q = mL$

## ملخص الكميات الفيزيائية والوحدات

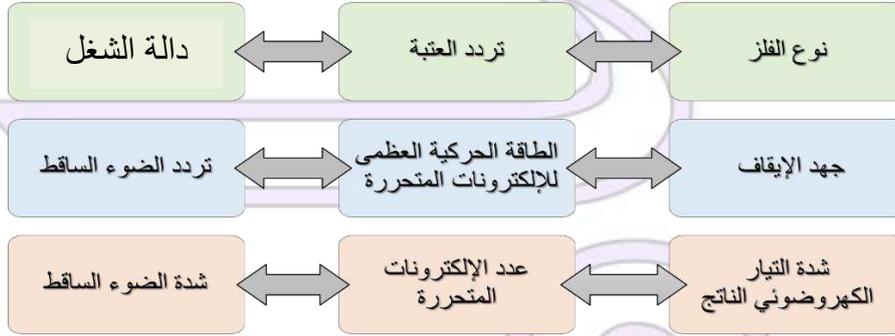
الرمز	الكمية الفيزيائية والوحدة
$W$	الشغل المبذول بوساطة الغاز بوحدة الجول (J)
$P$	ضغط الغاز بوحدة الباسكال (Pa)
$\Delta V$	التغير في حجم الغاز بوحدة ( $m^3$ )
$Q$	التغير في الطاقة الداخلية للأنظمة الصلبة والسائلة (التغير في الطاقة الحرارية) بوحدة الجول (J)
$\Delta U$	التغير في الطاقة الداخلية بوحدة الجول (J)
$T$	درجة الحرارة المطلقة للغاز (K)
$\Delta S$	التغير في الانتروبي (J/K)
$m$	الكتلة بوحدة (Kg)
$L$	الحرارة الكامنة (J/Kg)

## الوحدة 6: فيزياء الكم الدرس 1: فيزياء الكم والطبيعة المزدوجة للضوء

- ❖ **الجسم الأسود:** "هو مادة مثالية تماماً في امتصاص وانبعاث الضوء (الإشعاع)". تعتبر الشمس مثال على الجسم الأسود
- ❖ **إشعاع الجسم الأسود:** "هو الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الجسم الأسود"
- ❖ **الكارثة فوق البنفسجية:** هو تعبير ظهر بعد أن أخفقت النظرية الكلاسيكية في تفسير إشعاع الجسم الأسود، وسميت بذلك لأن التفسير الكلاسيكي لإشعاع الجسم الأسود عند الأطوال الموجية العالية كان متوافقاً مع المشاهدات التجريبية، ولكن عندما قل الطول الموجي حتى وصل إلى حيز الأشعة فوق البنفسجية اختلفت عن المشاهدات التجريبية التي أثبتت عكس ما تفسره النظرية.
- ❖ **الطبيعة الموجية للضوء:** تعتمد الطبيعة الموجية على وصف الضوء على أنه موجات كهرومغناطيسية تنتج من اهتزاز الشحنات الكهربائية، ويمتلك خصائص موجية كالتردد والطول الموجي، وكانت النظرية الكلاسيكية اعتمدت على السلوك الموجي في تفسير الظواهر.
- ❖ **الطبيعة الجسيمية للضوء:** تعتمد الطبيعة الجسيمية على وصف الضوء على أنه فوتونات عديمة الكتلة وتمتلك خصائص جسيمية مثل الزخم (كمية الحركة) وكانت النظرية الكمية اعتمدت على السلوك الجسيمي (الفوتوني) في تفسير الظواهر
- ❖ **الفوتونات** هي حزم منفصلة من الطاقة، و**الفوتون** هو أصغر كمية للضوء وهو جسيم عديم الكتلة يتمركز في الفضاء وله كمية حركة (زخم)
- ❖ **الطبيعة المزدوجة للضوء:** يمتلك الضوء طبيعة مزدوجة (ثنائية) حيث يمكن ان يسلك سلوك الموجات أحيانا كما في الانعكاس والانكسار والحيود والتداخل، ويسلك سلوك الجسيمات في أحيان أخرى مثل سلوكه في التأثير الكهروضوئي.
- ❖ حسب نظرية الكم الحديثة يعتمد سطوع (شدة) الضوء أو أي موجة كهرومغناطيسية على عدد الفوتونات، حيث يحتوي الضوء الساطع على عدد فوتونات أكبر من العدد التي يحتويه الضوء الخافت.
- ❖ أما حسب النظرية الكلاسيكية فيعتمد سطوع (شدة) الضوء على سعة الموجة
- ❖ **مبدأ تكميم الطاقة لبلائك:** يصدر الإشعاع الكهرومغناطيسي في صورة كمات من الطاقة تسمى فوتونات، يحمل كل منها طاقة تتناسب طردياً مع تردد الإشعاع، و تكون الطاقة المكممة للفوتونات  $1hf$  و  $2hf$  و  $3hf$  ... و  $nhf$ ، ولا يمكن لها أن تكون على شكل أجزاء، أي لا يمكن أن تكون مثلاً  $0.5hf$ .
- ❖ تتناسب طاقة الفوتون الواحد عكسياً مع الطول الموجي للإشعاع، وبالتالي كلما ازداد الطول الموجي للإشعاع نقصت معه طاقة الفوتون الواحد، والعكس صحيح.
- ❖ **الطيف الكهرومغناطيسي:** مصطلح يشمل جميع الترددات الممكنة للموجات الكهرومغناطيسية، تختلف في الطول الموجي والتردد. " يتكون الطيف الكهرومغناطيسي من عدة أطياف وهي: موجات الراديو والميكرويف والأشعة تحت الحمراء والضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية وأشعة جاما.
- ❖ **الظاهرة الكهروضوئية:** هي ظاهرة تحرر إلكترونات من الفلز عند سقوط ضوء ذي تردد مناسب يسمى تردد العتبة. "
- ❖ **تردد العتبة ( $f_0$ ):** "هو أقل تردد لأشعة ساقطة تستطيع تحرير الإلكترونات من سطح معدني بدون طاقة حركية." ويعتمد على نوع الفلز المستخدم.
- ❖ **دالة الشغل ( $\Phi$ ):** "هي طاقة الفوتون اللازمة لتحرير الإلكترون دون إكسابه طاقة حركية." وتعتمد على نوع الفلز

❖ **جهد الإيقاف ( $V_s$ ):** هو أقل جهد سالب تنعدم عنده شدة التيار الكهروضوئي، ويستطيع إيقاف أسرع الإلكترونات الضوئية. (أي أكثرها طاقة) وتعتمد على الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات التي تعتمد على تردد الضوء الساقط.

❖ تؤثر شدة الضوء الساقط على الباعث على عدد الإلكترونات المتحررة والذي يؤثر بدوره على شدة التيار الكهربائي وقراءة الأميتر.



### ملخص العلاقات الرياضية

العلاقة الرياضية	الكمية الفيزيائية
$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$	طاقة الفوتون
$E = nhf = \frac{nhc}{\lambda}$	طاقة حزمة ضوئية
$\Phi = hf_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$	دالة الشغل
$E_{k(max)} = eV_s = \frac{1}{2}mv^2$	الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات الضوئية
$E_{\text{فوتون}} = E_{k(max)} + \Phi$	معادلة التأثير الكهروضوئي

الكمية الفيزيائية والوحدة	الرمز
تردد الإشعاع الكهرومغناطيسي (الفوتون) (Hz)	$f$
طول موجة الإشعاع الكهرومغناطيسي (الفوتون) (m)	$\lambda$
الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة (J)	$E_{k(max)}$
تردد العتبة (Hz)	$f_0$
طول موجة العتبة (m)	$\lambda_0$
سرعة الإلكترونات المتحررة (m/s)	$v$
دالة الشغل (J)	$\Phi$
جهد الإيقاف (V)	$V_s$

## الوحدة 6: فيزياء الكم الدرس 2: مستويات الطاقة والأطياف الذرية

- تمتلك الموجات الكهرومغناطيسية طبيعة جسيمية وبالتالي يمكن النظر إليها كفوتونات تمتلك طبيعة مزدوجة، وبالمثل اقترح العالم دي بروي أن الجسيمات تمتلك سلوكاً مزدوجاً أي أنها عبارة عن جسيمات وتمتلك طبيعة موجية.
- طول موجة دي بروي المصاحب للأجسام المادية (الموجات المادية): هي عبارة عن موجات تصاحب حركة الجسيمات المادية كالإلكترونات والنيوترونات أو حتى الطلقة و العصفور و الطائرة و غيرها، يتناسب الطول الموجي المصاحب للجسيمات (الإلكترونات) عكسياً مع زخمها (خاص ضرب الكتلة في السرعة).
- يكون الطول الموجي المصاحب للجسيمات أكثر وضوحاً مع الجسيمات المادية الصغيرة (كالجسيمات الذرية) حيث أن كتلتها صغيرة مما يزيد من طول موجة دي بروي المصاحب لها، أما الجسيمات الكبيرة فيكون طول موجة دي بروي لها صغير جداً، فلا يلاحظ التأثير الموجي لها في الحياة اليومية.
- يعتبر الفوتون جسيم عديم الكتلة (كتلته السكونية = صفراً) مع ذلك تم الاستعانة بطول موجة دي بروي لحساب كمية حركته (زخمه) والذي يساوي: 
$$P_{\text{فوتون}} = \frac{h}{\lambda}$$
- أثبت العالمان دافيسون وجيرمير الطبيعة الموجية للجسيمات من خلال تسليط حزمة إلكترونية على سطح من النيكل، فنتج معهما أنماطاً من الحيود والتداخل كالتى تحدث لضوء تماماً.
- تستخدم أنبوبة حيود الإلكترونات التي تم تطويرها لإثبات الطبيعة الموجية للجسيمات حيث تعمل المسافات البينية في شريحة الجرافيت كعمل محزوز حيود، لتظهر حلقات حيود مضيئة على الشاشة الفلورسنتية.
- يمكن التحكم بسرعة الإلكترونات وطاقاتها الحركية من خلال جهد التسريع، و بالتالي يمكن تغير طولها الموجي.
- توجد تطبيقات عديدة للطبيعة المزدوجة للجسيمات مثل الاستفادة من الموجات المادية للإلكترونات في المجهر الإلكتروني والذي يتميز بقوة تكبير عالية، ويستخدم في دراسة التركيب البلوري للمواد ودراسة حبوب اللقاح والحمض النووي DNA وقياس نصف قطر النواة.
- في المجهر الإلكتروني يتم تسريع حزمة الإلكترونات إلى درجة تكفي لزيادة طاقتها الحركية وزخمها، وبالتالي نقصان طولها الموجي، لتناسب الأبعاد الصغيرة التي يراد مشاهدتها.
- أشعة المهبط (الكاثود): هي أشعة غير مرئية تتكون من إلكترونات سالبة تتولد عند تطبيق فرق جهد كهربائي في أنبوب مفرغ ذي أقطاب فلزية.
- تركيب أنبوب كروك النموذجي: أنبوب زجاجي يحتوي غاز تحت ضغط منخفض - مهبط (كاثود) - مصعد - مصدر فرق جهد
- تركيب أنبوب طومسون لأشعة المهبط: أنبوب زجاجي يحتوي غاز تحت ضغط منخفض - مهبط (كاثود) - مصعد - مصدر فرق جهد بالإضافة لمجالين كهربائي ومغناطيسي متعامدين وشاشة فسفور ملون
- تطبيقات على أنابيب أشعة المهبط: (1) شاشات التلفاز الأولى (2) جهاز راسم الذبذبات
- مبدأ تكميم الشحنة:
- (إن شحنة أي جسم يمكن أن تكون فقط مضاعفات صحيحة لشحنة أولية e وهي شحنة الإلكترون ومقدارها  $1.6 \times 10^{-19} C$ )
- في تجربة ميليكان تزن قطرة الزيت تحت تأثير 4 قوى وهي: قوة الدفع و قوة الاحتكاك مع الهواء (اللزوجة) و الوزن و القوة الكهربائية.

## ملخص العلاقات الرياضية

العلاقة الرياضية	الكمية الفيزيائية	
$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$	طول موجة دي برولي المصاحب للجسيمات	طول موجة دي برولي للموجات المادية
$P = mv$	كمية الحركة (الزخم) للجسيمات	
$P_{\text{فوتون}} = \frac{h}{\lambda} = \frac{hf}{c}$	كمية الحركة (الزخم) للفوتون	
$v = \sqrt{\frac{2E_K}{m}} = \sqrt{\frac{2q\Delta V}{m}}$	سرعة الجسيمات المتسارعة (كالإلكترونات)	الخصائص الكينماتيكية للإلكترونات
$E_K = qV = \frac{1}{2}mv^2$	الطاقة الحركية للجسيمات المتسارعة (كالإلكترونات)	
$F_M = qvB$	القوة المغناطيسية	الإلكترون وتجارب طومسون (أنبوب أشعة المهبط)
$F_E = qE$	القوة الكهربائية	
$v = \frac{E}{B}$	سرعة الإلكترونات (سرعة حزمة أشعة المهبط)	
$\frac{q}{m} = \frac{v}{rB}$	نسبة الشحنة إلى الكتلة	
$q = ne$	مبدأ تكميم الشحنة	تجربة ميليكان وتكميم الشحنة
$F_W = mg = \rho Vg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$	وزن قطرة الزيت في تجربة ميليكان	
$F_E = qE = \frac{ne\Delta V}{d}$	القوة الكهربائية المؤثرة على قطرة الزيت	
$F_W = F_E$	عند اتزان قطرة الزيت	
$\Delta V = \frac{4\pi r^3 \rho g d}{3ne}$	فرق الجهد الكهربائي الذي تسقط خلاله قطرة الزيت	

## ملخص الكميات الفيزيائية والوحدات

الرمز	الكمية الفيزيائية والوحدة
$f$	التردد (Hz)
$\lambda$	الطول الموجي (m)
$E_k$	الطاقة الحركية (J)
$v$	سرعة الجسيم أو سرعة الإلكترون (أو سرعة حزمة أشعة المهبط) (أو سرعة هبوط قطرة الزيت) (m/s)
$\Delta V$	جهد التسارع (V)
$m$	كتلة الجسيم (kg)
$P$	كمية الحركة (الزخم) (kg.m/s)
$F_M$	القوة المغناطيسية (N)
$F_E$	القوة الكهربائية (N)
$E$	شدة المجال الكهربائي (N/C)
$B$	شدة المجال المغناطيسي (T)
$q$	شحنة الجسيم (C)
$n$	عدد الإلكترونات
$e$	شحنة الإلكترون $e = 1.6 \times 10^{-19} C$
$\rho$	كثافة قطرة الزيت في تجربة ميليكان ( $kg/m^3$ )
$V$	حجم قطرة الزيت ( $m^3$ )
$g$	ثابت تسارع الجاذبية الأرضية ( $m/s^2$ )
$F_W$	وزن قطرة الزيت (N)
$r$	نصف قطر المسار الدائري في تجربة طومسون أو نصف قطر قطرة الزيت في تجربة ميليكان (m)
$d$	المسافة بين اللوحين (m)