

## الفصل الأول

### معادلة الأبعاد

#### 1.1. أبعاد المقادير الفيزيائية:

يظهر مفهوم الأبعاد عند الحاجة لتكوين جملة وحدات. من حيث المبدأ يمكن اختيار وحدة خاصة بكل مقدار فيزيائي وغير مرتبطة بوحدات بقية المقادير. وفي هذه الحالة يظهر في المعادلات المعبرة عن القوانين الفيزيائية كثير من المعاملات العددية قيمها لا تكون أية جملة ولا تعتمد إلا على الاختيار الكيفي لوحدات القياس. هذا العدد الكبير من المعاملات العددية يعقد المعادلات ويتطلب جهدا للذاكرة لا طائل منه. وبالتالي منذ مدة في الفيزياء ألغى الاختيار الكيفي لوحدات القياس للمقادير الفيزيائية و وضعت جملة وحدات مبنية على مبدأ معرف جيدا. هذا المبدأ يتمثل في أن بعض المقادير الفيزيائية اختيرت بالاتفاق كمقادير أساسية؛ عددها ووحدات قياسها اختيرت بشكل كيفي. على سبيل المثال في الميكانيك تستعمل جملة المقادير  $LMT$  حيث المقادير الأساسية هي الطول ( $L$ )، الكتلة ( $M$ )، والزمن ( $T$ ). المقادير التي لا تنتمي إلى مجموعة المقادير الأساسية تسمى مقادير مشتقة ووحدات قياسها المشتقة توضع بعد التحديد المسبق للقيم العددية للمعاملات الداخلة في المعادلات أو عبارات القوانين الفيزيائية المعرفة لهذه المقادير المشتقة.

لتوضيح ذلك نأخذ السرعة  $v$  لنقطة مادية في حركة منتظمة؛ هذا المقدار متناسب مع المسافة المقطوعة  $s$  وعكسيا مع الفترة الزمنية  $t$  اللازمة لقطع هذه المسافة. إذا اختيرت وحدات قياس  $s$ ،  $t$  و  $v$  بشكل مستقل عن بعضهم البعض يلزمنا كتابة  $v = C \cdot s / t$ ، حيث  $C$  معامل عددي قيمته تعتمد على الوحدات المختارة لقياس هذه المقادير. عند تحديد قيمة هذا المعامل وحدات قياس  $s$ ،  $t$  و  $v$  تصبح مرتبطة بعضها البعض. نضع الاختيار الأسهل  $C = 1$ ، ونكتب  $v = s / t$ . إذا اخترنا الطول  $s$  والزمن  $t$  كمقادير أساسية تصبح السرعة  $v$  مقدار مشتق. وفي هذه الحالة تصبح وحدة السرعة هي سرعة الجسيم في حركته المنتظمة عند قطعه وحدة المسافة في وحدة الزمن. ونقول إذن أن بعد السرعة هو طول مقسوم على زمن. أبعاد مقدار فيزيائي ما لا تعين بعد وحدة قياسه، ولكنها تستعمل فقط لوضع علاقة بين وحدات قياس المقادير الفيزيائية المختلفة الداخلة فيها. معرفة الأبعاد تمكن من وضع قاعدة لتعيين تغير وحدة قياس مقدار فيزيائي مشتق عند تغيير سلم الوحدات الأساسية وقوانينها تمثل العبارة الرياضية لهذه القاعدة.

#### 2.1. تعريفات بالأبعاد والوحدات وجملها :

المقدار الفيزيائي: ميزة لواحدة من خصائص الجسم الفيزيائي (الجملة الفيزيائية، الظاهرة أو عملية تطور). وهي عامة لكثير من الأجسام الفيزيائية من الناحية النوعية ولكنها وحيدة لكل جسم من الناحية الكمية. الوحدانية من الناحية الكمية تعني أن قيمة المقدار أو بعده قد تكون لجسم ما أكبر وأصغر عدد من المرات لجسم آخر. وبالتالي لا يمكن القول "مقدار الكتلة"، "مقدار المساحة"، "مقدار شدة التيار" إلى غير ذلك، لأن هذه الميزات (الكتلة، المساحة، شدة التيار) هي نفسها مقادير. في هذه الحالات يجب استعمال مصطلحات "بعد المقدار" أو "قيمة المقدار".

بعد المقدار الفيزيائي: تعريف كمي للمقدار الفيزيائي الخاص بجسم مادي معين، بجملة، بظاهرة أو بعملية تطور. قيمة المقدار الفيزيائي: تقييم بعد المقدار الفيزيائي على شكل عدد ما لوحدات متبناة له. هناك القيمة الحقيقية والقيمة الفعلية. لا يجب الخلط بين قيمة المقدار وبعده. فبعد المقدار الفيزيائي لجسم ما موجود واقعا (موضوعيا) ولا يعتمد على معرفتنا له من عدمها، ولا على إمكانية تقديره في وحدات ما. قيمة المقدار الفيزيائي تظهر فقط عند تقييم بعد المقدار لجسم ما بمساعدة وحدة ما ونحصل عليها نتيجة للقياس أو الحساب وبالتالي فهي تمثل القيمة الفعلية.

صنف المقدار الفيزيائي: تعريف كيفي للمقدار الفيزيائي. وبالتالي فالمقادير التي يمكن مقارنتها كميًا تنتمي إلى نفس

الصنف وتعتبر متجانسة.

القيمة العددية للمقدار الفيزيائي: عدد مجرد داخل في قيمة المقدار ويعتمد على سلم الوحدة المختارة.

وحدة المقدار الفيزيائي: مقدار فيزيائي محدد البعد، قيمته العددية تساوي 1 اصطلاحاً ويستعمل للتعبير الكمي للمقادير الفيزيائية المتجانسة. وحدة المقدار الفيزيائي هو مقدار من نفس صنف المقدار الفيزيائي.

جملة مقادير فيزيائية: مجموع مقادير فيزيائية مرتبطة ببعضها البعض ومتكونة بالتطابق مع المبادئ المتبناة لما بعض المقادير تأخذ مستقلة والأخرى دوال للمقادير المستقلة. إذن جملة مقادير فيزيائية هي مجموع مقادير أساسية ومشتقة. المقدار الفيزيائي الأساسي: مقدار فيزيائي داخل في جملة المقادير ومأخوذ بمثابة مقدار مستقل عن بقية مقادير هذه الجملة.

المقدار الفيزيائي المشتق: مقدار فيزيائي داخل في جملة المقادير ومعرف عن طريق المقادير الأساسية لهذه الجملة. المقادير الفيزيائية المتجانسة: المقادير الفيزيائية التي لها نفس البعد ونفس المعنى الفيزيائي ( الماهية الفيزيائية)، بمعنى يختلفون في القيمة العددية فقط ( مثال، إحداثيات نقاط جسم وأبعاده الخطية).

المقادير الفيزيائية المتطابقة: المقادير الفيزيائية التي لها نفس البعد ومعنى ( ماهية) فيزيائي مختلف. المقدار الفيزيائي الغير بعدى (بدون بعد): المقدار الفيزيائي في بعده قوى رفع المقادير الفيزيائية الأساسية معدومة أو بمعنى آخر هو المقدار قيمته العددية لا تعتمد على اختيار جملة الوحدات. على سبيل المثال، نسبة مقدارين متجانسين أو متطابقين هو مقدار بدون بعد.

جملة وحدات المقادير الفيزيائية: مجموع الوحدات الأساسية والمشتقة للمقادير الفيزيائية، المكونة بالتوافق مع المبادئ المتبناة لجملة معطاة للمقادير الفيزيائية.

الوحدة الأساسية لجملة وحدات : وحدة المقدار الفيزيائي الأساسي في جملة وحدات معطاة.

الوحدة الإضافية لجملة وحدات: قبل إدخال الجملة الدولية للوحدات (SI) هذا المفهوم في الفيزياء لم يستعمل. في الجملة (SI) وحدات، الزاوية المستوية : الراديان (rad) والزاوية الصلبة : الستيرديان (sr) ، وضعت في جملة منفصلة للوحدات الإضافية.

الوحدة المشتقة لجملة وحدات: وحدة المقدار الفيزيائي المشتق لجملة وحدات، المكونة بالتوافق مع المعادلة الرابطة بينها وبين الوحدات الأساسية أو بينها وبين الأساسية و المشتقة و المعينة سابقا.

وحدة الجملة لمقدار فيزيائي: وحدة المقدار الفيزيائي الداخلة في واحدة من جمل الوحدات المتبناة.

الوحدة المشتقة المتناسقة لمقدار فيزيائي: الوحدة المشتقة لمقدار فيزيائي المربوطة ببقية وحدات جملة الوحدات بعلاقة يأخذ فيها المعامل العددي مساوي إلى واحد.

جملة وحدات متناسقة للمقادير الفيزيائية: جملة وحدات المقادير الفيزيائية المكونة من الوحدات الأساسية والمشتقة المتناسقة.

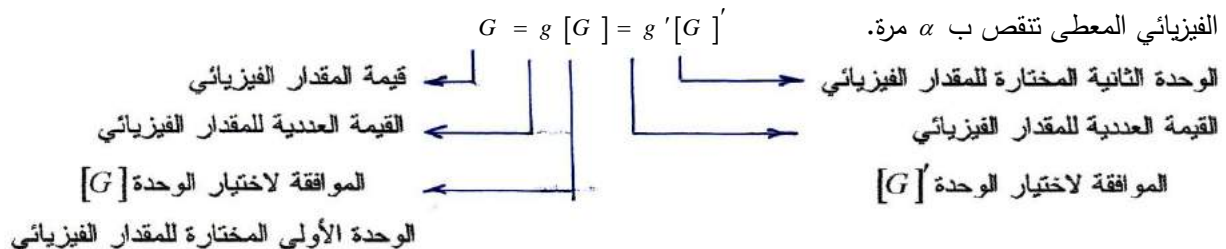
بعد وحدة مقدار فيزيائي: تحديد كمي لوحدة مقدار فيزيائي تستحدث ( يعاد إنتاجها) أو تحفظ عن طريق القياسات.

## 7.1. بديهيات نظرية الأبعاد:

1. القيمة العددية  $g$  لمقدار فيزيائي  $G$  تساوي النسبة بين قيمة هذا المقدار ووحدة قياسه  $[G]$ :

$$g = \frac{G}{[G]}$$

2. قيمة المقدار الفيزيائي لا يعتمد على اختيار وحدة قياسه بمعنى مع زيادة وحدة القياس ب  $\alpha$  مرة، القيمة العددية للمقدار



تقييم بعد المقدار الفيزيائي بواسطة وحدة ما نحصل عليه بالقياس أو بالحساب (قياس مباشر، قياس غير مباشر)، و تمثل قيمة المقدار الفيزيائي القيمة الفعلية و ليست القيمة الحقيقية.

3. الوصف الرياضي لظاهرة فيزيائية ما، المبين للتبعية الدالية بين قيم المقادير الفيزيائية، لا يعتمد على اختيار وحدات القياس لهذه المقادير. وبذلك، كل حدود المعادلة الواصفة لعملية التطور الفيزيائي يملكون نفس البعد، بحيث يمكن وضعهم على شكل صيغة بدون بعد بقسمة طرفي المعادلة على مقدار ثابت ما له نفس البعد.

### 8.1. مبرهنتا النظرية البعدية:

كل تطبيقات النظرية البعدية مبنية على مبرهنتين:

#### 1. المبرهنة الأولى: تخص الصيغة العامة لأبعاد المقادير الفيزيائية وتعرف بدستور الأبعاد.

نسمي دستور البعد أو ببساطة بعد مقدار فيزيائي ما  $G$  العلاقة الموجودة بين وحدة قياس هذا المقدار  $[G]$  ووحدات قياس المقادير الأساسية  $[G_1]$ ،  $[G_2]$ ، ...،  $[G_n]$  لجملة معطاة. دستور البعد يملك صيغة قوى الوحدات الأساسية  $[G_i]$ :

$$[G] = [G_1]^{m_1} [G_2]^{m_2} \dots [G_n]^{m_n}$$

حيث  $n$  عدد الوحدات الأساسية؛  $m_1$ ،  $m_2$ ، ...،  $m_n$  أعداد جذرية (أعداد صحيحة موجبة، سالبة أو معدومة). كون الأعداد  $m_1$ ،  $m_2$ ، ...،  $m_n$  جذرية لا يعني أن ذلك مفروض من النظرية البعدية ولكنه مستتبط من تعريفات الأبعاد الفيزيائية.

يستنتج من دستور البعد ومن البديهية 2 أنه إذا أنقصنا وحدات المقادير الأساسية بعدد  $\alpha_1$ ،  $\alpha_2$ ، ...،  $\alpha_n$  من المرات وعلى الترتيب، وحدة المقدار المشتق  $[G]$  تنقص بعدد  $(\alpha_1^{m_1} \alpha_2^{m_2} \dots \alpha_n^{m_n})$  من المرات وقيمه العددية تزداد في المقابل بنفس الكمية.

ينص دستور البعد بشكل آخر على: بعد المقدار الفيزيائي  $G$  في جملة المقادير المبنية على  $n$  مقدار فيزيائي

أساسي  $G_1$ ،  $G_2$ ، ...،  $G_n$  يمكن التعبير عنه بالعلاقة:

$$\dim G = (\dim G_1)^{m_1} (\dim G_2)^{m_2} \dots (\dim G_n)^{m_n}$$

إشارة  $\dim$  تعني *dimension* أي بعد.

يمكن إجراء عمليات الجداء، القسمة، الرفع إلى قوة واستخراج الجذر على الأبعاد. عمليات جمع وطرح الأبعاد لا تعني شيئاً.

مثال: بعد مقدار فيزيائي في جملة المقادير  $\ll LMTI \Theta NJ \gg$  المبنية عليها الجملة الدولية للوحدات يعبر عنه

بالعلاقة:

$$\dim G = L^{m_1} M^{m_2} T^{m_3} I^{m_4} \Theta^{m_5} N^{m_6} J^{m_7}$$

#### البرهان:

الشرط الذي يعين الشكل العام لدساتير الأبعاد للمقادير الفيزيائية هو أن النسب الكمية بين مختلف المقادير الفيزيائية يعبر عنها بنفس العلاقات مهما كان سلم وحدات المقادير الفيزيائية الأساسية في نفس جملة الوحدات.

ليكن مقداران فيزيائيان  $G_1$  و  $G_2$  أحدهما أساسي والآخر مشتق، قيمهما العددية مربوطتان بالمعادلة  $g_2 = f(g_1)$ .

إذا أنقصنا وحدة قياس المقدار الأساسي  $G_1$  بعدد  $\alpha$  من المرات فإن قيمته العددية تزداد بنفس العدد  $\alpha$  من المرات

وتصبح  $g_1' = \alpha g_1$ . وحدة قياس المقدار المشتق  $G_2$  تنقص بعدد  $\gamma$  من المرات وقيمه العددية تزداد بنفس العدد  $\gamma$  من المرات

وتصبح  $g_2' = \gamma g_2$

المطلوب إيجاد العلاقة الرابطة بين العددين  $\alpha$  و  $\gamma$  بحيث ترتبط القيم العددية  $g_1'$  و  $g_2'$  بنفس العلاقة التي تربط القيم  $g_1$

و  $g_2$  لأية قيمة  $\alpha$  أي:  $g_2' = f(g_1')$  أو  $\gamma g_2 = f(\alpha g_1)$

حسب البديهية 1:

$$G_1 = g_1 [G_1] = g_1' [G_1]' = g_1' \left( \frac{1}{\alpha} [G_1] \right) = \frac{g_1'}{\alpha} [G_1] \Rightarrow g_1' = \alpha g_1$$

$$G_2 = g_2 [G_2] = g_2' [G_2]' = g_2' \left( \frac{1}{\gamma} [G_2] \right) = \frac{g_2'}{\gamma} [G_2] \Rightarrow g_2' = \gamma g_2$$

حيث:

$g_2, g_1$  \_\_ القيم العددية القديمة للمقادير الفيزيائية  $G_2$  و  $G_1$ .

$[G_2], [G_1]$  \_\_ الوحدات القديمة للمقادير الفيزيائية  $G_2$  و  $G_1$ .

$g_2', g_1'$  \_\_ القيم العددية الجديدة للمقادير الفيزيائية  $G_2$  و  $G_1$ .

$[G_2]', [G_1]'$  \_\_ الوحدات الجديدة للمقادير الفيزيائية  $G_2$  و  $G_1$ .

بالتفاضل لقيمتين  $\alpha$  و  $\gamma$  معطائين وحيث المتغيران  $g_1$  و  $\alpha$  يمكن أن يأخذا أية قيم بشكل مستقل:

$$\frac{dg_2}{dg_1} = f'(g_1)$$

$$\frac{dg_2'}{dg_1'} = f'(g_1')$$

$$\frac{d(\gamma g_2)}{d(\alpha g_1)} = \frac{\gamma}{\alpha} \frac{dg_2}{dg_1} = f'(g_1')$$

$$\frac{\gamma}{\alpha} \frac{dg_2/dg_1}{dg_2'/dg_1'} = \frac{f'(g_1')}{f'(g_1)} \Rightarrow \frac{g_2' g_1}{g_2 g_1'} = \frac{f'(g_1')}{f'(g_1)} \Rightarrow \frac{f(g_1') g_1}{f(g_1) g_1'} = \frac{f'(g_1')}{f'(g_1)} \Rightarrow g_1 \frac{f'(g_1)}{f(g_1)} = g_1' \frac{f'(g_1')}{f(g_1')}$$

نلاحظ أن الدالة  $F(g_1) = g_1 \frac{f'(g_1)}{f(g_1)}$  للمتغير  $g_1$  هي نفسها الدالة  $F(g_1') = g_1' \frac{f'(g_1')}{f(g_1')}$  للمتغير  $g_1'$  ومادام

العدد  $\alpha$  كفي فإن المتغيرين  $g_1$  و  $g_1'$  مستقلان عن بعضهما, وبذلك فالمساواة  $F(g_1) = F(g_1')$  صحيحة لكل قيم  $g_1$  و  $g_1'$  ومعنى ذلك أن  $F(g_1)$  عبارة عن ثابت  $m$ .

$$F(g_1) = g_1 \frac{f'(g_1)}{f(g_1)} = m$$

$$g_1 \frac{df(g_1)}{dg_1} \frac{1}{f(g_1)} = m \Rightarrow \frac{df(g_1)}{f(g_1)} = m \frac{dg_1}{g_1}$$

بالتكامل:

$$\int \frac{df}{f} = m \int \frac{dg_1}{g_1} \Rightarrow f(g_1) = C g_1^m$$

حيث  $C$  \_\_ ثابت التكامل.

لدينا إذن:

$$\left. \begin{aligned} g_2 &= C g_1^m \\ g_2' &= C (g_1')^m \Rightarrow \gamma g_2 = C (\alpha g_1)^m = \alpha^m (C g_1^m) = \alpha^m g_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \gamma = \alpha^m$$

نتيجة: العلاقة الدالية بين  $g_2$  و  $g_1$  القيم العددية للمقادير  $G_2$  و  $G_1$  لا تعتمد على سلم وحدة القياس للمقدار الأساسي  $G_1$  إلا إذا عبر عن البعد بقوة  $(\gamma = \alpha^m)$ .

يمكن تعميم ذلك في حالة اعتماد المقدار المشتق على مجموعة مقادير أساسية وتبين أن علاقة بعد المقدار المشتق تحتوي على أبعاد المقادير الفيزيائية الأساسية مرفوعة إلى قوى مختلفة  $\alpha_1^{m_1} \alpha_2^{m_2} \dots \alpha_n^{m_n}$ , حيث  $n$  \_\_ عدد المقادير الأساسية.

**2. المبرهنة الثانية:**

كل ارتباط كمي بين المقادير الفيزيائية يمكن التعبير عنه بعلاقة دالية بين عبارات بدون بعد لهذه المقادير .

يمكن التعبير عن هذه المبرهنة بشكل آخر: لكل قانون فيزيائي، حيث  $T_1 = T_2$ ، أبعاد طرفي هذه المساواة لا بد لها أن

تكون متطابقة  $\dim T_1 = \dim T_2$  . وبهذا الشكل تعرف المبرهنة بقاعدة الأبعاد .

المساواة  $T_1 = T_2$  يمكنها احتواء عوامل معاملات ثابتة وعبارات بدون بعد للمقادير الفيزيائية .

وحسب هذه القاعدة، المقادير الفيزيائية البعدية لا تخضع إلا للعمليات الرياضية التي فيها الرفع إلى قوى . بقية كل العمليات

الرياضية ( $\sin x$  ،  $e^x$  ،  $\ln x$  ، . . . ) لا تطبق إلا على المقادير بدون بعد (الغير بعدية) .

نسمي العبارات بدون بعد للمقادير الفيزيائية العبارات التي ليس لها بعد في جملة وحدات قياس معطاة وقيمها العددية تبقى ثابتة

عند تغيير سلم وحدات المقادير الأساسية .

**البرهان:**

لنكن العلاقة الدالية الرابطة بين القيم العددية للمقادير الفيزيائية  $G_1, G_2, \dots, G_n$  ،

من الشكل:

$$f(g_1, \dots, g_n) = 0$$

نختار المقادير الأساسية وعددها  $(G_1, G_2, \dots, G_k)$   $k$  وتصبح بقية المقادير الفيزيائية مشتقة  $(G_{k+1}, \dots, G_n)$  . وبذلك فعلاقة

الوحدات المشتقة بالوحدات الأساسية نكتبها على الشكل حسب المبرهنة الأولى:

$$[G_{k+1}] = \prod_{i=1}^k [G_i]^{m_i}, \dots, [G_n] = \prod_{i=1}^k [G_i]^{q_i}$$

إذا أقمنا وحدات المقادير الأساسية  $[G_1], \dots, [G_k]$  بأعداد  $\alpha_1, \dots, \alpha_k$  تزداد القيم العددية للمقادير

الأساسية  $G_1, \dots, G_k$  لتصبح:  $\alpha_1 g_1, \dots, \alpha_k g_k$  وتنقص وحدات المقادير المشتقة  $[G_{k+1}], \dots, [G_n]$

بالأعداد  $\prod_{i=1}^k \alpha_i^{q_i}, \dots, \prod_{i=1}^k \alpha_i^{m_i}$  وتصبح القيم العددية للمقادير

المشتقة  $G_{k+1}, \dots, G_n$ :  $(\prod_{i=1}^k \alpha_i^{q_i}) g_{k+1}, \dots, (\prod_{i=1}^k \alpha_i^{m_i}) g_n$

نكتب الآن العلاقة الدالية على الشكل:

$$f(\alpha_1 g_1, \dots, \alpha_k g_k, (\prod_{i=1}^k \alpha_i^{m_i}) g_{k+1}, \dots, (\prod_{i=1}^k \alpha_i^{q_i}) g_n) = 0$$

القيم  $\alpha_1, \dots, \alpha_k$  كيفية، ويمكن اختيارها بحيث ننقل من جملة وحدات معينة إلى جملة وحدات حيث القيم العددية للمقادير

الأساسية تساوي الواحد، بمعنى:  $\alpha_1 = \frac{1}{g_1}, \dots, \alpha_k = \frac{1}{g_k}$

ونحصل على:

$$f(1, \dots, 1, (\prod_{i=1}^k (\frac{1}{g_i})^{m_i}) g_{k+1}, \dots, (\prod_{i=1}^k (\frac{1}{g_i})^{q_i}) g_n) = 0$$

$$f(1, \dots, 1, \frac{g_{k+1}}{\prod_{i=1}^k g_i^{m_i}}, \dots, \frac{g_n}{\prod_{i=1}^k g_i^{q_i}}) = 0$$

متغيرات هذه المعادلة هي عبارات بدون بعد للمقادير الفيزيائية:

$$\dim C = (\dim G_1)^0 (\dim G_2)^0 \dots (\dim G_k)^0 = 1$$

يمكن وضع العلاقة الدالية على الشكل:

$$F \left( \frac{g_{k+1}}{g_i^{m_i}}, \dots, \frac{g_n}{g_i^{q_i}} \right) = 0$$

بحل هذه المعادلة بالنسبة لمتغير واحد وليكن  $g_{k+1}$  نحصل على:

$$g_{k+1} = \prod_{i=1}^k g_i^{m_i} \Phi \left( \frac{g_{k+2}}{g_i^{p_i}}, \dots, \frac{g_n}{g_i^{q_i}} \right)$$

متغيرات الدالة عبارات بدون بعد، ولذلك

$$\dim \Phi = 1$$

هذه النتيجة تعني أن لكل مساواة فيزيائية  $T_1 = T_2$  أبعاد الطرفين متساوية  $\dim T_1 = \dim T_2$ .

### 9.1. جملة من الاستعمالات التطبيقية لمفهوم بعد مقدار فيزيائي:

يمكن الإشارة إلى جملة من الاستعمالات التطبيقية لمفهوم بعد مقدار فيزيائي.

1. باستعمال مفهوم بعد المقدار يمكن إيجاد بكم مرة يتغير بعد وحدة مقدار فيزيائي مشتق ما عند تغير أبعاد وحدات المقادير المعتمدة أساسية.

حسب المبرهنة الأولى وحدة قياس مقدار مشتق ما  $G$  تعطى بدلالة وحدات قياس المقادير الأساسية  $G_1, G_2, \dots, G_n$

$$[G] = [G_1]^{m_1} [G_2]^{m_2} \dots [G_n]^{m_n}$$

$$[G]' = [G_1]'^{m_1} [G_2]'^{m_2} \dots [G_n]'^{m_n}$$

حيث:

$[G_1], [G_2], \dots, [G_n]$  — الوحدات الأساسية الأولى للمقادير الفيزيائية؛

$[G_1]', [G_2]', \dots, [G_n]'$  — الوحدات الأساسية الثانية لنفس المقادير الفيزيائية؛

$n$  — عدد المقادير الفيزيائية الأساسية.

عدد المرات في زيادة أو نقصان وحدة المقدار المشتق:

$$k = \frac{[G]'}{[G]} = \left( \frac{[G_1]'}{[G_1]} \right)^{m_1} \left( \frac{[G_2]'}{[G_2]} \right)^{m_2} \dots \left( \frac{[G_n]'}{[G_n]} \right)^{m_n}$$

المقادير الأساسية المعتمدة عليها الجملة الدولية (SI): الطول ( $l$ )، الزمن ( $m$ )، الكتلة ( $t$ )، شدة التيار الكهربائي ( $I$ )،

درجة الحرارة الترموديناميكية ( $T$ )، كمية المادة ( $n$ )، شدة الضوء ( $I_v$ ).

$$k = \frac{[G]'}{[G]} = \left( \frac{[l]'}{[l]} \right)^{m_1} \left( \frac{[m]'}{[m]} \right)^{m_2} \left( \frac{[t]'}{[t]} \right)^{m_3} \left( \frac{[I]'}{[I]} \right)^{m_4} \left( \frac{[T]'}{[T]} \right)^{m_5} \left( \frac{[n]'}{[n]} \right)^{m_6} \left( \frac{[I_v]'}{[I_v]} \right)^{m_7}$$

مثال: لمقدار ميكانيكي مشتق  $Q$  حيث المقادير الأساسية: الطول، الكتلة والزمن.

$$k = \frac{[Q]'}{[Q]} = \left( \frac{[l]'}{[l]} \right)^{m_1} \left( \frac{[m]'}{[m]} \right)^{m_2} \left( \frac{[t]'}{[t]} \right)^{m_3}$$

عند الانتقال من جملة الوحدات CGS إلى الجملة الدولية للوحدات SI، حيث بعد الطاقة في الجملتين  $\dim E = L^2 M T^{-2}$

فإن النسبة بين وحدات الطاقة في الجملتين:

$$k = \frac{[E]_{SI}}{[E]_{CGS}} = \left(\frac{[l]_{SI}}{[l]_{CGS}}\right)^2 \left(\frac{[m]_{SI}}{[m]_{CGS}}\right) \left(\frac{[t]_{SI}}{[t]_{CGS}}\right)^{-2} = \left(\frac{1m}{1cm}\right)^2 \left(\frac{1kg}{1g}\right) \left(\frac{1s}{1s}\right)^{-2} = \left(\frac{[10^2 cm]}{[1cm]}\right)^2 \left(\frac{[10^3 g]}{[1g]}\right) \left(\frac{[1s]}{[1s]}\right)^{-2} = 10^7$$

تسمى الوحدات المشتقة للطاقة في الجملتين SI و CGS

$$[E]_{CGS} = 1erg(erg) \quad , \quad [E]_{SI} = 1J(joule)$$

$$[E]_{SI} = 10^7 [E]_{CGS} \quad ; \quad 1J = 10^7 erg$$

2. بمساعدة أبعاد المقادير الفيزيائية نتحقق من صحة المعادلات المتحصل عليها في سياق الاستنتاجات النظرية. عند ذلك نعتمد على قاعدة الأبعاد  $T_1 = T_2$ ، حيث لأية مساواة فيزيائية أبعاد الطرفين الأيمن والأيسر للمساواة الرابطة بين المقادير الفيزيائية المختلفة لا بد لها أن تكون متطابقة. إذا اتضح عند التحقيق أن هذه الأبعاد غير متطابقة، فإن هنا يعني أنه في سياق الاستنتاج وقع خطأ أو دخل في المعادلة معامل بعدي غير محسوب.

3. على أساس أبعاد المقادير الفيزيائية وضعت طريقة لإيجاد العلاقات الدالية (التابعة) بين المقادير الفيزيائية (تحليل

الأبعاد).

إذا كانت المقادير الفيزيائية الواصفة لتطور ما معروفة، فإنه باستعمال قاعدة الأبعاد يمكن إيجاد بدقة حتى مضروب فيه غير بعدي المعادلة المبينة لعلاقة هذه المقادير فيما بينها بتقريب ثابت جدائي.

ليكن مقدار ما  $G$  دالة للمقادير  $G_1, G_2, \dots, G_n$ ، حيث  $g = f(g_1, \dots, g_n)$ ، قيمها. باستعمال

قاعدة الأبعاد  $\dim G = \dim f$ ، ثم بحل هذه المعادلة الأخيرة، يمكن الحصول على معطيات لازمة لتعيين شكل

$$d \cdot g = f(g_1, \dots, g_n)$$

النظرية البعدية لوحدها دون استعمال معطيات إضافية، لاتمكن من الحصول على نتيجة ملموسة لأنها لا تعتمد على أي قانون فيزيائي. لاستخلاص نتيجة ملموسة لابد من تعيين بين أية مقادير فيزيائية توجد علاقات كمية وهنا النظرية البعدية لا تعطي شيئاً دون استعمال معطيات تجريبية أو قوانين فيزيائية مناسبة.

## 10.1. الجملة الدولية للوحدات: (SI)

اختيار المقادير الفيزيائية الأساسية وعددها كفي من حيث المبدأ ولكن الاعتبارات التطبيقية تقود إلى نوع من التحديد في حرية اختيار المقادير الأساسية. بمثابة مقادير أساسية وقبل كل شيء تم اختيار مقادير تصف الخصائص الجذرية للعالم المادي: الطول، الكتلة، الزمن. بقية المقادير الفيزيائية الأربعة اختيرت بحيث كل مقدار منها يمثل أحد أجزاء الفيزياء. هذه المقادير أصبحت شدة التيار الكهربائي، درجة الحرارة الترموديناميكية، كمية المادة وشدة الضوء. وعلى أساس جملة المقادير هذه بنيت الجملة الدولية للوحدات (SI) والمسماة جملة المقادير « $LMTI\Theta NJ$ » حيث منح لكل مقدار فيزيائي أساسي رمز على شكل حرف كبير من الحروف الهجائية اللاتينية أو اليونانية، رموزها هي: الطول -  $L$ ، الكتلة -  $M$ ، الزمن -  $T$ ، شدة التيار الكهربائي -  $I$ ، درجة الحرارة الترموديناميكية -  $\Theta$ ، كمية المادة -  $N$ ، شدة الضوء -  $J$ .

عند تكوين جملة مقادير فيزيائية تختار متتالية معينة لمعادلات تعيينية والتي فيها تحتوي كل معادلة مولية مقدار مشتق جديد واحد، مما يسمح بالتعبير عن هذا المقدار عن طريق مجموعة مقادير معرفة سابقاً، وفي نهاية المطاف عن طريق المقادير الأساسية لجملة المقادير.

تمتلك الجملة الدولية مزايا لا ريب فيها بالمقارنة مع كل جمل الوحدات السابقة لها. وتعتبر شاملة، بمعنى تشمل كل مجالات القياسات. وحداتها السبع الأساسية تسمح بتكوين وحدات أية مقادير فيزيائية في كل مجالات العلوم والفروع التقنية. تعتبر الجملة الدولية جملة متناسقة مما يسمح بشكل كبير تسهيل القوانين أو الصيغ الحسابية بتحريرها من المعاملات المختلفة. من حيث بعد وحدات الجملة الدولية (SI) الأساسية والأكثرية الساحقة لمشتقاتها تكون ملائمة لاستعمالها التطبيقية. قبل إدخال الجملة الدولية للوحدات وجدت كثير من وحداتها المشتقة انتشاراً واسعاً:  $W$  - وات (watt)،  $A$  - (أمبير (ampère)،  $V$  - فولت (volt)،  $\Omega$  - أوم (ohm).

نتيجة لكل هذه المزايا اكتسبت الجملة الدولية للوحدات (SI) اعترافاً شاملاً.

المقادير السبعة الأساسية المعتمدة عليها الجلمة الدولية للوحدات (SI)

رسم الوحدة في الجلمة (SI)	وحدة القياس في الجلمة (SI)	البعد في جلمة المقادير «LMTI@NJ»	صفة التعريف	المقدار
m	متر (mètre) يعرف المتر على أنه طول الطريق الذي يقطع الضوء في الفراغ في فترة زمنية مساوية إلى $\frac{1}{299.792.458}$ ثانية (المؤتمر العام للقياسات والأوزان XVII في 1983) تعيار للطول بحسب اختيار لسطح العنصر الذي يمتلك في طيفه أدق خط ممكن وعرضه ثابت ما أمكن يعني لا يتبدل على الظروف الخارجية	$\dim l = [l] = L$ البعد مقدار يشكك كين	مقدار فيزيائي يعبر عن (امتداد) بعد وانتقال الجسم أو أجزاءها على طول خط معطى، ويعتبر أساسياً في جلمة المقادير المبنية عليها الجلمة الدولية للوحدات (SI)	الطول l longueur
s	ثانية (seconde) تكون الثانية على أنها الفترة الزمنية التي يقوم أثناءها الإشعاع الكهرضعيف طليبي الموافق للإنتقال بين مستويين طاقتيين جد دقيقين $F=4$ و $M=0$ و $F=3$ و $M=0$ للحالة الأساسية $2S_{1/2}$ لذرة السيزيوم - 133 في غياب أي مجال خارجي بعدد $9.192.631.770$ ذبذبة (المؤتمر العام للقياسات والأوزان XIII سنة 1967)	$[t] = T$ البعد مقدار يشكك كين	مقدار يعبر عن التعيين المتتابع للظواهر والحالات المتتالية ووجودها. والزمن مفهومه الذي هي الفترة الفاصلة بين حدثين لجسم أو جلمة الجسم تكون أساساً ظاهرة دورية (الساعة). الفترة الزمنية هي الفرق بين إشارتين هذه الساعة في الظنين المرتبطتين بالحدثين يعتبر أساسياً في الجلمة «LMTI@NJ»	الزمن t temps

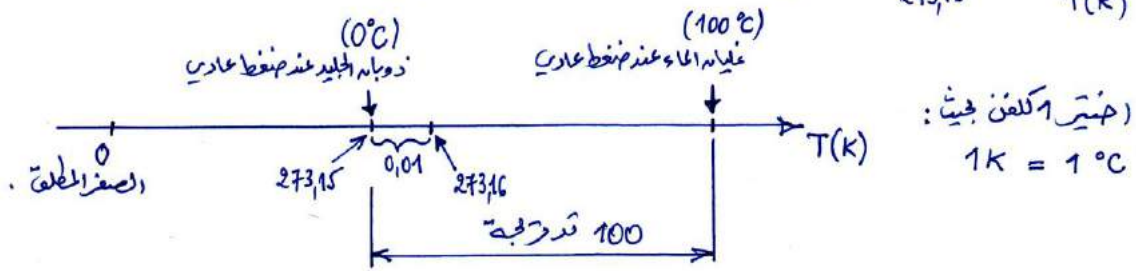
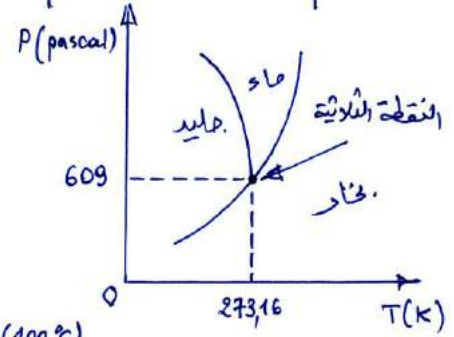
ملاحظة: لزيادة دقة استحداث معايير القياس لجأ إلى مصادر أخرى للإشعاع المتقلبة مثل الليزر (Laser) وعلى أساس التقينة الليزرية وضع معيار هوحد للوقت، الزمن والطول الذي يمكن من تعريف وحدات هذه المقادير بدقة عالية جداً. فكلها النسبي لا يتعدى  $10^{-12}$ .



المقدار	صيغة الترميز	البعد في جملة المقادير «LMTI@NJ»	وحدة القياس من الجماعة (SI)	رمز الوحدة في الجماعة (SI)
الكتلة m masse	واحدة من الخصائص الفيزيائية لأي جسم مادي وتعتبر مقياس لقطارته وتقالته تعتبر أساسية في الجملة «LMTI@NJ» المعتمدة عليها SI	$[m] = M$ البعد فتتأثر بـ $M$ كيفي	الكيلوغرام kilogramme الكيلوغرام هو كتلة الطراز الأولي الدولي من البلاستين المشع (المؤتمر العام للقياسات و الأوزان I عام 1889) (المؤتمر العام للقياسات و الأوزان III عام 1901)	kg

درجة الحرارة الترموديناميكية T température thermodynamique	واحد من المقادير السبعة الأساسية التي بنيت عليها الجملة الدولية للوحدات	$[T] = \Theta$ البعد فتتأثر بـ $\Theta$ كيفي	كلفن kelvin بنيت السلم الترموديناميكي على نقطة مبدئية واحدة (النقطة الثلاثية للماء). الحد الأدنى للسلم هو الصفر المطلق. انطلاقاً من هذا يعرف الكلفن بالجزء $\frac{1}{273,16}$ من مجال درجة الحرارة بين النقطة الثلاثية و 0K (المؤتمر العام للقياسات و الأوزان عام 1967).	K
---	---	---	--	---

ملاحظة:  
 \* من النقطة الثلاثية للماء تتواجد الأطوار الثلاثة للماء (صلب، سائل، غاز) في حالة توازن.  
 \* تتميز النقطة الثلاثية بخاصية وهيئة لدرجة الحرارة و هيئة للضغط.  
 \* سبب اختيار النقطة الثلاثية كنقطة مبدئية عند تكوّن السلم الترموديناميكي لدرجة الحرارة هو وهدانية قيمته ودرجة الحرارة للنقطة الثلاثية للماء  $0.01^\circ\text{C}$  و إمكانية تعيين درجة الحرارة للنقطة الثلاثية بدقة كبيرة مقارنة بدرجة الحرارة لغيره من الماء ودرجة الحرارة لتوازن الجليد.



رمز الوحدة في المجموعة (SI)	وحدة القياس في المجموعة (SI)	البيديا. وحدة المقادير «LMTI@NJ»	صيغة التعريف	المعيار
cd	كانديلا candela	$[I_p] = J$ البعد مختار بـ شد كيفية .	شدة الضوء غير تألق منبع إشعاع صري في اتجاه ما .	شدة الضوء $I_p$ Intensité Lumineuse

التعريف القديم: الكانديلا هي شدة الضوء المنبع من سطح المقطع عند درجة حرارة الجسم المشع، المساوية في درجة حرارة البلازما المتصلب عند ضغط 101325 Pa (المؤتمر العام 103 عام 1967).  
ملاحظة: نظراً لحدوث رقعة لاستحداث وحدة شدة الضوء الكانديلا بالاستعمال الجسم الأسود وضع المؤتمر العام للقياسات والأوزان 1979 عام 1979 تعريف جديد لوحدة شدة الضوء الكانديلا الذي يربط بشدة وحدة الومدة الضوئية بالطاقة التعريف الجديد: الكانديلا هي شدة الضوء في اتجاه ما بالنسبة إلى المنبع، الذي يصدر إشعاع وحدة الومدة  $540 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ ، شدته الطاقوية الضوئية في هذا الاتجاه تساوي 1,683 W/sr (واط/م) واحد ستيرديان.

\* معظم شدة الضوء يستعمل للمسافات من المنبع، التي تكبر بكثير أبعاده الخلفية.

mol	مول mole	$[n] = N$	مقدار فيزيائي يعطي عدد العناصر التركيبية، المكونة للجولة .	كمية المادة $n$ quantité de matière
-----	-------------	-----------	---	--

1 مول يساوي كمية المادة للجولة المحتوية على عدد العناصر التركيبية مساو لعدد الذرات في كتلة 0,012 kg من الكربون-12.

ملاحظات:

\* عند استعمال المول العناصر الكيميائية لا يرد منه تعريفها (لميزانها) وعليه أن تكون ذراتها  
 جزيئات، أيونات، إلكترونات، جسيمات أخرى أو جمعها معينة لهذه الجسيمات (المؤثر  
 العام للقياسات والأوزان عام 1971)

\* إذا كانت جملة مقبلة مختبر على  $N$  جسيم، فإن كمية المادة لها:

$$n = N / N_A$$

حيث  $N_A$ : ثابت أفوقادرو.


القيمة الدقيقة لثابت أفوقادرو (1986):  $N_A = 6,0221367(36) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

القيمة العددية لثابت أفوقادرو ستم عدد أفوقادرو وتقرره عدد الجزيئات أو جسيمات  
 أخرى، المحتواة في مول واحد للمادة.

\* للجملة الغير مقبلة، على سبيل المثال فليط من الغازات، كمية المادة يعبر عنها  
 بالعلاقة:

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_k = \frac{N_1}{N_A} + \frac{N_2}{N_A} + \dots + \frac{N_k}{N_A}$$

حيث  $n_i = N_i$ : عدد الجزيئات وكمية المادة على النسب الكبريتي في الخليط.

المقدار	صيغة التعريف	الوحدات الجولية (« L M T I @ N J »)	وحدة القياس في (SI)	رمز الوحدة في (SI)
شدة التيار الكهربائي  I, i متغير متكرر  Intensité du courant électrique	مقدار يعبر عن كمية الكهرباء المنقولة خلال مقطع ناقل في وحدة الزمن (الثانية)  $I = \frac{dq}{dt}$   ناقل  مقدار أساسي في الجولية المعتمدة عليها SI « L M T I @ N J »	$[I] = [i] = I$	الأمبير Ampère	A

فضاء وعداد إضافية:

- \* الزاوية المستوية  $\alpha$  وحدتها الراديان (rad)
- \* الزاوية الصلبة  $\Omega$  وحدتها الستراديان (sr)