كم 1

Introduction & Principles

اعداد الدكتور غالب ادريس عطية

- استناداً لما تقدم من دراسة الخواص الكتلية للمادة في الكيمياء الحركية وتغيرات الطور...الخ
- فألان يمكن أن ندرس خواص الذرات والجزيئات كُلٍ على حده من خلال نظرة ميكانيك الكم. فأنه بإمكاننا دراسة حركة الأجسام المتحركة في مسارات معينة ضمن قوى مؤثرة فيها وكذلك يمكن التأثير عليها ويمكن جعل الحركة تصل الى حالة السكون وكذلك يمكن وصف حالة الطاقة لها في اي لحظة.
- إن القوانين المستخدمة في هذه الحالة هي قوانين نيوتن أو ما تدعي بالميكانيك التقليدي. وكانت تلك القوانين تستخدم خلال بداية القرن الماضي. إلا إن تراكم النتائج المختبرية أظهرت فشل تلك القوانين عند تطبيقها على الجسيمات الصغيرة جداً كالذرات. إلا إن هذه المفاهيم بقيت مستخدمة حتى 1926 إلى أن تم اكتشاف ما يدعى بميكانيك الكم.

I. الميكانيك التقليدي : بعض الأفكار الأساسية:

<u>Classical mechanics: some central ideas</u>

- إن طريقة وصف الميكانيك التقليدي لأي نظام يمكن إيجادها بمعادلتين:
- * إحدى المعادلات تعبّر عن الطاقة الكلية للجسيمة بشروط طاقتها الحركيّة

- **Kinetic Energy α 1/2 mv^2**

υ تمثل سرعتها في تلك اللحظة الزمنية و m كتلتها

- **potential Energy (V)** * والأخرى طاقة الجهد عند ذلك الموقع للجسيمة:

$E= \frac{1}{2}m\,v^2 + V$; x and v are functions of t.

حيث ان x و v هما دالتان للزمن.

- فأنه يمكن تمثيل التعبير أعلاه (وبشروط الزخم الخطي؛ إذ أن $p = m\,v$) كما يلي:
- $E = p^2/2m + V$ .... (1)
- إن هذه المعادلة يمكن أن تستخدم بعدة طرق؛ فمثلاً بما إن :

$$p = m\,(dx/dt)$$

- والتضمين هنا: إن المسارات التي ستسلكها الجسيمة بالإمكان استنتاجها بالضبط إذا عرفنا موقعها و زخمها .
- وهي معادلة تفاضلية لـ (x) كدالة للزمن (t) وحلها يعطي الموقع (والزخم) للجسيمة ؛ كدالتان للزمن.
- وكتعبير رياضي فأننا ندعوهما $x(t)$ و $p(t)$ بمسار الجسيمة.
- هنا فأن المسارات التي ستسلكها الجسيمة , يصبح بالإمكان استنتاجها بالضبط إذا عرفنا موقعها و زخمها.

- *وان ابسط مثال لهذه الطريقة هي حالة الهيئة الموحدة والجهد الثابت , وعليه فأن الجهد (V) يكون مستقل عن الإزاحة (x) والزمن (t).
- ثم من جعل الجهد V مساويا إلى الصفر لغرض التبسيط ,
- فالمعادلة تصبح:

$$E= p^2/2m \qquad \text{or} \quad (2E/m)^2 = dx/dt$$

فسيكون الحل هو :

$$x(t) = x(0) + (2E/m)^{½}\, t$$

فالطاقة المستمرة E يمكن التعبير عنها بشروط الزخم الابتدائي $p(0)$ وعليه فأن المسار سيكون:

$$x(t)=x(0) + p(0)t/m \ ; \ p(t) = p(0) \qquad ....(2)$$

وهنا ، وبمعرفة الموقع الابتدائي والزخم فأنه يمكن تحديد المواقع والزخوم الأخرى المتوقعة للجسيمة.

- *والمعادلة الأساسية الثانية في الميكانيك التقليدي هي قانون نيوتن الثاني في الحركة:

$$\dot{p} = F \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

- حيث إن $\dot{p} = (\frac{dp}{dt})$ وتمثل معدل التغيّر في الزخم والذي يتناسب طردياً مع التعجيل ($p=m(d^2x/dt^2)$)
- و F تمثل القوة المؤثرة على الجسيمة.

ونفس الشئ إذا عرفنا القوة المؤثرة في موقع وبأي زمن فانه يمكن حل تلك المعادلة ومن ثم ايجاد المسار .

- فلنتصور لدينا جسيمة متعرضة لقوة ثابتة F ولزمن τ وقد سمح لها بالحركة بحرية تامة فأن معادلة نيوتن ستصبح: $$\frac{dp}{dt} = F$$
- وتكون القوة F ثابتة للأزمنة بين ($t=0$ و $t=\tau$).
- اذن التغير في الزخم يساوي صفراً، إي إن: $\frac{dp}{dt} = 0$ فالمعادلة الاولى سيكون حلها هو:

$$p(t) = p(0) + Ft$$

- هذا عندما تكون t محددة بين الفترتين ($0 \leq t \leq \tau$) فسيكون الزخم للجسيمة في نهاية البرهة الزمنية (τ):

$$p(\tau) = p(0) + F\tau$$

- فالمعادلة الثانية يكون الحل لها هو ($P = \text{constant}$) ومن ثم فان خلال جميع البُرَهْ الزمنية ما بعد ($t=\tau$) يكون الزخم لها هو ($p(\tau)$) كما في أعلاه

- ***ولتبسيط الآمر أعلاه،** لنفترض أن تكون الجسيمة مبدئياً ساكنة، وعليه فنجعل الزخم الابتدائي يساوي صفر، أي إن ($p(0) = 0$) فأن الطاقة الحركية ستكون ($p^2/2m$) وعليه فستكون قيمتها هي ($F^2\tau^2/2m$) في جميع الأزمنة اللاحقة بعد حالات تأثير القوة.

وعليه فأن الطاقة الكلية للجسيمة المعجلة قد ازدادت الى القيمة ($F^2\tau^2/2m$) بواسطة تلك القوة المؤثرة.

أي انّ: Kinetic= ($p^2/2m$)=

وطالما F و τ ممكن أن يأخذا أي قيمة، فان طاقة الجسيمة ممكن أن تأخذ أي قيمة أيضا.

- **وبنفس الأسلوب يمكن اخذ أنظمة أكثر تعقيداً، فمثلاً يمكن حسب كمية الطاقة المعطاة لجسم يدور.**

- فمثلاً يمكن حسب كمية الطاقة المعطاة لجسم يدور
  - فالزخم الزاوي (angular momentum) يرمز له بـ *J* وهو يرتبط بـ السرعة الزاوية ω بالقانون التالي :

$$J = I\omega$$

حيث إن I يمثل عزم القصور الذاتي moment of inertia (*I*) .

- وعلينا أن نتذكر دائماً استخدام *مبدأ التشابه* لـكل من *J* مع *p* ؛ و *v* مع ω ؛ و *m* مع *I*
- في الحالات الانتقالية و الدورانيّة لغرض افتراض المعادلات لها بطريقة سهلة وسريعة.

- ولغرض تعجيل الدوران، فسيكون من الضروري تسليط عزم تدويري (torque) (قوة برم أو دوران (Twisting force) ويرمز لها بـ T)، فمعادلة نيوتن ستكون اذن:

- قوة البرم ← $J = T$ → الزخم الزاوي

فإذا كان العزم المسلط هو T خلال زمن قدره (τ) فان طاقة الدوران للجسم تزداد بمقدار $T^2\tau^2/2I$)وهذا يعني إن أي عزم عشوائي (مسلط او محدد) خلال برهة زمنية (τ) بأمكانه ان يثير الدوران إلى قيمة جديدة عشوائية أو محددة من الطاقة.

- فالمثال الأخير متمثل في المهتز التوافقي. والحركة التوافقية ممكن أن تحدث عندما تعاني الجسيمة قوة إرجاع وبقوة تتناسب خطياً مع الإزاحة وعليه فأن

$$F = -k\,x$$

- حيث ان k هو ثابت القوة، فالنابض الحلزوني القوي يملك ثابت قوة كبير مثلا، والعلامة السالبة لـ F هي إشارة إلى إن القوة تتجه عكس الإزاحة :
- عندما (x) موجبة (الإزاحة نحو اليمين)، والقوة عندما تكون سالبة فهذا يعني إنها تدفع نحو اليسار وبالعكس فمعادلة نيوتن يمكن أن تكتب بالصورة التالية:

$$m\left(d^2x/dt^2\right) = -k\,x$$

وحلها:

$$x(t)=A\sin\omega\,t \quad \text{............}(4)$$

- **حيث إن ω هنا تعطى بالعلاقة التالية:**

$$\omega=(k/m)^{1/2}$$

- **فالزخم يكون ($m\,\dot{x}$) وعليه فأن :**

$$p(t) = m\,\omega\,A\cos\omega t \quad \text{..................}\ (5)$$

وخصائص هذه الحركة مألوفة : فأن موقع الجسيمة يتغيّر توافقياً كـ ($\sin\omega t$) مع التردد $\nu=\omega/2\pi$ ويكون الزخم نهائي عندما تكون الإزاحة هي أقصى قيمة أي عند $x=A$ وهنا A تمثل السعة (amplitude) للحركة. ويكون (الزخم) بأعظم قيمة عندما تكون الإزاحة بقيمتها الصغرى أي عندما ($x=0$) فالطاقة الكلية ستكون ($\frac{1}{2}kA^2$)

- * الطاقة الكلية هي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الجهد؛ وطاقة الجهد هنا ترتبط بالقوة بالعلاقة التالية:

$$F= - dV/dx$$

وبما ان في هذه الحالة ان $F = -k x$ فأن الجهد(V) سيعطى بالعلاقة:

$$V=½kx^2$$

فاذا كانت $V= 0$ عند $x = 0$ فان الطاقة الكلية ستصبح:

$$E_{Total} = p^2/2m + V= p^2/2m +½kx^2 = ½ kA^2$$

وبالتعويض في المعادلة 4 و 5 واستخدام العلاقة المثلثية التالية :

$$\text{Sin } θ + \cos θ = 1$$

- سنحصل على ان الطاقة الكلية (E_{Total}):

$$E_{Total} = ½ kA^2$$

وهنا نستنتج ان الطاقة للجسيمة المتذبذبة يمكن رفعها إلى أي قيمة نريد و ذلك باستخدام نبضات مسيطر عليها تضربها او تزيحها إلى أي سعة ممكنة ، ولتكن A.

ومن الضروري أن ننتبه إن التردد للحركة يعتمد فقط على تركيب وهيئة المتذبذب، (والذي يُمَثَّل بـ k وm) ويكون مستقل عن الطاقة. فالسعة تسيطر أو تحدد الطاقة عبر المعادلة $E_{Total} = ½ kA^2$ وهذه تكون مستقلة عن التردد.

- فالدروس التي استنتجناها من هذه الأمثلة بأن الفيزياء التقليدية

1. تستطيع تحديد المسارات والمواقع.
2. تسمح بأنماط الحركة الانتقالية والدورانية والاهتزازية بأن تُرفع لأي قيمة من الطاقة وذلك بتسليط و السيطرة على القوى أو العزوم او النبضات المؤثرة على الأجسام.

والخلاصات أعلاه هي مستقاة من الممارسات اليومية.

إلا إن تلك القوانين لا يمكن تطبيقها على الذرّات المفردة وان التجارب العالية الدقة، أظهرت إن قوانين الميكانيك التقليدي قد فشلت عندما نتعامل بمقادير أو كميات صغيرة جداً في نقل الطاقة.

وكلا الخلاصتان تم الاستعاضة عنهما بالميكانيك الكمي.

فالمعادلة (2) (المعادلة التي تخص الزخم) تصبح غير ممكنة، إذ انه لا يمكن تحديد (x) و (p) بنفس الوقت وهذه هي فرضية استحالة تحديد الموقع أو المسار.

والمعادلة (3) فشلت، بأنها تصبح غير قابلة للتطبيق أيضا، إذ لا يمكن نقل الطاقة بقيم أو مقادير عشوائية. وعليه فأن قيم الميكانيك التقليدي في الحقيقة تكون تقريبية لسلوك الجسيمات الكبيرة.

والتخمينات تفشل في حالة الكتل الصغيرة و كذلك لقيم صغيرة من عزوم الزخم الزاوية، أو انتقالات الطاقة ذات القيم الصغيرة.