

## 14. El momento como producto de la masa y la velocidad

Friedrich Herrmann. Universidad de Karlsruhe, Alemania  
Georg Job. Universidad de Hamburgo, Alemania  
Nelson Arias Ávila. Universidad Distrital, Bogotá, Colombia

### Tema:

Generalmente el momento se define como producto de la masa y la velocidad:

$$\mathbf{p} = m \cdot \mathbf{v} \quad [1]$$

Si se procede así, el momento  $\mathbf{p}$  aparece como abreviación para el producto de  $m$  y  $\mathbf{v}$ , figura entonces como ejemplo típico de una magnitud derivada. Incluso hay libros en los cuales se califica el momento como magnitud auxiliar (1).

### Defectos:

Hay varias razones para no introducir el momento como magnitud derivada, sino como magnitud básica.

1. El momento es una magnitud que se conserva, gracias a esta propiedad podemos medir el momento de un cuerpo en movimiento sin recurrir a la relación [1] (2). Ya que es posible medir la masa gravitacional y la velocidad independientemente una de la otra e independientemente del momento, la ecuación [1] se puede verificar experimentalmente.

2. La ecuación [1] no es válida para todos los sistemas. Así, el momento del campo electromagnético no se calcula por medio de dicha fórmula, la densidad del momento  $\rho_p$  está relacionada con las intensidades de los campos eléctrico y magnético según la siguiente ecuación:  $\rho_p = (\mathbf{E} \times \mathbf{H})/c^2$ .

3. En electricidad existe una ecuación análoga a la [1]. A la magnitud extensiva momento le corresponde la extensiva carga eléctrica, a la intensiva velocidad corresponde el llamado potencial eléctrico. Así como para ciertos sistemas (los norelativistas) el momento es proporcional a la velocidad, para otros, los condensadores por ejemplo (pero también muchos más), la carga eléctrica  $Q$  es proporcional al potencial  $U$ . Al factor de proporcionalidad entre  $\mathbf{p}$  y  $\mathbf{v}$  se le llama masa inercial y al factor entre  $Q$  y  $U$  capacidad (capacitancia) eléctrica:

$$Q = C \cdot U \quad [2]$$

Comparando las ecuaciones [1] y [2] se nota que es posible interpretar la masa como la capacidad de momento (que podría llamarse capacidad mecánica). Cuanto mayor sea la masa de un cuerpo tanto más momento contiene a una velocidad dada. Cuanto mayor es la capacidad de un condensador tanto más carga contiene a un potencial dado.

Esta comparación muestra que es inapropiado definir el momento por la ecuación [1]. Es como si se introdujera la carga eléctrica por medio de la ecuación [2], en lugar de como se hace habitualmente: como magnitud básica independiente de  $U$  y de  $C$ .

4. También resulta apropiado introducir el momento como magnitud básica si

se tiene en cuenta que los componentes cartesianos del momento (o de la densidad de momento) representan tres de los 16 componentes del tensor energía-momento. Esto significa que el momento desempeña, para el campo gravitacional, un rol análogo al de la carga y la corriente eléctrica para el campo electromagnético. Es parte, además de la energía, de la corriente de energía y de la corriente de momento, de la divergencia del campo gravitacional. Las divergencias de los campos son importantes para las interacciones fundamentales de la naturaleza y no resulta apropiado considerarlas como derivadas.

#### *Origen:*

El momento, o cantidad de movimiento, surgió en un proceso bastante largo. En el siglo 17 una de las preocupaciones de la mecánica era formular leyes que explicaran el fenómeno del choque, se suponía correctamente que en los procesos de choque existe una invariante, la cual se trataba de expresar mediante la masa y la velocidad del cuerpo.

En el año 1644 Descartes (1596 - 1650) publicó sus *Principia Philosophiae*, en los cuales mantiene la conservación del producto de la masa y la velocidad, o sea de la *quantitas motus* (cantidad de movimiento). Algunas décadas más tarde, Leibniz (1646 - 1716) estaba convencido de poder demostrar que el producto de la masa y el cuadrado de la velocidad eran la invariante "correcta" en los procesos de choque. Se desató entonces, la hoy conocida disputa sobre cuál era "la verdadera medida de la fuerza", que duró varias décadas y terminó solamente en 1726 con los trabajos de Daniel Bernoulli (1700 - 1782). No hubo ganadores ni perdedores, surgieron dos conceptos nuevos: el uno se llama hoy momento y el otro energía cinética, el momento estaba *definido* por medio de la ecuación [1]. Mucho más tarde se descubrió que es posible construir la magnitud conservativa "momento" solamente si se prescinde de la relación [1] como definición. La teoría especial de la relatividad nos enseña que el momento y la velocidad no son proporcionales para altas velocidades, se "salvó" la ecuación [1] introduciendo una masa que depende de la velocidad. Si se quiere aplicar el principio de la conservación del momento a procesos en los cuales participa el campo electromagnético, es necesario generalizar el concepto de momento, hay que definirlo independientemente de la relación [1].

#### *Eliminación:*

Introducir el momento como magnitud básica, con su propio método de medición, así como se procede con la carga eléctrica. Se puede emplear la ecuación [1] para definir la masa inercial como el factor por el cual debemos multiplicar la velocidad para obtener el momento.

#### *Referencias:*

- (1) Pohl, R., W. *Mechanik, Akustik und Wärmelehre*. Berlin: Springer-Verlag, 1969. p. 45.
- (2) Herrmann, F. and Schubart, M. *Measuring momentum without the use of  $p = mv$  in a demonstration experiment*. American Journal of Physics, **57**, 1989. p. 858.