

## Annexe X

### Systèmes d'unités

Le système d'unité utilisé dans cette thèse est le système dit « naturel » (UN), différent du système international (SI) [1] plus largement utilisé. À chaque grandeur physique correspond une dimension, basée sur les sept dimensions et unités fondamentales du SI :

- le temps  $T$ , en seconde ;
- la longueur  $L$ , en mètre ;
- la masse  $M$ , en kilogramme ;
- le courant électrique  $I$ , en ampère ;
- la température  $\Theta$ , en kelvin ;
- la quantité de matière  $N$ , en mole ;
- l'intensité lumineuse  $J$ , en candela.

La définition des sept unités fondamentales repose sur autant de constantes physiques dont la valeur est fixée par convention. Ainsi, la seconde est déterminée par la fréquence de la transition hyperfine du césium  $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$ . Le mètre peut alors être défini à partir de la vitesse de la lumière dans le vide  $c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Puis, le kilogramme est obtenu grâce à ces deux premières unités et la constante de Planck  $h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$ . Les grandeurs physiques usuellement rencontrées, exprimées avec ces unités, ont généralement des valeurs facilement manipulables. Par exemple, une personne peut mesurer 1,7 m et peser 70 kg.

Cependant, en physique des particules, ces unités ne sont pas adaptées aux échelles des grandeurs physiques exploitées. C'est pourquoi un autre système d'unités, dites naturelles, (UN) est utilisé dans lequel  $\hbar = c = 1$ . Les dimensions fondamentales de masse, longueur et temps sont remplacées par les dimensions de  $\hbar$ ,  $c$  et d'énergie en GeV, avec  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  et  $1\text{ GeV} = 10^9\text{ eV} = 10^9 \times e \times 1\text{ V}$ ,  $e$  étant la charge électrique élémentaire. Ce changement de dimensions fondamentales permet toujours de décrire toutes les grandeurs physiques, comme un changement de système de coordonnées permet toujours de décrire toutes les positions possibles.

Dans le UN, une masse s'exprime ainsi en  $\text{GeV}\cdot c^{-2}$ , une longueur en  $\hbar\cdot c\cdot\text{GeV}^{-1}$ , une durée en  $\hbar\cdot\text{GeV}^{-1}$ , etc. Par abus de langage, comme  $\hbar = c = 1$ , les facteurs  $\hbar$  et  $c$  sont omis. Une masse s'exprime alors en GeV, ce qui devrait pourtant correspondre à une énergie. Par exemple, l'électron possède une masse de  $9,11 \times 10^{-31}\text{ kg}$ , soit 511 keV. Le tableau X.1 résume le passage entre (M, L, T), ( $\hbar$ ,  $c$ , GeV) et ( $\hbar = c = 1$ , GeV).

Grandeur	Dimensions : (M, L, T), ( $\hbar$ , $c$ , GeV), ( $\hbar = c = 1$ , GeV)	Conversion SI $\rightarrow$ UN
Masse	M	$\text{GeV}\cdot c^{-2}$
Longueur	L	$\hbar\cdot c\cdot\text{GeV}^{-1}$
Durée	T	$\hbar\cdot\text{GeV}^{-1}$
Énergie	$\text{ML}^2\text{T}^{-2}$	GeV
Impulsion	$\text{MLT}^{-1}$	$\text{GeV}\cdot c^{-1}$

**Tableau X.1** – Équivalence entre les systèmes d'unités international et naturel pour quelques grandeurs physiques.

## Références

- [1] *Le système international d'unités*. 9<sup>e</sup> éd. Bureau international des poids et mesures. 2019. URL : <https://www.bipm.org/utis/common/pdf/si-brochure/SI-Brochure-9.pdf>.

