("Dinamica")

3. Axiomas de Newton y Movimientos:

Los axiomas más importantes, pero no los únicos en los cuales se fundamentan la Mecánica, son los tres Axiomas de Newton. Ellos fueron publicados en la obra trascendental "Philosophiae naturalis principia mathematica" en el año 1687, hace al rededor de 300 años.

Los axiomas no son axiomas matemáticos probatorias; son considerados como correctos, siempre que sus deducciones sean probadas a través de la experiencia. Su disposición se funda sobre experiencias y observaciones.

A primera vista parecieran ser los axiomas de Newton muy sencillos y fáciles de comprender. La persona práctica que sólo quiere calcular y resolver problemas mecánicos, puede con una observación superficial y una comprensión aproximativa, vivir y trabajar bien.

Un Físico interesado en teoría, sin embargo, que desea una interpretación más exacta, puede descubrir pronto, que los axiomas de Newton no son de ninguna forma sencillos, sino ~~po~~ al contrario requieren de profundas reflexiones.

De allí que se puede comprender que los axiomas de Newton en la literatura no pocas veces son erróneamente interpretados.
Veamos a continuación una profunda interpretación a grandes rasgos.

3.1. El primer Axioma de Newton:

En su forma conocida dice este axioma:

"Un cuerpo permanece en estado de reposo o en movimiento uniforme, recto mientras no influya alguna Fuerza."

Esta ley fue descubierta en el año 1640 por Galileo Galilei tras de experimentos en el plano inclinado. Por eso también se llama la "Ley de Inercia de Galilei".

→ Un descubrimiento, de nuestra vista de hoy, que parece trivial.
→ En esta época un mérito genial y digno de admiración, porque en laboratorios y en la naturaleza los movimientos no son ni uniformes, ni rectilineos!

<u>Al contrario</u>: En la naturaleza para la conservación / mantenimiento de estos movimientos se debe (en oposición aparente a las leyes de inercia) introducir fuerzas para superar el roce.

⟹ Fue necesario una enorme y extraordinaria capacidad de abstracción, para reconocer, que los movimientos libres de toda fuerza son uniformes y rectilíneos.

⟹ Ley de inercia no es por lo tanto evidente, sino una extrapolación de varias observaciones, de casos extremos idealizados y libres de roce. No se pueden probar de inmediato, ya que no existen cuerpos libres del roce.

⟹ Ley de inercia fue un gran paso hacia el conocimiento de la naturaleza.

(Antes de Galileo: ¿Cual era el origen de los movimientos rectilíneos y uniformes?

Ahora: Es el movimiento más sencillo y más natural de todos los movimientos.)

EL MERCURIO 9/4/2001

Providencial Escapada de Chofer

El chofer de un camión que transportaba esta viga para el tendido de un puente resultó herido sólo de mediana gravedad, cuando al verse precisado a frenar bruscamente, para evitar embestir a un bus con 20 pasajeros, su enorme carga se desplazó hacia adelante destruyendo la cabina. El accidente se produjo a las 13.00 horas de ayer en la intersección de calles Balmaceda y Caupolicán, de Temuco, cuando el conductor de un bus de locomoción urbana cruzó con semáforo en amarillo, obligando al del camión a aplicar los frenos para evitar el choque, con el resultado que ilustra la fotografía. Una pasajera del bus sufrió un desmayo y el chofer del camión, Eduardo Espinoza, de 35 años, debió ser internado en la clínica de la Mutual de Seguridad.

Ejemplo para la "Ley de Inercia" (Galiley)
(→ 1^er Axioma de Newton)
y
para la imprudencia de algunos "Micreros".

Con Galilei: Ahora entonces solamente las discrepancias/divergencias con la ley de inercia, es decir las accleraciones debieron ser investigados.

⇒ Cambio radical en el pensamiento.

⇒ Revolucionaron las antiguas teorías.

→ Aclaramos ahora la "ley de inercia":

Contiene el concepto "Fuerza". (el cual cualitativamente (→ músculos) podemos imaginarnos, pero el cual no ha sido todavía definido en sentido Físico).

⇒ Definición del 1er Axioma de Newton sin el concepto de "Fuerza":

Partimos de la experiencia, que todos las influencias del ambiente disminuyan con la distancia r, y para $r \to \infty$ van a cero.

⇒ Segunda versión del 1er Axioma de Newton:

"Todo cuerpo, que se encuentra separado de todos los otros cuerpos infinitamente (que no posea nada a su alrededor), permanece en estado de reposo o en movimiento rectilíneo uniforme."

→ todavía, también esta segunda versión está insuficientemente precisa.

→ Tiene sentido solamente, si se indican el <u>sistema de referencia</u>!

(Un cuerpo no puede estar sin aceleración al mismo tiempo en <u>todos los</u> sistemas de referencia).

⇒ tercera definición definitiva:

> "Existen sistemas de coordinadas, en los cuales <u>todos</u> los cuerpos, que no poseen un ambiente, se mueven uniformemente y en forma rectilínea o están en reposo."

En el axioma no se indica cómo aparenta ser este sistema(s) de coordenadas, el cual se llama "Sistema inercial" (del latín: inertia = inercia).

Según nuestros actuales conocimientos:

Todos los sistemas, fijos/unidos con el firmamento son <u>inerciales</u>.

⇒ Igual son inerciales <u>todos los sistemas de referencia</u>, los cuales se mueven con vectores de <u>velocidad constante</u> $\vec{V}$ (– sin rotar –) con <u>respecto al firmamento</u>.

⇒ Velocidades en estos sistemas inerciales difieren solamente por velocidades relativas!

⇒ Las aceleraciones $\vec{a}$ son iguales en todos los sistemas inerciales!

⇒ Hay infinito número de sistemas inerciales (con distintos orígenes y/o velocidades relativas).

⇒ ¡Sistemas de referencia, fijo con la tierra <u>no</u> son <u>exactamente</u> <u>inercial</u>! ("rotación de la tierra"; "translación acelerada de la tierra en el universo").

Pero: Para la mayoría de los problemas en la mecánica y ingeniería mecánica estos sistemas (fijo con la tierra) son en una aproximación suficientemente inercial.

(ojo: Sucesos largos/extensos en el tiempo y
e.g.: 1) Oscilaciones del péndulo de Foucault.
2) movimientos a larga distancia:
- trayectoria de un proyectil.
- corriente de aire y del mar.
→ aquí → influye la rotación de la tierra.)

3.2. Segundo y Tercer Axioma de Newton:

→ Influencia de un ambiente a un movimiento.
→ "Fuerzas": son responsables para las divergencias del movimiento uniforme, rectilíneo y para salir del estado de reposo.

La aceleración resulta del segundo Axioma de N.:

$$\boxed{m\ddot{\vec{r}}(t) = \vec{F}\left[\vec{r}(t), \dot{\vec{r}}(t), t\right]} \qquad (3.2\text{-}1)$$

¡En esta forma solamente para $m = \text{const.}$!

La fuerza puede depender de:

- vector local $\vec{r}(t)$ ≡ posición de la partícula:

  ejemplos: a) Fuerza del resorte $F = -Dx$.

  b) Atracción del sol hacia los planetas $F \sim m_1 m_2 / r^2$.

- vector de velocidad $\vec{v}(t)$ de la partícula:

  ejemplos: a) Fuerza de Lorentz $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ de una partícula cargada en el campo magnético.

  b) Fuerzas de roce en gases y líquidos.

- del tiempo t:

  ejemplo: partícula cargada en un condensador de placas cuya tensión (= voltaje) cambia.

Dos nuevas ideas en ecu. (3.2-1):

1) masa m
2) Fuerza $\vec{F}$

Sin su definición exacta ecu. (3.2-1) no sirve:

1) Determinación de la masa m:

→ ver capitulo 1.2 (Unidad ≡ [kg]

$1\,kg = 5,0188 \cdot 10^{25}$ átomos ${}^{12}_{6}C$;

incierto relativo: 10^{-9})

⇒ falta solamente determinar, el doble, triple, …, n de la unidad de masa.

Intuitivamente este problema es muy simple.

Pero: Necesitamos una fundable argumentación (en concordancia con las leyes de la física).

⇒ Aquí nos sigue ayudando solamente el Tercer Axioma de Newton:

Ejerce un cuerpo 1 sobre un cuerpo 2 una Fuerza $\vec{F}_{21}$, entonces ejerce el cuerpo 2 sobre el cuerpo 1 la Fuerza $\vec{F}_{12}$, la cual tiene el mismo módulo, pero la dirección opuesta como $\vec{F}_{21}$:

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12} \qquad (3.2.-2)$$

En palabras: "Actio = Reactio"

Para dos masas constantes, las cuales interactúan solamente entre ellas (y las cuales infinitamente están lejos del resto del mundo), vale:

$$m_1 \ddot{\vec{r}}_1 = \vec{F}_{12} \qquad m_2 \ddot{\vec{r}}_2 = \vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$

$$\Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \left| \frac{\ddot{\vec{r}}_2}{\ddot{\vec{r}}_1} \right| \qquad (3.2.-3)$$

$\Rightarrow$ Mediciones de la aceleración en sistemas con solamente dos masas permiten la determinación de cualquier masa como una múltiple del normal/patrón de la masa.

La Unidad de la masa esta fijada internacionalmente. El múltiple de la Unidad se pueden medir inequivocamente con ecu. (3.2-3).

2) Determinación de la Fuerza:

Nota inicial: las Fuerzas $\vec{F}(\vec{r}, \dot{\vec{r}}, t)$ no se pueden medir totalmente inequivocamente (sin lugar a dudas. Finalmente hay que postular las Fuerzas.

Razón: La Fuerza $F(\vec{r}, \dot{\vec{r}}, t)$ depende de siete variables independientes $x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, t$.

Para determinar esta Fuerza con el segundo Axioma de Newton en forma inequivoca, hay que medir $m\ddot{\vec{r}}$ para todas (!) las particulas en todas (!) los puntos del espacio de siete dimensiones
→ Eso es imposible.

Se puede medir solamente pocas trayectorias y con estos observaciones incompletas suponer (y postular) una ley de Fuerza.

↳ "Leyes" como "Actio = Reactio" son Axiomas.

→ Son validos, si no hay contradicción con Experimentos.

Método para postular la Fuerza:

- Medición precisa de un reducido número de trayectorias (⇒ velocidad y aceleración a lo largo de la trayectoria).

- Con estos resultados postulación de la Fuerza $\vec{F}(\vec{r},\dot{\vec{r}},t)$ de tal forma, que hay concordancia entre los trayectorias calculadas (con ecu. $m\ddot{\vec{r}} = \vec{F}(\vec{r},\dot{\vec{r}},t)$) y las trayectorias medidas.

- Las otras trayectorias serán calculadas con la Fuerza postulada y el segundo Axioma de Newton.

⟹ Con una Fuerza $\vec{F}(\vec{r},\dot{\vec{r}},t)$ "conocida" (= postulada!) la ecu. (3.2-1) permite el cálculo del movimiento (es decir el cálculo del vector de posición $\vec{r}(t)$ como función del tiempo).

⇒ Ecu. (3.2-1) se llama <u>"Ecuación de Movimiento"</u>

→ Ejempl.: ver. Cap. 3.3.

Aspecto importante de la Ecu. de Movim. (3.2-1) (= 2° Axioma de Newton):

Con la definición del "Impulso" / "Momentum"

$$\boxed{\vec{p} := m\dot{\vec{r}} = m\vec{v}} \qquad (3.2\text{-}4)$$

la ecu. (3.2-1) para la masa <u>m = const.</u> indica:

$$\dot{\vec{p}} = \vec{F} \qquad (3.2\text{-}5)$$

En la ingeniería mecánica las masas de los cuerpos casi siempre son constante:

$\Rightarrow$ Ecu. (3.2-1) $\equiv$ Ecu. (3.2-5).

pero, hay casos en que la masa cambia:

- Masa de un cohete (salida de combustible)
- Gota de lluvia, en una atmósfera de neblina (aire sobresaturado con vapor de agua), crecen por condensación.

$\Rightarrow$ para $m(t)$:

Con la "regla del producto" en el cálculo diferencial:

$$\frac{d}{dx}[u(x)\,v(x)] = u'(x)\,v(x) + u(x)\cdot v'(x)$$

la ecu. (3.2.-5) para masas dependientes del tiempo t da:

$$\frac{d}{dt}(m\dot{\vec{r}}) = \dot{m}\dot{\vec{r}} + m\ddot{\vec{r}} = \vec{F}$$

⇒ notable diferencia entre ecu. (3.2-1) y (3.2-5).

⇒ solamente una de ellos puede ser correcta.

→ Solamente el Experimento puede decidir, cual ecu. vale en el caso $m(t) \neq const.$

Newton postuló certeramente, que ecu. (3.2-5) es la Ecuación de Movimiento correcta:

$$\boxed{\dot{p} = \frac{d}{dt}(m\dot{\vec{r}}) = \vec{F} \quad \text{para masas constante y variabe}} \qquad (3.2\text{-}6)$$

La ecuación (3.2-1) más conocida vale solo para m=const.:

$$\boxed{m\ddot{\vec{r}} = \vec{F} \quad \text{sólo para masas constante}} \qquad (3.2\text{-}7)$$